

ISSN 1563-0218; eISSN 2617-7498

ӘЛ-ФАРАБИ атындағы ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

ХАБАРШЫ

Биология сериясы

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени АЛЬ-ФАРАБИ

ВЕСТНИК

Серия биологическая

AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY

EXPERIMENTAL BIOLOGY

№3 (104)

Алматы
“Қазақ университеті”
2025



ISSN 1563-0218; eISSN 2617-7498

ХАБАРШЫ

БИОЛОГИЯ СЕРИЯСЫ №3 (104) қыркүйек



04.05.2017 ж. Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникация министрлігінде тіркелген

Куәлік № 16494-Ж

*Журнал жылына 4 рет жарыққа шығады
(наурыз, маусым, қыркүйек, желтоқсан)*

ЖАУАПТЫ РЕДАКТОР

Шокатаева Д.Х., PhD (Қазақстан)

e-mail: bb.kaznu.kz@gmail.com

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

Бисенбаев А.Қ., б.ғ.д., ҚР ҰҒА академигі (ғылыми редактор) (Қазақстан)

Бекманов Б.О., б.ғ.к., доцент (ғылыми редактордың орынбасары) (Қазақстан)

Төлеуханов С.Т., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)

Савицкая И.С., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)

Кистаубаева А.С., б.ғ.к., доцент (Қазақстан)

Конуспаева Г.С., PhD, профессор (Қазақстан)

Мухитдинов Н.М., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)

Нуртазин С.Т., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)

Турусбеков Е.Қ., б.ғ.к., профессор (Қазақстан)

Берсимбаев Р.И., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)

Искаков Б.К., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)

Сарбасов Д., PhD, профессор (АҚШ)

Орынбаева З., PhD, профессор (АҚШ)

Курмашева Р.Т., PhD (АҚШ)

Сапарбаев М., PhD, профессор (Франция)

Ищенко А., PhD (Франция)

Лось Д., б.ғ.д., профессор (Ресей)

Ташев А.Н., профессор (Болгария)

Курманғалиев Е., PhD (США)

ТЕХНИКАЛЫҚ РЕДАКТОР

Смекенов Изат, PhD (Қазақстан)

Журнал материалдарында ауқымды биологиялық мәселелері – ғылыми шолу, теориялық және эксперименталдық зерттеулердің нәтижелері қарастырылады.

Мақалалар биологияның келесі бөлімдері бойынша жарияланады: ботаника, биотехнология, биохимия, өсімдіктер физиологиясы, генетика және молекулалық биология, клеткалық биология, биофизика, адам және жануарлар физиологиясы, зоология және ихтиология, цитология және гистология, микробиология және вирусология.



Жоба менеджері

Гульмира Шаккозова

Телефон: +7 701 724 2911

E-mail: Gulmira.Shakkozova@kaznu.kz

ИБ №

Пішімі 60x84/16. Көлемі 00,0 б.т. Тапсырыс № .

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің

“Қазақ университеті” баспа үйі.

050040, Алматы қаласы, әл-Фараби даңғылы, 71.

Баспа журналдың ішкі мазмұнына жауап бермейді.

© Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, 2025

1-бөлім
БОТАНИКА

Section 1
BOTANY

Раздел 1
БОТАНИКА

Л.А. Кызметова , А.Д. Мырзахан* ,
Е.В. Рахимова , Г. Сыпабеккызы 

Институт ботаники и фитоинтродукции, Алматы, Казахстан

*e-mail: myrzakhan_anel@mail.ru

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АННОТИРОВАННЫЙ СПИСОК ВИДОВ МИКО- И ЛИХЕНОБИОТЫ МАНГИСТАУСКОЙ ОБЛАСТИ

К настоящему времени мико- и лишенобиота Мангистауской области являются практически не изученными, здесь было отмечено всего 5 видов грибов и грибоподобных организмов. В связи с этим, целью нашей работы было изучение видового состава мико- и лишенобиоты Мангистауской области и составление аннотированного списка видов. Образцы для статьи были собраны в 2024 г. на территории Мангистауской области. Приготовление препаратов грибов и лишайников, их изучение с помощью светового микроскопа Levenhuk MED D45T LCD и идентификация осуществлялись по стандартной методике. В результате обработки литературных данных и гербарных образцов, составлен аннотированный список грибов, грибоподобных организмов и лишайников Мангистауской области, включающий 102 вида из двух царств *Chromista* и *Fungi*. Царство *Fungi* насчитывает 101 вид, из которых шесть занимают неясное систематическое положение, 10 видов относятся к базидиальным грибам (подцарство *Basidiomycota*), 85 видов – к сумчатым (подцарство *Ascomycota*). Подцарство *Ascomycota* насчитывает 6 классов, из которых самым крупным является класс *Dothideomycetes* с 6 порядками, 16 семействами, 23 родами и 42 видами. Три класса *Candelariomycetes*, *Eurotiomycetes* и *Lecanoromycetes* представлены видами лишенизированных грибов (лишайников). Подцарство *Basidiomycota* насчитывает 3 класса, 4 порядка, 5 семейств, 7 родов и 10 видов. В Мангистауской области наиболее широко представлены сапротрофы (43 вида), симбиотрофы включают 34 вида, а паразиты – 25 видов. Лидирующими семействами высших растений, представители которых выступают в качестве субстрата или хозяина, являются семейства *Chenopodiaceae*, *Poaceae*, *Fabaceae*, *Asteraceae*, *Rhamnaceae*. Наибольшее количество видов грибов, грибоподобных организмов и лишайников (58) выявлено на территории Тупкараганского района. Ценность и практическое значение нашего исследования заключаются в получении данных о видовом составе мико- и лишенобиоты Мангистауской области, распространении грибов и лишайников, их экологических группах и приуроченности к разным типам субстратов.

Ключевые слова: грибоподобный организм, лишенобиота, Мангистауская область, микобиота, паразит, растение-хозяин, сапротроф, симбиотроф, субстрат.

L.A. Kyzmetova, A.D. Myrzakhan*, E.V. Rakhimova, G. Syapabekkyzy

Institute of Botany and Phytointroduction, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: myrzakhan_anel@mail.ru

Preliminary annotated list of myco- and lichenobiota species of Mangystau region

To date, myco- and lichenobiota of Mangistau region remain poorly studied, only 5 species of fungi and fungus-like organisms have been recorded here. In this connection, the aim of our work was to study the species composition of myco- and lichenobiota of Mangistau region and to make an annotated list of species. Specimens for the article were collected in 2024 in the territory of Mangistau region. Preparation of specimens of fungi and lichens, their study using a light microscope Levenhuk MED D45T LCD and identification were carried out according to standard methods. As a result of processing of literature data and herbarium specimens, an annotated list of fungi, fungus-like organisms and lichens of Mangistau region including 102 species from two kingdoms *Chromista* and *Fungi* was compiled. The kingdom *Fungi* includes 101 species, of which six are of unclear systematic position, 10 species belong to basidiomycetes (subkingdom *Basidiomycota*), 85 species – to ascomycetes (subkingdom *Ascomycota*). The subkingdom *Ascomycota* has 6 classes, of which the largest is the class *Dothideomycetes* with 6 orders, 16 families, 23 genera and 42 species. Three classes *Candelariomycetes*, *Eurotiomycetes* and *Lecanoromycetes* are represented by species of lichenised fungi (lichens). The subkingdom *Basidiomy-*

cota has three classes, 4 orders, 5 families, 7 genera and 10 species. In Mangistau region, saprotrophs are most widely represented (43 species), symbiotrophs include 34 species, and parasites – 25 species. The greatest number of species of fungi, fungus-like organisms and lichens (58) was found in the territory of Tupkaragan district. The value and practical significance of our study lies in obtaining data on the species composition of myco- and lichenobiota of Mangistau region, distribution of fungi and lichens, their ecological groups and confinement to different types of substrates.

Keywords: fungal-like organism, host plant, lichenobiota, Mangistau region, mycobiota, parasite, saprotroph, substrate, symbiotroph.

Л.А. Кызметова, А.Д. Мырзахан*, Е.В. Рахимова, Г. Сыпабеккызы

Ботаника және фитоинтродукция институты, Алматы, Қазақстан

*e-mail: myrzakhan_anel@mail.ru

Маңғыстау облысының мико- және лихенобиота түрлерінің алдын ала аннотацияланған тізімі

Бүгінгі таңда Маңғыстау облысының мико- және лихенобиотасы іс жүзінде зерттелмеген, мұнда тек 5 түрі ғана саңырауқұлақтар мен саңырауқұлақ тәрізді организмдер ретінде тіркелген. Осыған байланысты біздің жұмысымыздың мақсаты Маңғыстау облысының мико- және лихенобиотасының түрлік құрамын зерттеп, түрлердің аннотацияланған тізімін жасау болды. Мақалаға арналған үлгілер 2024 жылы Маңғыстау облысы аумағынан жиналды. Саңырауқұлақтар мен қыналар препараттарын дайындау, оларды Levenhuk MED D45T LCD жарық микроскопының көмегімен зерттеу және идентификациялау стандартты әдістер бойынша жүргізілді. Әдеби деректер мен гербарий үлгілерін өңдеу нәтижесінде Маңғыстау өңіріндегі саңырауқұлақтардың, саңырауқұлақ тектес организмдердің және қыналардың аннотацияланған тізімі жасалды, оның ішінде *Chromista* және *Fungi* екі патшалығының 102 түрі анықталып, енгізілді. *Fungi* патшалығы 101 түрден тұрады, олардың алтауының жүйелік орны анықталмаған, 10 түрі базидиомицеттерге (*Basidiomycota* субпатшалығына), 85 түрі қалталыларға (*Ascomycota* субпатшалығына) жатады. *Ascomycota* субпатшалығы 6 кластан тұрады, олардың ішіндегі ең үлкені *Dothideomycetes* класы болып табылады, ол 6 қатар, 16 тұқымдас, 23 туыс және 42 түрден тұрады. *Candelariomycetes*, *Eurotiomycetes* және *Lecanoromycetes* кластарын қына тәрізденген саңырауқұлақтар (қыналар) түрлері құрайды. *Basidiomycota* субпатшалығы үш кластан, 4 қатардан, 5 тұқымдастан, 7 туыстан және 10 түрден тұрады. Маңғыстау облысында аса кеңінен таралған сапротрофтар (43 түр), симбиотрофтарға 34 түр, ал, паразиттерге 25 түр жатады. Өкілдері субстрат немесе иелік-өсімдік қызметін атқаратын жоғары сатыдағы өсімдіктердің жетекші тұқымдастарына *Chenopodiaceae*, *Poaceae*, *Fabaceae*, *Asteraceae*, *Rhamnaceae* тұқымдастары жатады. Саңырауқұлақтардың, саңырауқұлақ тектес организмдердің және қыналардың ең көп саны (58) Түпқараған ауданының территориясында анықталды. Біздің зерттеуіміздің құндылығы мен тәжірибелік маңыздылығы Маңғыстау облысының мико- және лихенобиотасының түрлік құрамы, саңырауқұлақтар мен қыналардың таралуы бойынша мәліметтер алуға және олардың экологиялық топтарын анықтап, әртүрлі субстрат түрлеріне бейімделушілігін анықтауға негізделген.

Түйін сөздер: саңырауқұлақ тәрізді организм, лихенобиота, Маңғыстау облысы, микобиота, паразит, иелік өсімдік, сапротроф, симбиотроф, субстрат.

Введение

Мангистауская область, площадью 165 642 км² расположена на юго-западе Казахстана. Северная часть области с обширными солончаками, горами и песчаными массивами расположена на Прикаспийской низменности, южная часть включает горы Мангистау, плато Устюрт, Мангистау, Кендерли-Каясанское. В пределах плато выделяются субмеридиональные крупнейшие впадины Карагие (-132 м) и Карынжарык (-68 м) и субширотные небольшие впадины Карамындыбас, Узень, Куанды и другие. Обводненность Мангистауской области крайне слабая,

имеются лишь временные водотоки и колодцы; с запада территория омывается Каспийским морем. Климат резко континентальный, аридный. Самый холодный месяц январь со средней температурой -7°C, самый жаркий – июль со средней температурой +27°C. Осадков выпадает всего около 100–150 мм в год. [1].

Учитывая вышеизложенное, территория Мангистауской области относится к засушливой зоне с крайне неблагоприятными условиями для сосудистых растений: высокая солнечная инсоляция, резкие суточные и сезонные колебания температур и влажности воздуха, бедность, засоленность и мелкопрофильность почв [2].

Флора высших растений области является типично пустынной [3, 4] и насчитывает 675 видов из 69 семейств и 300 родов [5]. К доминирующим семействам *Chenopodiaceae*, *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Poaceae* и *Fabaceae* относится подавляющее большинство представителей флоры [5, 6]. В результате флористических обследований территории в 2010-2023 гг., было выявлено 14 географических новинок для Мангистауской области: *Artemisia sieversiana* Willd., *Ribes aureum* Pursh, *Tulipa gesneriana* L. (*T. schrenkii* Regel), *Malus siversii* (Ledeb.) M. Roem., *Urtica dioica* L., *Epilobium hirsutum* L., *Rosa canina* L., *Portulaca oleracea* L., *Hordeum murinum* L., *Atriplex verrucifera* M. Bieb., *Cakile maritima* subsp. *euxina* (Pobed.) Nyár. и др. [4, 7-9]. Для Мангистауской области, как и для всех аридных территорий, характерно разнообразие видового состава весенних и раннелетних растений (эфемеров и эфемероидов), при этом их доля составляет около 30% от общего состава флоры [3, 4].

Мико- и лишенобиота Мангистауской области являются почти не изученными. На территории исследований было отмечено всего 5 видов грибов и грибоподобных организмов (*Albugo candida*, *Strickeria pomiformis*, *Wilsonomyces carpophilus*, *Inonotus hispidus*, *Dictyocephalos attenuatus*), собранных в 1940-1965 гг. разными коллекторами [10]. Нужно отметить, что вид *Wilsonomyces carpophilus*, вызывающий дырчатую пятнистость листьев, встречается на двух представителях семейства *Rosaceae* Juss.: на *Prunus armeniaca* и *P. avium*. Достаточно хорошо изучены миксомицеты Мангистауской области [11]. Их видовой состав насчитывает 40 видов из 13 родов.

Целью нашей работы было изучение видового состава мико- и лишенобиоты Мангистауской области и составление аннотированного списка видов.

Материалы и методы исследования

Сбор образцов

Образцы были собраны в 2024 г. на территории Мангистауской области. Были обследованы окрестности сел Кызылсай, Шетпе, Жармыш, Куланды, Шайыр, Кендерли и др., Устюртский государственный природный заповедник (фрагменты песчаного массива Карынжарык, кордон Онере, у родника, горы Три брата), побережье Каспийского моря, горный массив Акмыштау, долина замков Айракты, урочища Торыш, Бозжыра, Ти-

рамису, ущелье Капамсай, мыс Жыгылган, Черепашье озеро и южные пустыни приграничных территорий Туркменистана (Рисунок 1-6).

Географическое положение точек сбора образцов было зарегистрировано с использованием GPS (Garmin) (Рисунок 7). Всего было обследовано: в Тупкараганском р-не – 13 точек (т. 1, 3, 6 км от некрополя «Калипан корым», 183 м над ур. м., N43°55'04.74", E051°01'45.97", 12.05.2024; т. 2, на 53 км от г. Актау, по дороге в урочище Саура, 266 м над ур. м., N44°06'19.24", E051°00'39.16", 12.05.2024; т. 3, на 79 км от г. Актау, по дороге в ур. Саура, рядом с каменным карьером для строительства, полынно-кустарниковое сообщество, 276 м над ур. м., N44°09'43.75", E050°58'59.01", 12.05.2024; т. 5, восточное побережье Каспийского моря, рядом оз. Саура (Черепашье оз.), ур. Саура, 94 м над ур. м., N44°13'24.92", E050°48'17.69", 12.05.2024; т. 6, оз. Саура (Черепашье оз.), ур. Саура, – 70 м над ур. м., N44°22'36.6", E051°20'39.6", 13.05.2024; т. 7(406), дорога к пос. Суат и Жыгылган, 12,4 км от ур. Саура (Черепашье оз.), 246 м над ур. м., N44°18'38.03", E050°51'49.93", 13.05.2024; т. 8(408), ТР, дорога к Суат и Жыгылган, 2,7 км не доезжая до некрополя «Акшора», 292 м над ур. м., N44°25'44.95", E050°50'43.29", 13.05.2024; т. 9(409), дорога к пос. Суат и Жыгылган, окрестности некрополя «Карагашты Аулие», 279 м над ур. м., N44°28'17.64", E050°52'02.68", 13.05.2024; т. 10, мыс Жыгылган Тупкараганского полуострова, 170 м над ур. м., N44°36'45.92", E050°49'58.23", 13.05.2024; т. 11(59), каньон Капамсай, 34 м над ур. м., N44°24'34.43", E051°04'42.24", 14.05.2024; т. 12(60), западнее 3,5 км от подземной мечети «Шакпак-Ата», 143 м над ур. м., N44°24'52.62", E051°11'56.40", 14.05.2024; т. 13(61), по дороге в ур. Торыш от Шакпаксая, 110 м над ур. м., N44°24'03.03", E051°12'16.49", 14.05.2024; т. 14(62), шаровые конкреции ур. Торыш, 245 м над ур. м., N44°19'25.87", E051°35'45.27", 14.05.2024; в Мангистауском р-не – 4 точки (т. 16(63), горный массив Акмыштау, долина замков Айракты, 180 м над ур. м., N44°15'04.49", E052°08'22.51", 16.05.2024; т. 17(64), горы Каратау, между пос. Шетпе и Жармыш, 226 м над ур. м., N44°09'17.90", E052°18'14.79", 16.05.2024; т. 18(65), западный чинк Устюрта, сор Тузбаир, 73 м над ур. м., N44°02'19.68", E053°09'31.79", 16.05.2024; т. 19(66), западный чинк Устюрта, сор Тузбаир, 2 м над ур. м., N44°02'20.09", E053°09'31.43",

16.05.2024); в Каракиянском р-не – 18 точек (т.21(68), ур. Кызылкуп (Тирамису), -2 м над ур. м., N43°29'31.11", E053°47'41.00", 16.05.2024; т. 23(70), дорога в мечеть «Бекет Ата», 5 км от с. Шопан Аты, 162 м над ур. м., N43°32'09.00", E053°16'36.44", 17.05.2024; т. 24(71), окрестности пос. Кендерли, 36 м над ур. м., N42°48'29.65", E052°40'41.72", 17.05.2024; т.25(72), вблизи от границы Туркменистана, Каспийское море, залив Косашы, -88 м над ур. м., N42°03'02.16", E052°26'43.23", 18.05.2024; т.26(73), вблизи от границы Туркменистана, южные тепло-умеренные пустыни, -3 м над ур. м., N42°02'12.87", E052°29'03.38", 18.05.2024; т. 27(74), приграничные территории Туркменистана, степь, 24 м над ур. м., N41°57'55.47", E052°36'23.09", 18.05.2024; т. 28(75), приграничные территории Туркменистана, степь, 44 м над ур. м., N42°05'00.62", E052°45'02.16", 18.05.2024; т. 29(76), приграничные территории Туркменистана, степь, 103 м над ур. м., N42°15'50.52", E052°55'16.91", 18.05.2024; т.30(77), Устюртский заповедник, кордон Оне-ре, у родника, 88 м над ур. м., N42°16'05.54", E052°54'43.98", 19.05.2024; т. 31(78), территория Устюртского заповедника, -73 м над ур. м., N42°34'50.87", E054°09'03.72", 19.05.2024; т. 32(79), территория Устюртского заповедника, по дороге в ур. Кендерли, такыр, 22 м над ур. м., N42°29'31.82", E054°15'51.01", 20.05.2024; т. 33(80), Устюртский заповед-

ник, по дороге в ур. Кендерли, 89 м над ур. м., N42°30'05.55", E054°33'39.02", 20.05.2024; т.34(81), территория Устюртского заповедника, по дороге в ур. Кендерли, горы «Три брата», 83 м над ур. м., N42°35'44.41", E054°17'48.12", 20.05.2024; т. 35(82), территория Устюртского заповедника, барханы, -30 м над ур. м., N42°41'27.89", E054°07'10.88", 21.05.2024; т.14, 72,5 км юго-западнее с. Жанаозен, окрестности мыса Токмак, слабоволнистая равнина, биюргуново-кейреуковое сообщество, 141 м над ур. м., N42°51'28.38", E052°17'33.07", 09.2024, А.Ф. Исламгулова; т. 46, 125 км юго-западнее с. Жанаозен, слабоволнистая равнина, многолетнее солянковое сообщество с полыньей в комплексе с ежовниково-лишайниковым по такыровидным почвам, 143 м над ур. м., N42°13'38.72", E052°46'03.61", 09.2024, А.Ф.Исламгулова; т.58, 121 км южнее с. Жанаозен, волнистая равнина с буграми, 167 м над ур. м., N42°19'17.48", E053°20'27.98", 09.2024, А.Ф. Исламгулова; т. 475, 115 км южнее с. Жанаозен, слабоволнистая равнина, полынно-кейреуковое сообщество, 187 м над ур. м., N42°20'07.38", E052°47'38.17", 09.2024, А.Ф. Исламгулова). Образцы, где не указана фамилия коллектора, собраны Л.А.Кызметовой.

Для фотосъемки симптомов грибных болезней, плодовых тел на различных субстратах или талломах лишайников использовался фотоаппарат Canon EOS 600D.



Рисунок 1 – Оз. Саура (Черепашье оз.)



Рисунок 2 – Ущелье Капамсай



Рисунок 3 – Горы Акмыштау



Рисунок 4 – Долина замков Айракты



Рисунок 5 – Шаровые конкреции ур. Торыш



Рисунок 6 – Сор Тузбаир

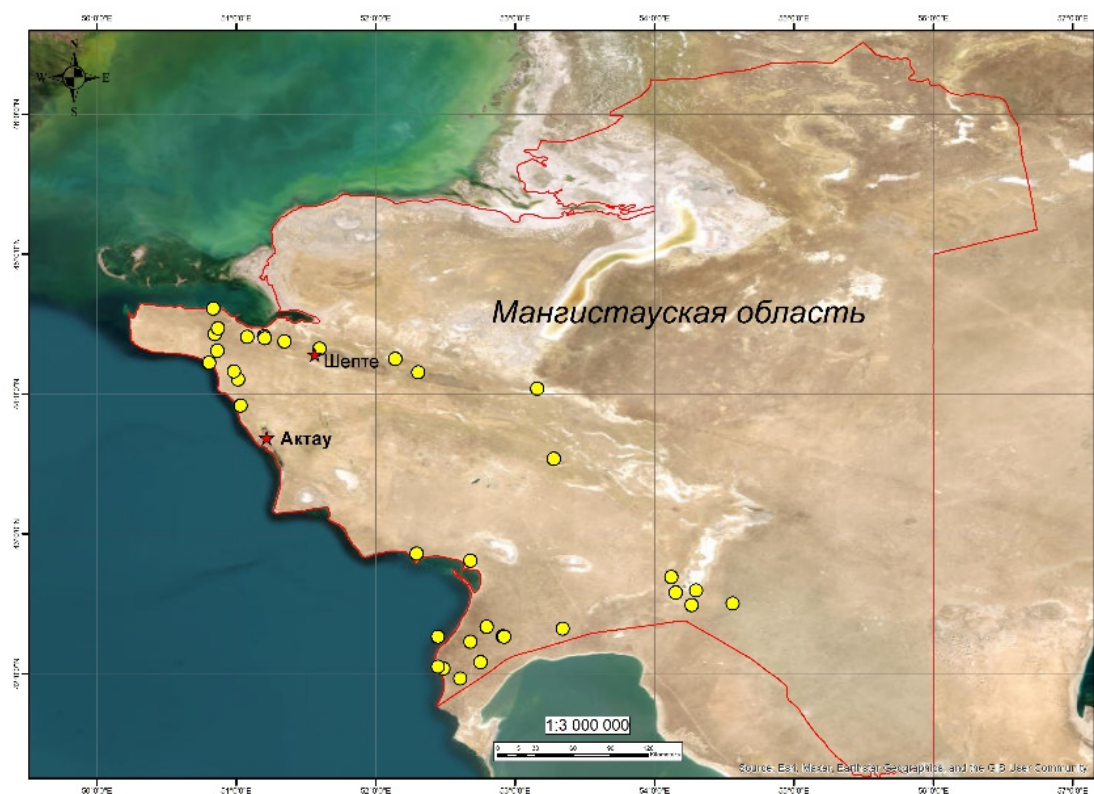


Рисунок 7 – Карта Мангистауской области с отметками точек сбора образцов

2. Идентификация видов

Изучение грибов и лишайников проводилось по стандартным методикам с помощью микроскопа Levenhuk MED D45T LCD при различных увеличениях (от $10\times$ до $100\times$ с масляной иммерсией) [12]. Окрашивание лишайников проводили с помощью 10% водного раствора гидрохлорида калия, насыщенного водного раствора гипохлорида кальция и спиртового раствора йода.

Видовая принадлежность грибов и лишайников установлена с помощью соответствующих определителей [12-15]. Список видов выверен и расположен по системе, принятой в Базе данных Mycobank [17].

Результаты исследования и их обсуждение

В результате обработки литературных данных и гербарных образцов, собранных на территории Мангистауской области, составлен аннотированный список грибов, грибоподобных организмов и лишайников, включающий 102 вида. Список приводится ниже. В списке приняты сокращения: КР – Каракинский р-н, МР – Мангистауский р-н.

Chromista Caval.-Sm.

Oomycota Arx

Peronosporomycetes Locq.

Albuginales Thines

Albuginaceae J. Schröt.

Albugo candida (Pers. ex J.F. Gmel.) Roussel (*A.candida* var. *candida*) – на *Neotorularia torulosa* (Desf.) Hedge & J. Leonard, МР, п-ов Мангышлак, ур. Силу-Кара, полужакрепленные пески, 20.05.1941, Н.Т. Агеева.

Fungi Bartling

Incertae sedis

Strickeria atraphaxis Kravtzev – на *Atraphaxis frutescens* (L.) Eversm., т. 29(76); на *Atraphaxis spinosa* L., т. 12(60), т. 6, т. 25(72).

Dikarya Hibbett, T.Y. James & Vilgalys

Ascomycota Caval.-Sm.

Incertae sedis

Dematium graminum Lib. (*Cladosporium graminum* (Pers.) Link) – на *Leymus racemosus* (Lam.) Tzvelev, т. 25(72).

Strickeria haloxyli Kravtzev – на *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge ex Fenzl, т.21(68).

Strickeria kochii Körb. – на *Atraphaxis spinosa* L., т. 34(81).

Strickeria pomiformis Kravtzev – на *Atraphaxis decipiens* Jaub. & Spach, КР, плато Устюрт, август 1940, Зворыгин.

Strickeria scutellata Kravtzev – на *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge ex Fenzl, т.31(78).

Pezizomycotina O.E. Erikss. & Winka

Candelariomycetes Voglmayr & Jaklitsch

Candelariales Miadl., Lutzoni & Lumbsch

Candelariaceae Hakul.

Candelariella vitellina (Hoffm.) Müll.

Arg. – на основных породах в комплексе с *Circinaria calcarea* (L.) A. Nordin, Savić & Tibell, т. 7(406); на основных породах в комплексе с *Verrucaria muralis* Ach., т. 2.

Dothideomycetes O.E. Erikss. & Winka

Dothideomycetidae P.M. Kirk, P.F. Cannon, J.C. David & Stalpers ex C.L. Schoch, *Spatafora*, Crous & Shoemaker

Botryosphaeriales C.L. Schoch, Crous & Shoemaker

Botryosphaeriaceae Theiss. & P. Syd.

Diplodia astragali Golovin – на *Astragalus* sp., т. 5.

Diplodia sp. – на *Nitraria schoberi* L., т. 16(63). До сих пор виды рода *Diplodia* Fr. на селитрянке не отмечались.

Guignardia alhagi Bubák – на *Alhagi pseudalhagi* subsp. *persarum* (Boiss. & Buhse) Takht., т.23(70).

Guignardia herbarum Vasyag. – на *Iris longiscapa* Ledeb., т. 23(70).

Phoma artemisiae Kalchbr. & Cooke – на *Artemisia* sp., т. 23(70), т. 14(62).

Phoma rhamni Richon – на *Rhamnus erythroxylodes* subsp. *sintenisii* (Rech. fil.) Mabb. (*Rh. sintenisii* Rech. fil.), т. 11(59).

Phoma sp. – на *Alhagi pseudalhagi* subsp. *persarum* (Boiss. & Buhse) Takht., т. 23(70). Виды рода *Phoma* Sacc. на верблюжьей колючке ранее не отмечались.

Capnodiales Woron.

Capnodiaceae (Sacc.) Höhn. ex Theiss.

Leptoxylum fumago (Woron.) Crous (*Fumago vagans* Pers.) – на *Haloxylon ammodendron* (C.A.Mey.) Bunge ex Fenzl, т. 30(77).

othideales Lindau
Dothioraceae Theiss. & P. Syd.
Selenophoma artemisiae Kalymb. – на *Artemisia* sp., т. 14(62).

Selenophoma curva (P. Karst.) Petr. – на *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. subsp. *australis*, т. 30(77).

Cladosporiales Abdollahz. & Crous
Cladosporiaceae Chalm. & R.G. Archibald
Cladosporium macrocarpum Preuss – на *Ferula* sp., т. 25(72).

Mycosphaerellales (Nannf.) P.F. Cannon
Mycosphaerellaceae Lindau
Cercospora alhagi Barbarin – на *Alhagi pseudalhagi* subsp. *persarum* (Boiss. & Buhse) Takht., т. 5.

Rhabdospora ephedrella Golovin – на *Ephedra strobilacea* Bunge, т. 33(80), т. 28(75).

Septoria nicaeensis Thüm. (*Rhabdospora nicaeensis* (Thüm.) Sacc.) – на *Euphorbia sclerocyathium* Korovin & Popov, т. 5.

Pleosporomycetidae C.L. Schoch, Spatafora, Crous & Shoemaker

Pleosporales Luttr. ex M.E. Barr

Coniothyriaceae W.B. Cooke

Coniothyrium acanthophylli Woron. – на *Acanthophyllum pungens* (Bunge) Boiss., т. 34(81).

Coniothyrium insitivum Sacc. – на *Rhamnus erythroxylodes* subsp. *sintenisii* (Rech. fil.) Mabb., т. 6.

Coniothyrium tamaricis Oudem. – на *Tamarix laxa* Willd., т. 11(59), т. 6.

Coniothyrium zygophylli Syd. & P. Syd. – на *Zygophyllum ovigerum* Fisch. & C. A. Mey. ex Kar., т. 32(79).

Coniothyrium sp. – на *Malacocarpus crithmifolius* (Retz.) Fisch. & C. A. Mey., т. 25(72).

Cucurbitariaceae G. Winter

Cucurbitaria caraganae P. Karst. – на *Caragana frutex* (L.) K. Koch, т. 17(64).

Cucurbitaria transcaspica Rehm – на *Atriplex cana* Ledeb., т. 18(65).

Dacampiaceae Körb.

Dacampia hookeri (Borrer) A. Massal. (*Pleospora hookeri* (Borrer) Keissl.) – на *Artemisia* sp., т. 1.

Didymosphaeriaceae Munk

Didymosphaeria ephedricola Frolov – на *Ephedra intermedia* Schrenk & C.A.Mey., т. 10.

Dothidotthiaceae Crous & A.J.L. Phillips

Wilsonomyces carpophilus (Lév.) Adask., J.M.Ogawa & E.E. Butler (*Stigmina carpophila* (Lév.) M.B. Ellis) – на *Prunus armeniaca* L., *Prunus avium* (L.) L., окрестности г. Актау, 1964, Л.Д. Казенас.

Leptosphaeriaceae M.E. Barr

Leptosphaeria artemisiae Auersw. – на *Artemisia terrae-albae* Krasch., т. 1, т. 7(406).

Phaeosphaeriaceae M.E. Barr

Hendersonia artemisiae Sacc. – на *Artemisia* sp., т. 23(70).

Hendersonia mori Kalchbr. (*Camarosporium mori* (Kalchbr.) Schulzer) – на *Morus alba* L., т. 11(59), т. 10.

Pleosporaceae Nitschke

Alternaria alternata (Fr.) Keissl. – на *Alhagi pseudalhagi* subsp. *persarum* (Boiss. & Buhse) Takht., т. 23(70); на *Bromus squarrosus* L., т. 6.

Pleospora lactucicola Ellis & Everh. – на *Stipa capillata* L., т. 9(409).

Pleospora sp. – на *Anabasis salsa* (C.A.Mey.) Benth. ex Volkens, т. 27(74); на *Astragalus turcomanicus* (Bunge) Bunge, т. 34(81); на *Bassia prostrata* (L.) Beck, т. 26(73); на *Convolvulus fruticosus* Pall., т. 17(64); на *Morus alba* L., т. 11(59); на *Peganum harmala* L., т. 7(406).

Pyrenophora ipomoeae Clem. (*Pleospora ipomoeae* (Clem.) Wehm.) – на *Oreosalsola arbusculiformis* (Drobow) Sennikov, т. 19(66).

Stemphylium vesicarium (Wallr.) E.G. Simmons (*Pleospora herbarum* (Pers.) Rabenh. ex Ces. & De Not.) – на *Allium* sp., т. 10; на *Artemisia terrae-albae* Krasch., т. 13(61).

Teichosporaceae M.E. Barr

Teichospora bakuana Rehm (*Strickeria bakuana* (Rehm) Koshk. & Frolov) – на *Atriplex cana* Ledeb., т. 10; на *Oreosalsola arbusculiformis* (Drobow) Sennikov, т. 34(81).

Torulaceae Corda

Torula antiqua Corda – на *Convolvulus fruticosus* Pall., т. 6.

Pleosporineae M.E. Barr

Camarosporiaceae Wanas., Wijayaw., K.D.Hyde & Crous

Camarosporium alhagi Koshk. & Frolov – на *Alhagi pseudalhagi* subsp. *persarum* (Boiss. & Buhse) Takht., т. 23(70).

Camarosporium caraganae P. Karst. (Рисунок 8) – на *Caragana frutex* (L.) K.Koch, т. 17(64), т. 10; на *Caragana grandiflora* DC., т. 11(59).

Camarosporium eurtiae Kalymb. – на *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst., т. 10.

Camarosporium haloxylicola Kravtzev – на *Haloxydon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge ex Fenzl, т. 21(68).

Camarosporium rhamni Allesch. – на *Rhamnus erythroxylodes* subsp. *sintenisii* (Rech. fil.) Mabb., т. 6.

Camarosporium roumegueri Sacc. – на *Bassia prostrata* (L.) Beck, т. 10.

Camarosporium salsolae Urries – на *Bassia prostrata* (L.) Beck, т. 23(70).

Camarosporium sp. – на *Convolvulus fruticosus* Pall., т. 17(64); на *Rhamnus erythroxylodes* subsp. *sintenisii* (Rech. fil.) Mabb., т. 12(60).

Eurotiomycetes O.E. Erikss. & Winka

Chaetothyriomycetidae Doweld

Verrucariales Mattick ex D. Hawksw. & O.E.Erikss.

Verrucariaceae Eschw.

Clavascidium laciniatum (Ach.) Prieto – на почве в комплексе с *Diploschistes scruposus* (Schreb.) Norman, т. 11(59).

Verrucaria muralis Ach. – на основных породах, т. 18(65); на основных породах в комплексе с *Candelariella vitellina* (Hoffm.) Müll. Arg., т. 2.

Verrucaria nigrescens Pers. – на основных породах в комплексе с *Circinaria calcarea* (L.) A.Nordin, Savić & Tibell, т. 12(60); на основных породах, т. 6.

Lecanoromycetes O.E. Erikss. & Winka

Acarosporomycetidae Reeb, Lutzoni & Cl. Roux

Acarosporales Reeb, Lutzoni & Cl. Roux

Acarosporaceae Zahlbr.

Acarospora cervina A. Massal. – на основных породах в комплексе с *Calogaya saxicola* (Hoffm.) Vondrák, т. 5; на почве, т. 14(62); на основных породах в комплексе с *Aspicilia desertorum* (Kremp.) Mereschk., т. 31(78).

Acarospora fuscata (Schrad.) Arnold – на основных породах в комплексе с *Protoparmeliopsis muralis* (Schreb.) M. Choisy, т. 17(64).

Acarospora molybdina (Wahlenb.) Trevis. – на основных породах, т. 31(78).

Acarospora strigata (Nyl.) Jatta – на основных породах, т. 18(65), т. 14(62), т. 6.

Lecanoromycetidae P.M. Kirk, P.F. Cannon, J.C. David & Stalpers ex Miadl., Lutzoni & Lumbsch
Lecanorales Nannf.

Lecanoraceae Körb.

Lecanora argopholis (Ach.) Ach. (Рисунок 9) – на основных породах, т. 14(62), т. 17(64).

Lecidella carpathica Körb. – на основных породах, т. 14(62).

Lecidella stigmatia (Ach.) Hertel & Leuckert – на основных породах, т. 6.

Protoparmeliopsis garovaglii (Körb.) Arup, Zhao Xin & Lumbsch – на основных породах, т. 17(64).

Protoparmeliopsis muralis (Schreb.) M.Choisy – на основных породах и в комплексе с *Acarospora fuscata* (Schrad.) Arnold, т. 17(64).

Protoparmeliopsis peltata Ramond ex Arup, Zhao Xin & Lumbsch (Рисунок 10) – на основных породах, т. 17(64), т. 14(62).

Parmeliaceae F. Berchtold, J. S. Presl

Evernia esorediosa f. *terrestris* Tomin (Рисунок 11, 12) – на растительных остатках, т. 26(73); на почве, т. 46, т. 14.

Parmelia teretiuscula Wallr. (Рисунок 13) – на основных породах, т. 17(64), т. 16(64).

Xanthoparmelia pulla (Ach.) O. Blanco, A.Crespo, Elix, D. Hawksw. & Lumbsch – на основных породах в комплексе с *Protoparmeliopsis peltata* Ramond ex Arup, Zhao Xin & Lumbsch, т. 17(64).

Psoraceae Zahlbr.

Psora decipiens (Hedw.) Hoffm. – на почве, Бейнеуский р-н, N45°26'11.0", E055°21'59.0", 04.06.2017, П. Горбунов; т. 21(68), т. 24(71).

Lecideales Vain.

Lecideaceae Chevall.

Lecanimeria cupreolata (Nyl.) C.M. Xie – на основных породах, т. 16(64).

Rhizocarpaceae Miadl. & Lutzoni ex Miadl. & Lutzoni

Rhizocarpaceae M. Choisy ex Hafellner

Rhizocarpon geographicum (L.) DC. – на основных породах, т. 16(64); на основных породах в комплексе с *Circinaria caesiocinerea* (Nyl. ex Malbr.) A. Nordin, Savić & Tibell, т. 17(64).



Рисунок 8 – *Camarosporium caraganae* на *Caragana frutex*



Рисунок 9 – *Lecanora argopholis*



Рисунок 10 – *Protoparmeliopsis peltata*



Рисунок 11 – *Evernia esorediosa* f. *terrestris*



Рисунок 12 – *Evernia esorediosa* f. *terrestris*



Рисунок 13 – *Parmelia teretiuscula*

Teloschistales D. Hawksw. & O.E. Erikss.

Teloschistaceae Zahlbr.

Laundonia flavovirescens (Wulfen) S.Y. Kondr., Lökös & Hur (*Gyalolechia flavovirescens* (Wulfen) Söchting, Frödén & Arup) – на основных породах, т. 6.

Caloplacoideae Arup, Söchting & Frödén

Rufoplaca arenaria (Persoon) Arup – на основных породах в комплексе с *Circinaria calcarea* (L.) A. Nordin, Savić & Tibell, т. 12(60).

Xanthorioideae Arup, Söchting & Frödén

Calogaya decipiens (Arnold) Arup, Frödén & Söchting – на основных породах, т. 16(63), т. 14(62).

Calogaya lobulata (Flörke) Arup, Frödén & Söchting (*Seawardiella lobulata* (Flörke) S.Y.Kondr., I. Kärnefelt & A. Thell, *Caloplaca lobulata* (Flörke) Hellb.) – на *Nanophyton erinaceum* (Pall.) Bunge, т. 18(65).

Calogaya saxicola (Hoffm.) Vondrák – на основных породах, т. 14(62); на основных породах

в комплексе с *Acarospora cervina* A. Massal., т.5; на основных породах в комплексе с *Circinaria caesiocinerea* (Nyl. ex Malbr.) A. Nordin, Savić & Tibell, т. 5, т. 6.

Rusavskia elegans (Link) S.Y. Kondr. & Kärnefelt – на основных породах, т. 17(64).

Ostropomycetidae Reeb, Lutzoni & Cl. Roux

Graphidales Bessey

Graphidaceae Dumort.

Diploschistes diacapsis (Ach.) Lumbsch – на почве, т. 27(74), т. 46, т. 475, т. 58, т. 14, т. 7(406).

Diploschistes scruposus (Schreb.) Norman – на почве в комплексе с *Clavascidium lacinulatum* (Ach.) Prieto, т. 11(59).

Pertusariales M. Choisy ex D. Hawksw. & O.E.Erikss.

Megasporaceae Lumbsch

Aspicilia desertorum (Kremp.) Mereschk. – на основных породах, т. 14(62), т. 31(78); на основных породах в комплексе с *Acarospora cervina* A. Massal., т. 31(78).

Aspicilia cinerea (L.) Körb. – на основных породах, т. 21(68).

Circinaria affinis (Eversm.) Sohrabi (*Aspicilia vagans* Oxner) – на основных породах, т. 18(65).

Circinaria caesiocinerea (Nyl. ex Malbr.) A. Nordin, Savić & Tibell – на основных породах, т. 14(62), т. 12(60), т. 18(65); на основных породах в комплексе с *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC., т. 17(64); на основных породах в комплексе с *Calogaya saxicola* (Hoffm.) Vondrák, т. 5, т. 6; на почве, т. 31(78).

Circinaria calcarea (L.) A. Nordin, Savić & Tibell – на основных породах, т. 14(62); на камне, т. 46; на основных породах в комплексе с *Rufoplaca arenaria* (Persoon) Arup и *Verrucaria nigrescens* Pers., т. 12(60); на основных породах в комплексе с *Candelariella vitellina* (Hoffm.) Müll. Arg., т. 6, т. 7(406).

Circinaria fruticulosa (Eversm.) Sohrabi – на почве, т. 31(78).

Leotiomycetes O.E. Erikss. & Winka

Leotiomycetidae O.E. Erikss. & Winka

Helotiales Nannf.

Erysiphaceae N.K. Sredinsky

Blumeria graminicola M. Liu & Hambl. – на *Poa pratensis* L., т. 6.

Blumeria graminis (DC.) Speer – на *Bromus tectorum* L., т. 11(59).

Erysiphe cruciferarum Opiz ex L. Junell (Рисунок 14) – на *Alyssum dasycarpum* Stephan ex

Willd., т. 8(408), т. 16(63); на *Camelina microcarpa* Andr. ex DC., т. 10.

Erysiphe ranunculi Grev. (*E. aquilegiae* var. *ranunculi* (Grev.) R.Y. Zheng & G.Q. Chen) – на *Ranunculus sceleratus* L., т. 6.

Golovinomyces cynoglossi (Wallr.) Heluta (*Erysiphe cynoglossi* (Wallr.) U. Braun) – на *Asperugo procumbens* L., т. 11(59); на *Lithospermum officinale* L., т. 6.

Neoerysiphe galii (S. Blumer) U. Braun – на *Galium aparine* L., т. 6, т. 11(59).

Sordariomycetes O.E. Erikss. & Winka

Sordariomycetidae O.E. Erikss. & Winka

Diaporthales Nannf.

Coryneaceae Corda

Coryneum ephedrae Kravtzev – на *Ephedra intermedia* Schrenk & C.A. Mey., т. 7(406).

Coryneum mori Nomura (*Stegonsporium mori* (Nomura) Sacc. & Trotter) – на *Morus alba* L., т. 10.

Cytosporaceae Fr.

Cytospora auerswaldii (Nitschke) L. Lin & X.L. Fan (*Leucostoma auerswaldii* (Nitschke) Höhn.) – на *Rhamnus erythroxylodes* subsp. *sinten isii* (Rech. fil.) Mabb., т. 12(60).

Basidiomycota Whittaker ex R.T. Moore

Agaricomycotina Doweld

Agaricomycetes Doweld

Hymenochaetales Oberw.

Hymenochaetaeaceae Imazeki & Toki

Inonotus hispidus (Bull.) P. Karst. – на *Morus alba* L., КР, Мангышлак, ур. Сарыбала, 29.06.1952 г., Н.Т. Агеева.

Agaricomycetidae Parmasto

Agaricales Underw.

Pleurotineae Aime, Dentinger & Gaya

Pleurotaceae Kühner

Pleurotus eryngii (DC.) Quél. – КР, N42°44'31.0", E054°07'04.0", 25.04.2023, П. Горбунов.

Agaricineae Fr.

Agaricaceae Chevall.

Agaricus bitorquis (Quél.) Sacc. – Мунайлинский р-н, в окрестностях г. Актау, N43°34'30.0", E051°16'37.0", 23.04.2023, М. Шайкина.

Dictyocephalos attenuatus (Peck) Long & Plunkett – на почве, МР, Мангышлак, у подножья склона Каратау, выходы юрских отложений, 23.07.1950, Н.Т. Агеева, С. Турдиев.

Montagnea candollei (Fr.) Fr. (*M. arenaria* (DC.) Zeller) – т. 3, т. 2, т. 35(82), т. 23(70), т. 16(63). Широко распространенный вид, встречающийся в основном в сухих, открытых, песчаных местах, в дюнах, пустынях, полупустынях и степях [18]. В Монголии *Montagnea candollei* – самый редкий гриб, описанный из двух местообитаний на северо-западе страны [19].

Pucciniomycotina R. Bauer, Begerow, J.P.Samp., M. Weiss & Oberw.

Pucciniomycetes R. Bauer, Begerow, J.P.Samp., M. Weiss & Oberw.

Pucciniales T. Caruel

Pucciniaceae Chevall.

Puccinia graminis Pers. (III) – на *Leymus* sp., т. 6.

Puccinia lactucarum P. Syd. – на *Lactuca* sp., т. 6.

Puccinia magnusiana Körn. (Рисунок 15) – на *Ranunculus sceleratus* L., т. 6.

Puccinia recondita Roberge ex Desm. (II) – на *Bromus* sp., т. 25(72).

Ustilaginomycotina R. Bauer, Begerow, J.P.Samp., M. Weiss & Oberw.

Ustilaginomycetes R. Bauer, Oberw. & Vánky

Ustilaginales G. Winter

Ustilaginaceae Tul. & C. Tul.

Ustilago turcomanica Tranzschel (Рисунок 16) – на *Eremopyrum orientale* (L.) Jaub. & Spach, т. 18(65).



Рисунок 14 – *Erysiphe cruciferarum* на *Alyssum dasycarpum*



Рисунок 15 – *Puccinia magnusiana* на *Ranunculus sceleratus*



Рисунок 16 – *Ustilago turcomanica* на *Eremopyrum orientale*

На территории Мангистауской области нами обнаружены представители двух царств *Chromista* и *Fungi*. Первое из них представлено всего одним видом из класса *Peronosporomycetes*, порядка *Albuginales*, семейства *Albuginaceae* – *Albugo candida*, паразитирующим на *Neotorularia torulosa*.

Царство *Fungi* насчитывает 101 вид, из которых шесть представителей родов *Dematium*, *Strickera* и *Strickeria* занимают неясное систематическое положение, 10 видов относятся к базидиальным грибам (подцарство *Basidiomycota*), 85 видов – к сумчатым (подцарство *Ascomycota*).

Подцарство *Ascomycota* насчитывает 6 классов, из которых самым крупным является

класс *Dothideomycetes* с 6 порядками, 16 семействами, 23 родами и 42 видами. В родах *Camarosporium* Schulzer и *Coniothyrium* Corda отмечено наибольшее количество видов (8 и 5, соответственно).

Три класса *Candelariomycetes*, *Eurotiomycetes* и *Lecanoromycetes* представлены видами лишайников. Из первого класса отмечен один вид *Candelariella vitellina* (*Candelariales*, *Candelariaceae*), из второго – три *Clavascidium lacinulatum*, *Verrucaria muralis* и *V. nigrescens* (*Verrucariales*, *Verrucariaceae*), а класс *Lecanoromycetes* насчитывает 31 вид из 17 родов, 9 семейств и 7 порядков. Самыми крупными родами являются *Acarospora* A.

Massal. и *Circinaria* Link, с четырьмя видами каждый, *Protoparmeliopsis* M. Choisy и *Calogaya* Arup, Frödén & Söchting, которые насчитывают по три вида каждый. На территории Мангистауской области наиболее широко распространены *Circinaria caesiocinerea*, *C. calcarea*, *Acarospora cervina*, *Psora decipiens*, *Aspicilia desertorum*. Образцы последнего вида отличаются от европейских образцов наличием толстого таллома, крупных апотециев, расположением водорослей в клубочках, по краю апотециев и отсутствием аспицилина [20, 21]. В аридных территориях Алтая в пределах *A. desertorum* s. l. выделено 7 накипных видов [22]. В Мангистауской области отмечены два космополита: *Candelariella vitellina* (на скалах, или коре, реже на широком спектре других субстратов [23]) и *Rhizocarpon geographicum* (на кремнистых породах на всех высотах); два субкосмополита: *Lecidella stigmathea* (на известняковых породах на всех высотах, но наиболее распространен выше 1000 м [23]) и *Protoparmeliopsis muralis* (на известняковых или кремнистых породах на всех высотах [23]). Из видов, широко распространенных в Азии [23], зарегистрированы *Acarospora cervina*, *A. fuscata*, *Calogaya lobulata*, *C. saxicola*, *Diploschistes diacapsis*, *Aspicilia cinerea*; в том числе на известковых или кремни-

стых породах на различных высотах – *Lecidella carpathica*, *Protoparmeliopsis garovaglii* (на высоте 80–1850 м) *Calogaya decipiens* (типичный обитатель разнообразных карбонатных пород [24]), *Aspicilia desertorum* (на кремнистых породах, валунах или небольших камнях, на известковых породах, в пустынях, зарослях кустарников или на открытых местах с редкими деревьями, на высоте 240–2170 м [20]); на кремнистых породах – *Xanthoparmelia pulla* (на высоте 0–1500 м), *Lecanimeria cupreoatra*, *Diploschistes scruposus*, *Circinaria caesiocinerea*, *C. calcarea* (на различных высотах); на известковых породах – *Parmelia teretiuscula* (на высоте 0–1500 м, выше 1000 м отмечен редко); на известковых почвах – *Psora decipiens*.

Подцарство *Basidiomycota* представлен тремя классами, 4 порядками, 5 семействами, 7 родами и 10 видами. Наиболее крупным является класс *Agaricomycetes* с 5 видами. Из класса *Pucciniomycetes* необходимо отметить род *Puccinia* Pers., представленный 4 видами.

Что касается разделения видов грибов, грибоподобных организмов и лишайников по экологическим группам, то наиболее широко представлены сапротрофы (43 вида), симбиотрофы включают 34 вида, а паразиты – 25 видов (Рисунок 17).

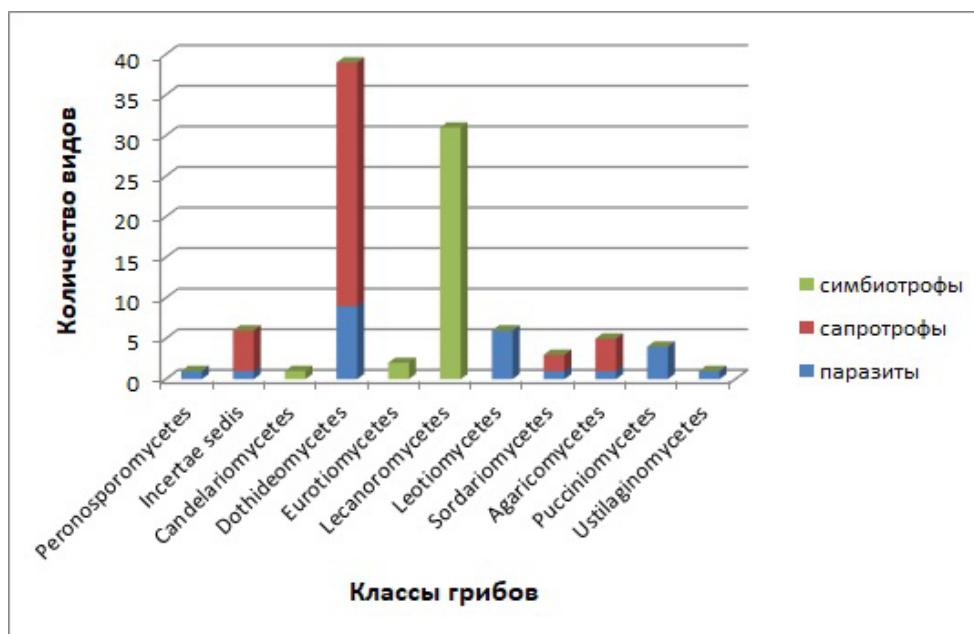


Рисунок 17 – Распределение представителей мико- и лишайнобиоты Мангистауской области по экологическим группам

Наибольшее количество лишайников (28) в качестве субстрата используют выходы основных пород (Рисунок 18). На почве обитают 7 видов грибов и лишайников. Лидирующими семействами высших растений, представители которых выступают в качестве субстрата или хозяина, являются семейства *Chenopodiaceae*, *Poaceae*, *Fabaceae*, *Asteraceae*, *Rhamnaceae*. На представителях семейства *Chenopodiaceae* обнаружено 11 видов грибов, на представителях

семейств *Poaceae* и *Fabaceae* по 9 видов, на семействе *Asteraceae* – 8 видов и на семействе *Rhamnaceae* – 6 видов.

На территории Тупкараганского района выявлено наибольшее количество видов грибов, грибоподобных организмов и лишайников (58 видов) (Таблица 1). В Каракиянском районе обнаружено 39 видов, а в Мангистауском – 29 видов. На территории Бейнеуского и Мунайлинского районов выявлено всего по одному виду.

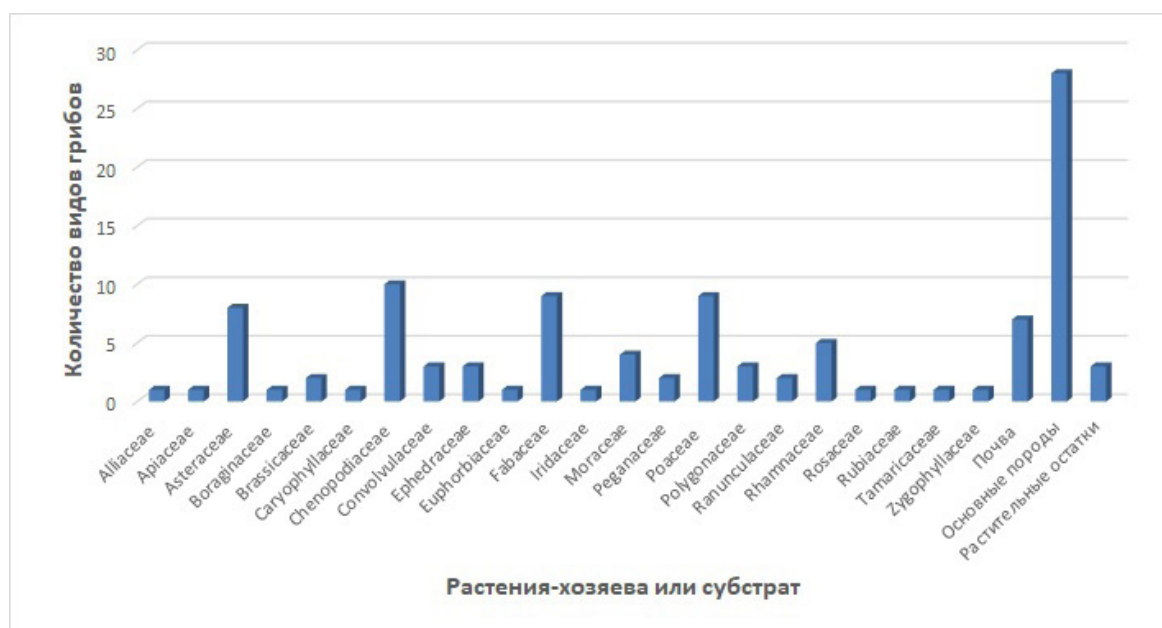


Рисунок 18 – Распределение представителей мико- и лишенобиоты Мангистауской области по субстратам и растениям-хозяевам

Таблица 1 – Распределение представителей мико- и лишенобиоты по районам Мангистауской области

Класс	Число видов по районам:				
	Бейнеу-ский	Каракиян-ский	Мангистау-ский	Мунайлин-ский	Тупкараган-ский
<i>Peronosporomycetes</i>	-	-	1	-	-
<i>Uncertae sedis</i>	-	6	-	-	1
<i>Candelariomycetes</i>	-	-	-	-	1
<i>Dothideomycetes</i>	-	18	7	-	23
<i>Eurotiomycetes</i>	-	-	-	-	2
<i>Lecanoromycetes</i>	1	11	17	-	16
<i>Leotiomycetes</i>	-	-	1	-	8
<i>Sordariomycetes</i>	-	-	-	-	3
<i>Agaricomycetes</i>	-	3	2	1	1
<i>Pucciniomycetes</i>	-	1	-	-	3
<i>Ustilaginomycetes</i>	-	-	1	-	-
Итого	1	39	29	1	58

При сравнении лишенобиоты Мангистауской области и сопредельных или сходных по климатическим условиям территорий, можно отметить, что с лишенобиотой России имеется 24 общих вида [25], с лишенобиотой Китая – 10 видов [26], Монголии – 22 вида [27, 28]. В предварительном списке лишайников Казахстана [29] отсутствуют два вида – *Acarospora molybdina* и *Evernia esorediosa* f. *terrestris*, обнаруженные нами в Мангистауской области.

Сравнивая микобиоту Мангистауской области с микобиотой аридных территорий юго-запада России, нужно отметить значительное количество грибов и грибоподобных организмов в России (2993 вида, из которых более 1200 видов – макромикеты [30, 31]. Общими для Мангистауской области и аридных территорий юго-запада России являются 27 видов. Роды *Strickeria* Körb. и *Camarosporium* Schulzer наиболее широко представлены на территории Мангистауской области, здесь же отмечен род *Selenophoma* Maïge, не отмеченный на территории России.

Заключение

Целью нашей работы было изучение видового состава мико- и лишенобиоты Мангистауской области и составление аннотированного списка видов. Образцы для статьи были собраны в 2024 г. на территории Мангистауской области. Приготовление препаратов грибов и лишайников, их изучение с помощью светового микроскопа Levenhuk MED D45T LCD и идентификация осуществлялись по стандартной методике.

В статье приводится аннотированный список грибов, грибоподобных организмов и лишайников Мангистауской области, включающий 102 вида из двух царств *Chromista* и *Fungi*. Список составлен на основе обработки литературных данных и гербарных образцов и включает данные о синонимике, местонахождении, субстрате (или растении-хозяине), точных координатах сборов. Подцарство *Ascomycota* насчиты-

тывает 6 классов, из которых самым крупным является класс *Dothideomycetes* с 6 порядками, 16 семействами, 23 родами и 42 видами. Подцарство *Basidiomycota* насчитывает три класса, 4 порядка, 5 семейств, 7 родов и 10 видов. В Мангистауской области наиболее широко представлены сапротрофы (43 вида), симбиотрофы включают 34 вида, а паразиты – 25 видов. Лидирующими семействами высших растений, представители которых выступают в качестве субстрата или хозяина, являются семейства *Chenopodiaceae*, *Poaceae*, *Fabaceae*, *Asteraceae*, *Rhamnaceae*. Наибольшее количество видов грибов, грибоподобных организмов и лишайников (58) выявлено на территории Тупкараганского района. Ценность и практическое значение нашего исследования заключаются в получении данных о видовом составе мико- и лишенобиоты Мангистауской области, распространении грибов и лишайников, их экологических группах и приуроченности к разным типам субстратов.

Конфликт интересов

Авторы статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов с другими учеными или членами редколлегии журнала.

Благодарности

Авторы статьи крайне признательны И. Евдокимову (Караганда, Казахстан) за помощь в определении видов лишайников и А. Исламгуловой за помощь в создании карты.

Источник финансирования

Комитет науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан ИРН: BR21882122 «Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии»

Литература

1. Qazaq geography // Online access: <https://qazaqgeography.kz/ru/mangistauskaya-oblast-3192611> (дата обращения – 3 декабря 2024).
2. Вилесов Е.Н., Науменко А.А., Веселова Л.К., Аубекеров Б.Ж. Физическая география Казахстана. Учебное пособие. – Алматы: Казак университет, 2009. – 362 с.
3. Сафронова И.Н. Пустыни Мангышлака (очерк растительности) // Труды Бот. института им. В.Л. Комарова РАН, вып.18 – Санкт-Петербург, 1996. – 211 с.

4. Иманбаева А.А., Сафронова И.Н. Дополнение к флоре Мангышлака. // Известия НАН РК. Серия биологическая – 2010, №2. – С.115-116.
5. Государственный Кадастр растений Мангистауской области. Список высших сосудистых растений // Под.ред. Н.К.Аралбай. – Актау, 2006. – 301 с.
6. Imanbayeva A., Mukhtubayeva S., Duisenova N., Adamzhanova Zh., Zharassova D., Orazov A., Musaeva Zh. and Lukmanova A. Study of Plant Biodiversity of Various Gorges of the Mountain System of Western Karatau Based on the Important Plant Areas (Mangistau, Kazakhstan). Preprints.org (www.preprints.org). June 2024. – P.1-19. doi: 10.20944/preprints202406.0764.v1
7. Иманбаева А.А., Кубентаев С.А., Алибеков Д.Т., Ишмуратова М.Ю., Лукманов А.Б. Флористические находки в Мангистауской области (Западный Казахстан) // Turczaninowia – 2022, 25 (2). – С. 151–154. doi: 10.14258/turczaninowia.25.2.14
8. Imanbayeva A.A., Ishmuratova M.Yu., & Gassanova G.G. Geographical innovations in the flora of the Mangystau region. // Web of Conferences “Plant Diversity: Status, Trends, Conservation Concept”, 2020. 24. doi: 10.1051/bioconf/20202400028
9. Imanbayeva A.A., Duissenova N.I., Lukmanov A.B., Dosschchieva G.Zh., Gassanova G.G. About floristic records of the Mangystau flora // Вестник Карагандинского университета. Серия «Биология. Медицина. География». – 2023, № 4(112). – С. 49-54. doi: 10.31489/2023BMG4/49-54
10. Флора споровых растений Казахстана. – Алма-Ата: изд-во АН КазССР, 1956–1985. – Т. 1–13.
11. Zemlyanskaya I., Novozhilov Yu., Schnittler M. An annotated checklist slime molds (Myxomycetes = Myxogastrea) of western Kazakhstan // Karstenia, 2020. Vol. 58, Issue 2, P. 168-189. doi: 10.29203/ka.2020.493
12. Marin, Yasmina & Hernández-Restrepo, Margarita & Iturrieta González, Isabel & García, Dania & Gené, Josepa & Groenewald, J.Z. & Cai, Lei & Chen, Qian & Quaedvlieg, William & Schumacher, R.K. & Taylor, Paul & Ambers, C. & Bonthond, Guido & Edwards, Jacqueline & Krueger-Hadfield, Stacy & Luangsa-Ard, Janet & Morton, Lucie & Moslemi, Azin & Sandoval-Denis, Marcelo & Crous, Pedro. Genera of phytopathogenic fungi: GOPHY 3. Studies in Mycology, 2019. doi: 10.1016/j.simyco.2019.05.001.
13. Seifert K., Morgan-Jones G., Gams W., Kendrick B. The Genera of Hyphomycetes. – Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre [Biodiversity Series no. 2], 2011. – 997 p.
14. Braun U., Cook R.T.A. Taxonomic manual of the Erysiphales (powdery mildews). – RBC-KNAW Fungal biodiversity centre. – Utrecht, the Netherland, 2012. – 707 с.
15. Рахимова Е.В., Нам Г.А., Ермакова Б.Д., Абиев С.А., Джетигенова У.К., Есенгулова Б.Ж. Краткий иллюстрированный определитель ржавчинных грибов Казахстана. – Алматы, 2015. – 308 с.
16. Цуриков А.Г., Корчиков Е.С. Определитель лишайников Самарской области. Ч. 1. Листоватые, кустистые и слизистые виды: учеб. пособие. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018.
17. База данных Mycobank / MYCOBANK Database. Fungal Databases, Nomenclature & Species Banks. URL: <https://www.mycobank.org/> (дата обращения – 2 декабря 2024).
18. Rakhimova Y.V., Kyzmetova L.A., Sypabekkyzy G. New Location of some Gasteroid Basidiomycetes in Western Kazakhstan // Open Access Journal of Mycology & Mycological Sciences, 2024. Vol. 7 (2): 000190. P. 1-4. doi: 10.23880/oajmms-16000190.
19. Kherlenchimeg N., Urgamal M. Distribution of *Montagnea arenaria* (DC.) Zeller mushrooms in Mongolia, some new records from depression of the Great Lakes semi-desert steppe. Problems of botany in Southern Siberia and Mongolia, 2020. Vol. 19(1). P. 66-68. doi: 10.14258/pbssm.2020013
20. Owe-Larsson B., Nordin A., Tibell L., Sohrabi M. *Circinaria arida* spec. nova and the *Aspicilia desertorum* complex. // Bibliotheca Lichenologica. – 2011. – Vol. 106. – P. 235-246.
21. Nordin A., Savić S. & Tibell L. Phylogeny and taxonomy of *Aspicilia* and *Megasporaceae*. Mycologia, 2010. – Vol. 102. P. 1339–1349.
22. Пауков А.Г., Шириева А.С., Давыдов Е.А. Разграничение таксонов в комплексе *Aspicilia desertorum* s. l. и разнообразие группы в аридных районах Алтая // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Сборник научных статей по материалам VI международной научно-практической конференции – Барнаул: Концепт, 2017. – С. 143-145.
23. Linda in Arcadia. Lichens of Greece including lichenicolous fungi // Linda's Lichen Flora of Greece. Version 16 May 2024. – 720 p.
24. Родионова А.А., Зуева А.С., Гимельбрант Д.Е. Лишайники мавзолеев Тура-хана и Хусаин-бека (республика Башкортостан, Чишминский район) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, «Камелинские чтения» / Специальный выпуск, 2024. – Т. 23, № 1 – С. 241-243. doi: 10.14258/pbssm.2024043
25. Урбанавичюс Г.П. Список лишенофлоры России. – Санкт Петербург: Наука, 2010. – 194 с.
26. Abbas A., Mijit H., Tumor A., Jinong W. A checklist of the lichens of Xinjiang, China // Harvard Papers in botany, 2001. – Vol. 5, № 2. – P. 359-370.
27. Голубкова Н.С. Конспект флоры лишайников Монгольской народной республики. – Л.: Наука, 1981. – 200 с.
28. Zhurbenko M.P., Enkhtuya O. & Javkhan S. Additions to the checklist of lichenicolous fungi of Mongolia // Folia Cryptog. Estonica, Fasc., 2020. – Vol. 57. P. 9-20. doi: 10.12697/fce.2020.57.03
29. Wagner V., Spribille T. Preliminary checklist of the lichens of Kazakhstan // Online access: <http://www.geobotanik.uni-goettingen.de/spribille>. – 2005. (дата обращения – 9 декабря 2024).
30. Ребриев Ю.А., Русанов В.А., Булгаков Т.С., Светашева Т.Ю., Змитрович И.В., Попов Е.С. Микобиота аридных территорий юго-запада России. Ростов на Дону, 2012. – 88 с.
31. Ребриев Ю., Светашева Т., Попов Е., Змитрович И. Некоторые итоги изучения микобиоты ПП «Волго-Ахтубинская пойма». // III Международная научно-практическая конференция «Изучение, сохранение и восстановление естественных ландшафтов». – Волгоград, 2013. – С. 160-161. doi: 10.13140/2.1.4121.1846.

Reference

1. Abbas A., Mijit H., Tumur A., Jinong W. (2001) A checklist of the lichens of Xinjiang, China. *Harvard Papers in botany*, vol. 5, no. 2, pp. 359–370.
2. Aralbij N.K. (2006) Gosudarstvennyj Kadastr rastenij Mangistauskoj oblasti. Spisok vysshih sosudistyh rastenij [The State Cadastre of plants of the Mangystau region. List of higher vascular plants]. *Aktau*. (In Russian)
3. Braun U., Cook R.T.A. (2012) Taxonomic manual of the Erysiphales (powdery mildews). *RBC-KNAW Fungal biodiversity centre*. Utrecht, the Netherlands, 707 p.
4. Flora sporovyh rastenij Kazahstana [Flora of spore plants of Kazakhstan] (1956–1985). *Alma Ata: Publishing House of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR*, vol. 1-13. (In Russian)
5. Golubkova N.S. (1981) Konspekt flory lishajnikov Mongol'skoj narodnoj respubliki [Summary of lichen flora of the Mongolian People's Republic]. *L.: Nauka*. (In Russian)
6. Imanbaeva A.A., Kubentaev S.A., Alibekov D.T., Ishmuratova M.Ju., Lukmanov A.B. (2022) Floristicheskie nahodki v Mangistauskoj oblasti (Zapadnyj Kazahstan) [Floral finds in Mangystau region (Western Kazakhstan)]. *Turczaninowia*, vol. 25, no. 2, pp. 151–154. doi: 10.14258/turczaninowia.25.2.14 (In Russian)
7. Imanbaeva A.A., Safronova I.N. (2010) Dopolnenie k flore Mangyshlaka [An addition to the flora of Mangyshlak]. *News of the NAS of the RK*. Biological series, no. 2, pp. 115–116. (In Russian)
8. Imanbayeva A.A., Ishmuratova M.Yu., & Gassanova G.G. (2020). Geographical innovations in the flora of the Mangystau region. *Web of Conferences "Plant Diversity: Status, Trends, Conservation Concept"*, 24. doi: 10.1051/bioconf/20202400028
9. Imanbayeva A., Mukhtubayeva S., Duisenova N., Adamzhanova Zh., Zharassova D., Orazov A., Musaeva Zh. and Lukmanova A. (2024) Study of Plant Biodiversity of Various Gorges of the Mountain System of Western Karatau Based on the Important Plant Areas (Mangistau, Kazakhstan). *Preprints.org* (www.preprints.org), pp.1-19. doi: 10.20944/preprints202406.0764.v1
10. Imanbayeva A.A., Duissenova N.I., Lukmanov A.B., Dosshchieva G.Zh., Gassanova G.G. (2023) About floristic records of the Mangystau flora. *Bulletin of the Karaganda University. The series "Biology. Medicine. Geography"*, vol. 4, no. 112, pp. 49-54. doi: 10.31489/2023bmg4/49-54
11. Kherlenchimeg N., Urgamal M. (2020) Distribution of *Montagnea arenaria* (DC.) Zeller mushrooms in Mongolia, some new records from depression of the Great Lakes semi-desert steppe. *Problems of botany in Southern Siberia and Mongolia*, vol. 19, no. 1, pp. 66-68. doi: 10.14258/pbssm.2020013
12. Linda in Arcadia. Lichens of Greece including lichenicolous fungi. *Linda's Lichen Flora of Greece*. Version 16 May 2024. 720 p.
13. Marin, Yasmina & Hernández-Restrepo, Margarita & Iturrieta González, Isabel & García, Dania & Gené, Josepa & Groenewald, J.Z. & Cai, Lei & Chen, Qian & Quaedvlieg, William & Schumacher, R.K. & Taylor, Paul & Ambers, C. & Bonthond, Guido & Edwards, Jacqueline & Krueger-Hadfield, Stacy & Luangsa-Ard, Janet & Morton, Lucie & Moslemi, Azin & Sandoval-Denis, Marcelo & Crous, Pedro. (2019). Genera of phytopathogenic fungi: GOPHY 3. *Studies in Mycology*. doi: 10.1016/j.simyco.2019.05.001.
14. MYCOBANK Database. Fungal Databases, Nomenclature & Species Banks. URL: <https://www.mycobank.org/> (accessed – 2 December 2024).
15. Nordin A., Savić S. & Tibell L. (2010) Phylogeny and taxonomy of *Aspicilia* and *Megasporaceae*. *Mycologia*, vol. 102, pp. 1339–1349.
16. Online access: <https://qazaqgeography.kz/ru/mangistauskaya-oblast-3192611> (accessed – 3 December 2024).
17. Owe-Larsson B., Nordin A., Tibell L., Sohrabi M. (2011) *Circinaria arida* spec. nova and the *Aspicilia desertorum* complex. *Bibliotheca Lichenologica*, vol. 106, pp. 235-246.
18. Paukov A.G., Shirjaeva A.S., Davydov E.A. (2017) Razgranichenie taksonov v komplekse *Aspicilia desertorum* s. l. i raznoobrazie gruppy v aridnyh rajonah Altaja [Differentiation of taxa in the *Aspicilia desertorum* s. l. complex and the diversity of the group in the arid regions of Altai]. *Problems of botany in Southern Siberia and Mongolia: A collection of scientific articles based on the materials of the VI International Scientific and Practical Conference. Barnaul: The concept*, pp. 143-145. (In Russian)
19. Rakhimova Y.V., Kyzmetova L.A., Sypabekkyzy G. (2024). New Location of some Gasteroid Basidiomycetes in Western Kazakhstan. *Open Access Journal of Mycology & Mycological Sciences*, vol. 7 (2): 000190, pp. 1-4. doi: 10.23880/oajmms-16000190.
20. Rakhimova Y.V., Nam G.A., Yermekova B.D., Abiev S.A., Dzhetigenova U.K., Yessengulova B.Zh. (2015) Kratkij illjustrirovannyj opredelitel' rzhavchinnih gribov Kazahstana [A short illustrated determinant of rust fungi in Kazakhstan]. *Almaty*. (In Russian)
21. Rebriev Ju.A., Rusanov V.A., Bulgakov T.S., Svetasheva T.Ju., Zmitrovich I.V., Popov E.S. (2012) Mikrobiota aridnyh territorij jugo-zapada Rossii [Mycobiota of arid territories of southwestern Russia]. *Rostov na Donu*. (In Russian)
22. Rebriev Yu., Svetasheva T., Popov E. & Zmitrovich I. (2013). Nekotorye itogi izucheniya mikrobioty PP «Volgo-Ahtubinskaja pojma» [Some results of the study of mycobiota in the Volga-Akhtubinskaya floodplain]. *III International Scientific and Practical Conference «Study, conservation and restoration of natural landscapes»*. Volgograd, pp. 160-161. doi: 10.13140/2.1.4121.1846. (In Russian)
23. Rodionova A.A., Zueva A.S., Gimel'brant D.E. (2024) Lishajniki mavzoleev Tura-hana i Husain-beka (respublika Bashkortostan, Chishminskij rajon) [Lichens mausoleum of Tura Khan and Huseyn bek (Republic of Bashkortostan, Chishminsky district)]. *Problems of botany in Southern Siberia and Mongolia, «Kamelin Readings»*. Special Issue, vol. 23, no. 1, pp. 241-243. doi: 10.14258/pbssm.2024043 (In Russian)

24. Safronova I.N. (1996) Pustyni Mangyshlaka (ocherk rastitel'nosti) [Deserts of Mangyshlak (an outline of vegetation)]. *Proceedings of the V.L. Komarov Botanical Institute of the RAS, Saint-Petersburg*, vol.18. (In Russian)
25. Seifert K., Morgan-Jones G., Gams W., Kendrick B. (2011) The Genera of Hyphomycetes. *Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre. Biodiversity Series*, no. 2, 997 p.
26. Tsurikov A.G. Korchikov E.S. (2018) Opredelitel' lishainikov Samarskoi oblasti [Guide for Identification of the Lichens of Samara Oblast], Ch. 1, Foliose, fruticose, and gelatinous species, Samara: *Samara Gos. Univ.*. (In Russian)
27. Urbanavichus G.P. (2010) Spisok lihenoflory Rossii [A checklist of the lichen flora of Russia]. *St. Petersburg: Nauka*. (In Russian)
28. Vilesov E.N., Naumenko A.A., Veselova L.K., Aubekero B.Zh. (2009) Fizicheskaja geografija Kazahstana [Physical geography of Kazakhstan]. A study guide, *Almaty: Kazak University*. (In Russian)
29. Wagner V., Spribille T. (2005) Preliminary checklist of the lichens of Kazakhstan. *Online access: <http://www.geobotanik.uni-goettingen.de/spribille>* (accessed – 9 December 2024).
30. Zemlyanskaya I., Novozhilov Yu., Schnittler M. (2020) An annotated checklist slime molds (Myxomycetes = Myxogastrea) of western Kazakhstan. *Karstenia*, vol. 58, issue 2, pp. 168-189. doi: 10.29203/ka.2020.493
31. Zhurbenko M.P., Enkhtuya O. & Javkhlan S. (2020) Additions to the checklist of lichenicolous fungi of Mongolia. *Folia Cryptog. Estonica, Fasc.*, vol. 57, pp. 9-20. doi: 10.12697/fce.2020.57.03

Сведения об авторах:

Кызметова Ляззат Амановна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории микологии и альгологии РГП «Институт ботаники и фитоинтродукции» (Алматы, Казахстан, e-mail: lyzka79@mail.ru);

Мырзахан Анеп Дәуренқызы (корреспондентный автор) – старший лаборант РГП «Институт ботаники и фитоинтродукции» (Алматы, Казахстан, e-mail: myrzakhan_anel@mail.ru);

Рахимова Елена Владимировна – доктор биологических наук, асс. профессор, главный научный сотрудник лаборатории микологии и альгологии РГП «Институт ботаники и фитоинтродукции» (Алматы, Казахстан, e-mail: evrakhim@mail.ru);

Сыпабекқызы Гүлназ – PhD, научный сотрудник лаборатории микологии и альгологии РГП «Институт ботаники и фитоинтродукции» (Алматы, Казахстан, e-mail: gulnaz_92_21@mail.ru).

Information about authors:

Kyzmetova Lyazzat Amanovna – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Mycology and Algology, RSE «Institute of Botany and Phytointroduction» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: lyzka79@mail.ru)

Myrzakhan Anel Daurenkyzy (corresponding author) – Senior Laboratory Assistant at the RSE «Institute of Botany and Phytointroduction» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: myrzakhan_anel@mail.ru)

Rakhimova Yelena Vladimirovna – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Mycology and Algology, RSE «Institute of Botany and Phytointroduction» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: evrakhim@mail.ru)

Sypabekkyzy Gulnaz – PhD, Researcher of the Laboratory of Mycology and Algology, RSE «Institute of Botany and Phytointroduction» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: gulnaz_92_21@mail.ru)

Авторлар туралы мәлімет:

Қызметова Ләззат Аманқызы – биология ғылымдарының кандидаты, «Ботаника және фитоинтродукция институты» РМК микология және альгология зертханасының аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: lyzka79@mail.ru)

Мырзахан Әнел Дәуренқызы (құжатқа жауапты автор) – «Ботаника және фитоинтродукция институты» РМК аға зертханашысы (Алматы, Қазақстан, e-mail: myrzakhan_anel@mail.ru)

Елена Владимировна Рахимова – биология ғылымдарының докторы, қауымд. профессор, Ботаника және фитоинтродукция институтының Микология және альгология зертханасының бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: evrakhim@mail.ru)

Сыпабекқызы Гүлназ – PhD докторы, Ботаника және фитоинтродукция институтының Микология және альгология зертханасының ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: gulnaz_92_21@mail.ru)

Поступило 25 декабря 2024 года

Принято 20 августа 2025 года

Ч.Ж. Алдасугурова , А.А. Аметов , С.Т. Назарбекова ,
А.Ж. Чилдибаева , Т.Б. Рысқали ,
С.А. Манкибаева , М.Х. Нармуратова 

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: aldasygyrova.chinar.77@gmail.com

ІЛЕ АЛАТАУЫ ТҮРГЕН ШАТҚАЛЫНДАҒЫ *ROSA POTENTILLIFLORA* CHRSHAN. ET. M. POP. КЕЗДЕСЕТІН ӨСІМДІКТЕР ҚАУЫМДАСТЫҒЫНЫҢ ФЛОРАЛЫҚ ҚҰРАМЫ

Мақалада Іле Алатауының Түрген шатқалын да сирек кездесетін, эндемдік түр *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M. Pop. кездесетін өсімдіктер қауымдастықтарының флорасына талдау жасалынған. Қауымдастық құратын өсімдіктердің жоғарғы көрсеткіші ретінде *Fabaceae* Lindl., – тұқымдасы 10 түр құрағаны анықталған. Ол жалпы флораның 12,6% береді. Анықталған көрсеткіштер бойынша екіншілік қатарда *Labiatae* Juss. және *Asteraceae* Dumort. тұқымдастары берілген. Яғни 8 түр, демек флораның 10,1% береді. Соңғы қатарда *Poaceae* Gaertn. және *Rosaceae* Juss. тұқымдасының анықталған түрлік жиынтығының жалпы саны 7, ол флораның 8,8% көрсетті. Келесі қалған түрдің сандық құрамын *Apiaceae* Lindl. және *Scrophulariaceae* Lindl. тұқымдастарына енетін түрлер алып жатыр. Сандық көрсеткіші 4 түр және флораның 5,06% құрағаны анықталды. Кейбір саны жағынан көрсеткіштің мөлшері төмендеген түрлердің саны 2-3-тен аспады. Ол жалпы зерттеу аумағындағы флораның 39,2% ғана құрағаны анықталды. Бұл түрдің орманды белдеудің тек күн жақсы түсетін оңтүстік және оңтүстік – шығыс экспозициясында өсетіндігі айтылады. Сонымен бірге Іле Алатауының күн жақсы түсетін оңтүстік – шығыс экспозицияларының өсімдіктер жабыны мен флоралық құрамының қазіргі жағдайына ғылыми тұрғыдан баға берілді. Іле Алатауының флорасы мен өсімдіктер жабынының даму деңгейінің қалыпты жағдайда екендігі атап көрсетілген. Оған Іле – Алатауы ұлттық паркін ұйымдастырудың ықпалы жоғары болды. Парктің негізгі міндетіне, осы тау жотасының тамаша, бай флоралық құрамы мен өсімдіктер жабынын, ең алдымен сирек кездесетін, жойылу қаупі төніп тұрған эндемдік және реликт түрлерін қорғау болып табылады. Зерттеу объектісі табиғи жолмен, қатты нөсерлі жаңбыр жауар кезде найзағай ойнап, жай түсуі мүмкін. Мұндай жағдайда өрт шығып кету қаупі болып тұрады. Мұның екеуіде аз ғана жерде өсетін, таралу аумағы шектеулі, эндемдік түр *Rosa potentilliflora* өсімдігі үшін аса қауіпті. Сондықтан да Іле Алатауы ұлттық паркі мен Түрген орман шаруашылығы секілді мекемелердің жауапты қызметкерлері *Rosa potentilliflora* өсімдігінің қорғауды қажет ететін эндемдік түр екендігінен хабардар болулары тиісті және оны үнемі бақылауда болады.

Түйін сөздер: флора, популяция, эндем, доминант, мезофит, ксерофит, гемикриптофит, терофит.

Ch.Zh. Aldassugurova, A.A. Ametov, S.T. Nazarbekova,
A.Zh. Childibaeva, T.B. Ryskali, Mankibayeva S.A., M.Kh. Narmuratova
Kazakh National University named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan
*e-mail: aldasygyrova.chinar.77@gmail.com

The floral composition of the plant community *Rosa potentilliflora* chrshan. et. m. pop. in the Turgen gorge of the trans – Ili Alatau

The analysis of the flora of plant communities where a rare, endemic species *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M. Pop is found in the Turgen gorge of the Trans-Ili Alatau. Among the plants forming the community, *Fabaceae* Lindl. is in the first place, the genus consists of 10 species, or 12.6% of the flora. *Labiatae* Juss. and *Asteraceae* Dumort are in second place. it consists of genera. Their totality makes up 39.2% of the flora. It is said that this species grows only in the Southern and southeastern parts of the forest zone, where the sun is well illuminated. At the same time, a scientific assessment of the current state of vegetation and floral composition of the southeastern expositions of the Trans-Ili Alatau with good sunlight was given. It is noted that the level of development of flora and vegetation of the Trans-Ili Alatau is in moderate conditions. He was greatly influenced by the organization of the Ile-Alatau National Park.

The main task of the park is to protect the magnificent, rich floral composition and vegetation of this mountain range, primarily rare, endangered endemic and relict species. The object of the study can be in a natural way, with thunderstorms and just falling when there is a heavy downpour. In this case, there is a risk of fire. Two of them are especially dangerous for the *Rosa potentilliflora* plant, an endemic species with a limited distribution area growing on a small plot of land. Therefore, responsible employees of institutions such as the Trans-Ili Alatau National Park and Turgun Forestry should be aware that the *Rosa potentilliflora* plant is an endemic species requiring protection and is under constant supervision.

Keywords: flora, population, endemic, dominant, mesophyte, xerophyte, hemicryptophyte, terophyte.

Ч.Ж. Алдасугурова*, А.А. Аметов, С.Т. Назарбекова,
А.Ж. Чилдибаева, Т.Б. Рысқали, С.А. Манкибаева, М.Х. Нармуратова
Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
*e-mail: aldasugyrova.chinar.77@gmail.com

Флористический состав растительного сообщества *Rosa Potentilliflora* Chrshan. Et. M. Pop. в Тургенском ущелье Заилийского Алатау

Проведен анализ флоры растительных сообществ, где в Тургенском ущелье Заилийского Алатау встречается редкий, эндемичный вид *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M. Pop. Среди растений, образующих сообщество, на первом месте *Fabaceae* Lindl., род состоит из 10 видов, или 12,6% флоры. На втором месте *Labiatae* Juss. и *Asteraceae* Dumort. состоит из родов. Каждый из них имеет 8 видов или составляет 10,1% флоры. На третьем месте *Poaceae* Gaertn. и *Rosaceae* Juss. род состоит из 7 видов в каждом из них, или 8,8% флоры. На четвертом месте *Apiaceae* Lindl. и *Scrophulariaceae* Lindl. Каждый из них имеет 4 вида или составляет 5,06% флоры. В каждом из остальных родов насчитывается 3 вида, 2 вида. Их совокупность составляет 39,2% флоры. Говорят, что этот вид растет только в Южной и юго-восточной части лесной зоны, где хорошо освещается солнце. В то же время была дана научная оценка современного состояния растительного покрова и цветочного состава юго-восточных экспозиций Заилийского Алатау с хорошим солнечным освещением. Отмечается, что уровень развития флоры и растительного покрова Заилийского Алатау находится в умеренных условиях. Большое влияние на него оказала организация Иле-Алатауского национального парка. Основной задачей парка является защита великолепного, богатого цветочного состава и растительного покрова этого горного хребта, в первую очередь редких, находящихся под угрозой исчезновения эндемичных и реликтовых видов. Объект исследования может быть естественным путем, с грозами и просто падением, когда идет сильный ливень. В таком случае возникает опасность возгорания. Два из них особенно опасны для растения *Rosa potentilliflora*, эндемичного вида с ограниченной территорией распространения, растущего на небольшом участке земли. Поэтому ответственные сотрудники таких учреждений, как Заилийский Алатауский национальный парк и Тургенское лесное хозяйство, должны быть осведомлены о том, что растение *Rosa potentilliflora* является эндемичным видом, требующим защиты, и находятся под постоянным наблюдением.

Ключевые слова: флора, популяция, эндем, доминант, мезофит, ксерофит, гемикриптофит, терофит.

Кіріспе

Іле Алатауының орманды биіктік белдеуі өсімдіктер жабыны мен флоралық құрамы басқа биіктік белдеулермен салыстырғанда ерекше дараланып тұрады. Оның солтүстік экспозициясын түгелдей шыршалы орман жауып тұрады. Түрген шатқалы – Алматы қаласынан шығысқа қарай 70 шақырым жерде орналасқан [1]. Іле Алатауы табиғи паркінің көрікті жерлерінің бірі болып саналады. Табиғаты көрікті, ауасы, суы таза. Түрген шатқалы Іле Алатауының басты жотасының теріскей бөктерлерінен басталып 49 км – дей созылып жатыр. Түрген шатқалы флора мен фауна әлеміне өте бай [2,3].

Зерттеу ортасының жалпы алғандағы флоралық құрамын анықтап талдау жасау және сирек кездесетін, жойылуға жақын, эндемдік түрлерін анықтап, олардың қазіргі кездегі жағдайына баға беру мен қатар сирек кездесетін, эндемдік түрлердің табиғи популяцияларын популяциялық деңгейде зерттеу қажет [4].

Жұмыстың мақсаты: Іле Алатауы Түрген шатқалында сирек, эндемдік *Rosa potentilliflora* Chrshan. et M. Pop түрімен кездесетін өсімдіктер қауымдастықтарының флоралық құрамын зерттеу.

Біз зерттеуге алған сирек кездесетін, эндемдік түр *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M. Pop. өсімдігінің табиғи популяциясын іздестіру мақ-

сатында 2022 – 2023 жылдардың жаз айында Іле Алатауының Түрген шатқалы орманды белдеуіне арнайы экспедиция ұйымдастырылып, жүргізілген зерттеу жұмыстарының барысында сирек кездесетін, эндемдік түр *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M. Pop. өсімдігінің бір популяциясы Түрген шатқалының орманды белдеуінен, осы шатқалдың бір тармағы болып табылатын Батан шатқалының маңынан теңіз деңгейінен 1650 – 1750 м абс. биіктік аралығынан табылды. GPS навигатор приборының көрсеткіші бойынша координаты: N 43°24'33.5" с.е. E 77°76'36.8" ш.б.

Зерттеу нысандары мен әдістері

Зерттеу нысандарына Іле Алатауының Түрген шатқалы орманды белдеуінде сирек кездесетін, эндемдік *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M. Pop. түрімен кездесетін өсімдіктер қауымдастықтарының флоралық құрамы болып табылады.

Rosa potentilliflora өсімдігі популяцияларының өсімдіктерінің гербарийлерін жинау және оларды кептіру А.К. Скворцов әдісімен жүргізілді [5]. Анықталған өсімдіктердің қазақша атауы С.А.Арыстанғалиев, Е.Р.Рамазановтың (1977ж) ботаникалық сөздіктерімен тексерілді [6]. Жоғары сатыдағы өсімдіктердің систематикасын беруде Ә. Аметов, П. Мырзақұлов, А.Ж. Чилдибаева еңбектері пайдаланылды [7,8,9]. Жалпы өсімдіктердің түрлік құрамын ажырату бойынша 9 томдық «Қазақстан флорасы» пайдаланылды [10]. Сонымен қоса, түрлерді анықтауда Қазақстан өсімдіктерінің иллюстрациялық анықтағышының 2 томдық жиынтығы пайдаланылды [11]. Өсімдіктер систематикасы латынша атаулары С.К.Черепанов, С.А. Абдулина бойынша келтірілді [12,13,]. Өсімдіктерді экологиялық типтерге бөлуде Двороковский М.С. еңбектері пайдаланылды [14].

Өсімдіктерді шаруашылықтағы пайдалы қасиеттеріне қарай маңызды топтарға бөлу Н.В.Павловтың классификациясы бойынша жасалды [15].

Қазіргі уақытта өсімдік шикізаты мен оның компоненттерін фармацевтикалық өнімдердің, соның ішінде косметиканың рецептурасында қолдану тенденциясына ерекше назар аударуда, бұл белсенділіктің кең спектріне, ксенобиотикалық әсердің болмауына және органикалық өсімдік қосылыстарының жоғары биожетімділігіне байланысты [16-20]. Фотопротекторлық потенциал зерттелді және эксперименталды түрде анықталды, итмұрынның кейбір түрлерінің био-

логиялық белсенді заттарының айқын антиоксиданттық белсенділігі [18-20]. Ультракүлгін сәулеленуден қорғауға ықпал ететін май компоненттерінің каратиноидтары, Е және F дәрумендері, поликанықпаған (линол және линолен) қышқылдарының триглицеридтері есебінен күн қорғанысын әзірлеуде жеміс майын пайдаланудың әлеуетті мүмкіндіктері анықталды [21-26]. Итмұрын биомолекулаларының жоғары биожетімділігі туралы деректер жинақталған, ол адам терісінің липидті қабатына ұқсас май құрамымен анықталады. Қазіргі заманғы жұмыстарда өсудің әртүрлі географиялық аймақтарына тән итмұрынның әртүрлі түрлері қарастырылған: *R. canina*, *R. nutkana*, *R. woodsii*, *R. psiocarpa*, *R. rugosa*, *R. alba*, *R. borboniana*, *R. centifolia*, *R. damascena*, *R. davurica*, *R. floribunda*, *R. gallica*, *R. hybrida*, *R. moschata*, *R. multiflora*, *R. rubiginosa*, *R. spinosissima* және т. б., бұл *Rosa* тектес органикалық қосылыстардың ғылыми дәлелденген белсенділігін және фармацевтикалық және косметикалық үшін жоғары өнеркәсіптік қызығушылықты растайды [27,28]. Қазіргі уақытта ғалымдардың назарында *Rosa platyacantha* Schrenk түрінің химиялық құрамы эксперименталды түрде орнатылған, бірақ фармакологиялық белсенділік тұрғысынан қосымша талдауды және косметикалық формулада осы өсімдіктің шикізатын қолдану перспективасын қажет етеді, кешенді фитохимиялық скрининг жеміс сығындылары мен майының биомолекулаларына тән дәлелденген антиоксидантты, бактерияға қарсы, қабынуға қарсы және қалпына келтіретін белсенділік туралы айтуға мүмкіндік береді [18-29]. Әдеби деректерге сәйкес, итмұрынның фитохимиялық құрамы полифенолды қосылыстарға, атап айтқанда флавонолдарға (кверцетин, кемпферол, изокверцитрин) бай (кверцетинге 987,8 мг) [29-30], катехиндер (эпигаллокатехин, галлокатехин, эпигаллокатехингаллат, эпикатехингаллат), антоцианин қосылыстары және галл қышқылы (3000 мг/100г) [31]. Қазақстан флорасында итмұрын туысына жататын сирек кездесетін өсімдіктердің морфо – анатомиялық және биологиялық белсенді заттардың жинақталуы бойынша отандық ғалымдардың жүргізген ғылыми зерттеулері де бар [32, 33].

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

Зерттеу объектісі таралған орта – ол Түрген шатқалы, ондағы өсімдіктің жиі таралу ортасы ретінде орманды белдеуінің анықталған координаты бойынша оңтүстік және оңтүстік-шығыс

бөлігіндегі экспозициясында *Rosa potentilliflora* кездесетін өсімдіктер қауымдастықтарының флоралық құрамына жүргізілген зерттеулердің нәтижелері мынаны көрсетеді. Таудың жағдайында өсімдіктер жабынының және оның түрлік құрамының таралуы биіктік белдеулер заңдылығына тәуелді. Нақтырақ айтқанда сол жердің теңіз деңгейінен қаншалықты биіктікте орналасқандығына байланысты болады. Олай дейтініміз таудың жағдайында теңіз деңгейінен әр 100м биіктікке көтерілген сайын температура $0,5 - 0,7^{\circ}$ өзгереді, соған сәйкес ауаның және топырақтың ылғалдылығы, атмосфералық қысым өзгеріп отырады, соған байланысты ылғалдылықтың да, атмосфералық қысымында мөлшері артады. Бұл өз кезегінде өсімдіктер жабыны мен оның флоралық құрамының өзгеруіне әкеліп соқтырады. Өсімдіктер жабынының өзгеруіне әсер ететін маңызды факторлардың бірі, тау жотасының экспозициясымен сол жердің жер бедері. Яғни жер бедерінің аздаған өзгерісінің өзі өсімдіктер жабынының және оның түрлік құрамының өзгеруіне әкеліп соқтырады. Бұл әсіресе сирек кездесетін, эндемдік түрлердің таралуынан айқын байқалады. Мысалы біз жерттеуге алған эндемдік *Rosa potentilliflora* өсімдігі Іле Алатауында Түрген шатқалының орманды белдеуінің, күн

жақсы түсетін оңтүстік және оңтүстік – шығыс экспозициясында 1680 – 1750 м биіктік аралығында кездеседі. Яғни осы жер *Rosa potentilliflora* өсімдігі үшін қолайлы микроклимат болып табылады. Сонымен бірге тау жотасының солтүстік және оңтүстік беткейлерінің температуралық режимі мен ылғалдылығы бірдей болмайды. Жотаның солтүстік беткейінде жауған қар ұзақ жатады және біртіндеп баяу ериді. Көктемде және жаз айларында жауған жаңбырдың ылғалы ұзақ сақталады. Себебі таудың солтүстік беткейіне күн тікелей түспейді. Нәтижесінде жотаның солтүстік беткейінде орман түзетін ағаштардың өсуіне қолайлы жағдай қалыптасады. Сонымен қатар тау жотасының солтүстік беткейінде топырақтың қарашіріндісі жоғары деңгейде болады, яғни топырақтың құнарлығы артады. Ал тау жотасының оңтүстік беткейінде температуралық режим мен ылғалдылық мүлдем басқаша. Бұл беткейге экспозицияға күн тікелей түседі. Сондықтанда бұл беткейде жауған қар тез ериді, жаңбырдың ылғалы тез буланады. Сол себептенде жотаның оңтүстік және оңтүстік – шығыс беткейлерінде ылғалдың жетіспеуіне байланысты ағаш өспейді. Өсімдіктер жабынының негізін көпжылдық шөптесін өсімдіктер мен бұталар түзеді.

1-кесте – Түрген шатқалы орманды белдеуінің оңтүстік және оңтүстік шығыс экспозицияларында *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M. Pop. кездесетін өсімдіктер қауымдастығының флора конспектісі

Бөлім: <i>Gymnospermatophyta</i> ...			
Класс: <i>Chlamydospermatopsida</i> ..			
1	Тұқымдасы: <i>Cupressaceae</i> Neger...		
	Өсімдік атауы:	Тіршілік формасы, экотипі, географиялық таралуы:	Шаруашылықтағы мәні:
№	2	3	4
1/1	<i>Juniperus sabina</i> L.;	бұта, мезофит, палеарктикалық;	дәрілік;
Бөлім: <i>Angiospermatophyta</i> ;			
Класс: <i>Monocotyledoneae</i> ;			
2	Тұқымдас: <i>Poaceae</i> Gaertn. ;		
2/1	<i>Poa pratensis</i> L.;	көпжылдық, ксерофит, голарктикалық;	малазықты;
3/2	<i>Agropyron pavlovii</i> Nevski.;	көпжылдық, ксерофит алтай – жоңғар тынышан;	эндем; малазықты;
4/3	<i>Alopecurus pratensis</i> L.;	көпжылдық, ксерофит, палеарктикалық;	малазықты;
5/4	<i>Phleum pratense</i> L.;	көпжылдық, ксерофит, палеарктикалық;	малазықты;
6/5	<i>Bromus inermis</i> Leyss.;	көпжылдық, ксерофит палеарктикалық;	малазықты;
7/6	<i>Trisetumsibiricum</i> Rupr.;	көпжылдық, мезофит, голарктикалық;	малазықты;
8/7	<i>Trisetum altaicum</i> Roshev.;	көпжылдық, мезофит, таулысібір-тынышандық;	малазықты;

3	Тұқымдас: <i>Cyperaceae</i> Juss.;		
9/1	<i>Carex polyphylla</i> Kar.et Kir;	көпжылдық, мезофит, палеарктикалық;	малазықты;
4	Тұқымдас: <i>Alliaceae</i> J. Agardh.		
10/1	<i>Allium altissimum</i> Regel. – Биік жуа – (Лук высочайший);	көпжылдық, ксерофит, палеарктикалық	тағамдық;
5	Тұқымдас: <i>Liliaceae</i> Juss.		
11/1	<i>Eremurus tianschanicus</i>	көпжылдық, ксерофит, алтай-орталыққазақстан-тяньшандық;	сәндік;
12/2	<i>Tulipa kolpakowskiana</i> ;	көпжылдық, ксерофит, жоңғар-тяньшандық;	сәндік
Класс: <i>Dicotyledoneae</i>			
6	Тұқымдас: <i>Saliaceae</i> Mirb. ;		
13/1	<i>Salix niedzwieckii</i> Goerz.;	бұта, мезофит, тарбағатай-тяньшандық;	сәндік;
14/2	<i>Salix argyrea</i> E. Wolf.	бұта, мезофит, жоңғар-тяньшандық;	сәндік;
7	Тұқымдас: <i>Betulaceae</i> S. F. Gray		
15/1	<i>Betula procurva</i> Litv.;	тал, мезофит, таулыорта-азиялық;	сәндік;
8	Тұқымдас: <i>Urticaceae</i> Endl;		
16/1	<i>Urtica dioica</i> L.;	көпжылдық, мезофит, таулысібір-ирандық;	дәрілік;
9	Тұқымдас: <i>Polygonaceae</i> Lindl.		
17/1	<i>Rheum wittrockii</i> Lundstr.;	көпжылдық, мезофит, жоңғар-памиралайлық;	дәрілік;
18/2	<i>Rumex confertus</i> Willd.;	көпжылдық, ксерофит, палеарктикалық;	илік;
10	Тұқымдас: <i>Caryophyllaceae</i> Juss		
19/1	<i>Silene lithophila</i> Kar.et Kir;	көпжылдық, мезофит, жоңғаршығыс-тяньшандық;	арамшөп;
20/2	<i>Melandrium viscosum</i> (L.);	екіжылдық, ксерофит, палеарктикалық;	арамшөп;
11	Тұқымдас: <i>Ranunculaceae</i> Juss.		
21/1	<i>Thalictrum collinum</i> Wall.;	көпжылдық, мезофит, палеарктикалық	дәрілік
12	Тұқымдас: <i>Berberidaceae</i> Juss.		
22/1	<i>Berberis heteropoda</i> Schrenk.;	бұта, мезофит, алтай-тяньшандық;	тағамдық, бояулық;
13	Тұқымдас: <i>Brassicaceae</i> Burnett.		
23/1	<i>Cardaria repens</i> (Schrenk.)	көпжылдық, ксерофит, таулы-орталықазия-ирандық;	арамшөп;
24/2	<i>Isatis costata</i> C. A. Mey.;	екіжылдық, ксерофит, түрандық;	тоқыма;
14	Тұқымдас: <i>Crassulaceae</i> DC;		
25/1	<i>Sedum hybridum</i> L.	көпжылдық, ксерофит, таулысібір-ирандық;	дәрілік
15	Тұқымдас: <i>Rosaceae</i> Juss. ;		
26/1	<i>Potentilla orientalis</i> Juz.;	көпжылдық, мезофит, таулы-орталықазия-ирандық;	арамшөп;
27/2	<i>P. asiatica</i> Juz.;	көпжылдық, мезофит, таулыорталықазиялық;	арамшөп;
28/3	<i>P. nervosa</i> Juz.;	көпжылдық, ксерофит, таулыорталықазиялық;	арамшөп;
29/4	<i>Cotoneaster melanocarpa</i> Fisch.;	бұта, мезофит, палеарктикалық;	сәндік;
30/5	<i>Rosa potentilliflora</i> Chrshan. et M. Pop;	бұта, мезофит, палеарктикалық;	дәрумендік, дәрілік эндем;
31/6	<i>Rosa beggeriana</i> Schrenk;	бұта, мезофит, таулы орталық азиялық	дәрумендік, дәрілік;
32/7	<i>Geum urbanum</i> L.;	көпжылдық, мезофит, палеарктикалық	тағамдық, дәрілік;
16	Тұқымдас: <i>Fabaceae</i> Lindl.		

33/1	<i>Trifolium pratense</i> L.;	көпжылдық, мезофит, палеарктикалық;	малазықтық;
34/2	<i>Medicago falcata</i> L.;	көпжылдық, мезофит, палеарктикалық;	малазықтық, бал; жинайтын;
35/3	<i>M. lupulina</i> L.;	біржылдық, мезофит, палеарктикалық;	малазықтық;
36/4	<i>Lathyrus tuberosus</i> L.;	көпжылдық, мезофит, палеарктикалық;	малазықтық, арамшөп
37/5	<i>Lathyrus pratensis</i> L.;	көпжылдық, мезофит, палеарктикалық;	малазықтық;
38/6	<i>Onobrychis pulchella</i> Schrenk.;	біржылдық, мезоксерофит, жоңғар-ирандық;	малазықтық;
39/7	<i>Caragana camilli – schneideri</i> Kom.;	бұта, мезофит, алтай-тяньшандық;	сәндік;
40/8	<i>Astaragalus lanuginosus</i> Kar. et Kir.;	көпжылдық, ксерофит, тарбағатай-тяньшандық;	малазықтық;
41/9	<i>Oxytropis macrocarpa</i> Kar.et Kir. ;	көпжылдық, мезофит, тарбағатай-тяньшандық	сәндік;
42/1	<i>Oxytropis almaatensis</i> Bajt.;	көпжылдық, мезофит тяньшандық;	эндем; малазықтық;
17	Тұқымдас: <i>Geraniaceae</i> L. ;		
43/1	<i>Geranium saxatile</i> Kar.;	көпжылдық, мезофит, жоңғар-тяньшандық;	сәндік;
18	Тұқымдас: <i>Euphorbiaceae</i> Lindl.		
44/1	<i>Euphorbia lamprocarpa</i> Prokh.;	көпжылдық, мезофит, жоңғар-памиралайлық;	улы;
19	Тұқымдас: <i>Celastraceae</i> Lindl.		
45/1	<i>Euonymus semenovii</i> Regel et Herd.;	бұта, мезофит, жоңғар-памиралайлық;	дәрілік;
20	Тұқымдас: <i>Tamaricaceae</i> Link		
46/1	<i>Myricaria squamosa</i> Desv.;	бұта, мезоксерофит, таулысібір-ирандық;	сәндік;
21	Тұқымдас: <i>Apiaceae</i> Lindl. ;		
47/1	<i>Aegopodium Podgraria</i> L.;	көпжылдық, мезофит, палеарктикалық;	тағамдық;
48/2	<i>Scaligeria setacea</i> (Schrenk); Korov.;	көпжылдық, ксерофит; алтай- таулыорталықазиялық;	балдық;
49/3	<i>Hymenolyma bupleuroides</i> (Schenk) Korov.;	көпжылдық, ксерофит, таулыорталықазиялық- орталыққазақстандық;	балдық;
50/4	<i>Libanotis buchtormensis</i> (Fisch. Ex Spreng.) DC.;	көпжылдық, ксерофит алтай- орталыққазақстан- тяньшандық;	балдық;
22	Тұқымдас: <i>Polemoniaceae</i> Juss. ;		
51/1	<i>Polemonium caucasicum</i> N. Bush.;	көпжылдық, мезофит, алтай-ирандық;	сәндік;
23	Тұқымдас: <i>Boraginaceae</i> Juss.		
52/1	<i>Lappula occultita</i> M. Pop.;	біржылдық, ксерофит, жоңғар-памиралайлық;	арамшөп;
24	Тұқымдас: <i>Labiatae</i> Juss. ;		
53/1	<i>Lamium album</i> L.;	көпжылдық, мезофит, палеарктикалық;	дәрілік, тағамдық;
54/2	<i>Scutellaria transiliensis</i> Juz.;	көпжылдық, мезофит, жоңғар- солтүстіктяньшандық;	балдық;
55/3	<i>Thymus proximus</i> Serg.;	жартылай бұта, ксерофит, алтай- орталыққазақстан-тяньшандық;	сәндік;
56/4	<i>Thymus seravschanicus</i> Klok. ;	Жартылай бұта, ксерофит, жоңғар- памиралайлық;	сәндік;

57/5	<i>Stachyopsis lamiiflora</i> (Rupr.) M. Pop. & Vved.;	көпжылдық, мезофит, жоңғар-шығыс-тяньшандық;	балдық;
58/6	<i>Phlomis tuberosa</i> L.;	көпжылдық, ксерофит, еуразиялық далалық;	тағамдық, дәрілік;
59/7	<i>Eremostachys speciosa</i> Rupr.;	көпжылдық, ксерофит, жоңғар-тяньшандық;	сәндік;
60/8	<i>Dracocephalum peregrinum</i> L.;	көпжылдық, ксерофит, – жоңғар-тау сібірлік;	сәндік;
25	Тұқымдас: <i>Scrophulariaceae</i> Lindl. ;		
61/1	<i>Rhinanthus songaricus</i> (Stern.)	біржылдық, мезофит, алтае-орталық -қазақстан тяньшандық	улы
62/2	<i>Linaria transiliensis</i> Kuprian.;	көпжылдық, ксерофит, жоңғар-памиралайлық;	балдық;
63/3	<i>Veronica spuria</i> L.;	көпжылдық, мезофит, палеарктикалық;	арамшөп;
64/4	<i>Pedicularis dolichorhiza</i> Srenk.;	көпжылдық, мезофит, алтай – гималайлық;	сәндік;
26	Тұқымдас: <i>Rubiaceae</i> Juss. ;		
65/1	<i>Galium verum</i> L.;	көпжылдық, ксеромезофит, палеарктикалық	дәрілік, бал жинайтын;
66/2	<i>Galium aparine</i> L.;	біржылдық, ксеромезофит, голарктикалық;	дәрілік, арамшөп;
67/3	<i>Galium volgense</i> Pobed.;	көпжылдық, мезофит, алтайлық -орталық қазақстандық-тяньшандық;	бояу алынатын өсімдік;
27	Тұқымдас: <i>Valerianaceae</i> S. Gray		
68/1	<i>Patrinia intermedia</i> (Horn.);	көпжылдық, ксерофит, алтайлық-таулыорталықазиялық;	дәрілік;
69/2	<i>Valeriana turkestanica</i> Sumn.;	көпжылдық, мезофит, жоңғар-тяньшандық	дәрілік;
28	Тұқымдас: <i>Dipsacaceae</i> Lindl. ;		
70/1	<i>Dipsacus azureus</i> Schrenk.;	екіжылдық немесе көпжылдық, ксерофит, алтайлық-таулыорталықазиялық;	арамшөп;
29	Тұқымдас: <i>Campanulaceae</i> Juss.		
71/1	<i>Codonopsis clematidea</i> (Schrenk) Clarke.;	көпжылдық, мезофит, жоңғар-ирандық;	сәндік;
30	Тұқымдас: <i>Asteraceae</i> Dumort. ;		
72/1	<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.;	көпжылдық, мезофит, голарктикалық;	дәрілік, арамшөп, бал жинайтын, тағамдық;
73/2	<i>Achillea millefolium</i> L.;	көпжылдық, ксерофит, палеарктикалық;	арамшөп, эфир майлы, малазықтық, илік заттар өндірілетін;
74/3	<i>Achillea asiatica</i> Serg.;	көпжылдық, мезофит, таулысібірлік-тяньшандық;	арамшөп;
75/4	<i>Hieracium virosum</i> Pall.;	көпжылдық, мезофит, палеарктикалық;	дәрілік;
76/5	<i>Lactuca serriola</i> L.;	біржылдық немесе екіжылдық, мезофит, голарктикалық;	дәрілік;
77/6	<i>Tragopogon capitatus</i> S.;	екіжылдық, мезофит, таулы-орталықазия -орталық қазақстандық;	малазықтық;
78/7	<i>Acroptilon repens</i> (L.) DC.;	көпжылдық, ксерофит, моңғол-тұран-ирандық;	улы, арамшөп;
79/8	<i>Ajania fastigiata</i> (C. Winkl.) Poljak.	көпжылдық, ксерофит, таулыорталықазиялық -ирандық;	арамшөп

Біз зерттеуге алған, 1 кестеде көрсетілген сирек кездесетін эндемдік *Rosa potentilliflora* өсімдігі кездесетін Түрген шатқалының орманды белдеуінің оңтүстік және оңтүстік шығыс

экспозициясынан жоғары сатыдағы түтікті өсімдіктердің екі бөлімге, 2 класқа, 29 тұқымдасқа, 66 туысқа жататын өсімдіктердің 79 түрі анықталып, гербарий жинап, тіркедік.

2-кесте – Түрген шатқалында кездесетін доминантты тұқымдастардың таксономиялық құрамы

№	Тұқымдастардың аты	Түр санық көрсеткіші	Пайыздық мөлшерө бойынша
1	<i>Fabaceae</i> Lindl.	10	12,6
2	<i>Labiatae</i> Juss.	8	10,1
3	<i>Asteraceae</i> Dumort.	8	10,1
4	<i>Poaceae</i> Gaertn.	7	8,8
5	<i>Rosaceae</i> Juss.	7	8,8
6	<i>Apiaceae</i> Lindl.	4	5,06
7	<i>Scrophulariaceae</i> Lindl.	4	5,06
Барлығы:		48	60,8

Бұлардан жоғары сатыдағы өсімдіктердің флоралық құрамында 25 тұқымдасқа жататындығын 2-ші кестеден көруге болады, ол 67 түр, ал даражарнақтылар класынан 4 тұқымдас, 11 түр кездеседі. Доминанты тұқымдастар құрамына жалпы алғанда таралған ортаның негізгі бөлігін *Fabaceae* Lindl., *Asteraceae* Dumort., *Labiatae* Juss., *Poaceae* Gaertn., *Rosaceae* Juss., *Brassicaceae* Burnett., *Scrophulariaceae* Lindl. осы аталған тұқымдастар құрайды. Зерттеу аймағының көрсетілген жеті тұқымдастың түрлері Түрген шатқалының флоралық құрамын 60,8% мөшерін құрайды. Зерттеу нәтижелері бойынша бірінші орында бұрашақтар тұқымдасына жататын 10 түр анықталды. Жалпы алғанда флоралық құрамының 12,6 пайыздық мөлшерін береді. Екінші орында тауқалақайлар және күрделігүлділер тұқымдастарына енетін түрлер де анықталды. Жалпы алғанда әрбір тұқымдастың 8 түрі анықталып, ол таралу ортасының флоралық құрамының 10,1% түзеді. Үшінші орында қоңырбастар тұқымдасының және *раушангүлділер* тұқымдастарына енетін 7 түрі анықталды, демек, ол флораның 8,8% мөлшермен қауымдастық түзетіндігі белгілі болды. Төртінші орында шатыргүлділер және сабынкөктер тұқымдастарына енетін түрлерде де анықталды. Жүргізілген зерттеуге сүйенетін болсақ, осы аталған тұқымдасқа енетін түрлер саны 4-ке жетті, ол флораның 5,6% құрағаны белгілі болды.

Флоралық құрамы бойынша пайдалы өсімдіктерге талдау жасалды. Жалпы алғанда көп кездесетін пайдалы өсімдіктер қатарына енетін малазықтық және сәндік өсімдіктердің 17 түр кездеседі, ол пайыздық мөлшер бойын-

ша – 21,52 жетті. Ортадағы дәрілік өсімдіктер тізімі екінші орынды иемденді, жалпы алғанда 14 түр анықталды, ол пайыздық көрсеткіші бойынша 17,72 құрады. Келесі кезекте кең таралған арамшөп өсімдіктер 12 түрге жетті, ол 15,19% құрады. Сонымен қатар, бал жинайтын өсімдіктердің саны 6 түрді құрады, ол 7,59 % көрсетті, ал тағамдық өсімдіктер қатарына 5 түр енді, ол 6,32% көрсеткішке жетті. Өсімдіктердің флоралық құрамында улы, илік, дәрумендік, эфир майлы, бояу алынатын, тоқыма өнеркәсібінде пайдаланылатын өсімдіктердің саны 2-3 тен аспады, ол сәйкесінше 3,80% және 2,53% мөлшерді құрады.

Зерттеу барысында өсімдіктердің тіршілік формасына Раункиердің классификациясы бойынша талдау жасалды, 3-кестеде берілгендей, мұнда флоралық құрамындағы түрлік таралу деңгейі бойынша көпжылдық шөптесін өсімдіктер басым болды, ол 56 түрді құрады, зерттеу объектісі *Rosa potentilliflora* өсімдігінің Түрген шатқалындағы популяциясы жалпы алғанда – 70,89% жетті. Териофиттердің таралу кеңістігіндегі жалпы саны 10 түрге жетті. Ол популяция флорасының 12,66% түзеді. Жалпы тіршілік формасына жататын өсімдіктер тұқымы арқылы тез көбейеді. Ал микрофанерофиттер териофиттермен қатарлас, демек саны -10 түрді құраса, ол 2,66 % көрсетеді. Яғни тіршілік формасы – бұталар. Териофиттер, микрофанерофиттерден кейінгі кезекте хемеофиттер алып жатыр. Оларға тіршілік формасы жартылай бұталар мен бұташықтар жатады. Хемеофиттерге енетін 3 түр анықталды, ол популяция флорасының 3,8% құрайды.

3-кесте – Түрген флорасында кездесетін өсімдіктердің тіршілік формалары

№	Өсімдіктердің тіршілік формалары	Жалпы түр саны
1	Гемикриптофиттер-көпжылдық	56,0
2	Терофиттер-бір-екі жылдық	10,0
3	Микрофанерофиттер – бұталар	10,0
4	Хамеифиттер – жартылай бұталар-бұташықтар	3,0
Барлығы:		79,0

4-кесте – Түрген шатқалында кездесетін өсімдіктердің басқа аймақ флорасымен байланыстылығы

№	Географиялық элементтер	бір-, екіжылдық шөптесін өсімдіктер	Көпжылдық шөптесін өсімдіктер	бұталар	жартылай бұта	барлығы	%-дық көрсеткіші
1	голарктикалық	2	3	-	-	5	6,33
2	палеарктикалық	2	18	-	-	23	29,11
3	алтайлық-таулыортаазиялық	1	2	-	-	3	3,80
4	моңғол-түран-ирандық	-	1	-	-	1	1,27
5	алтай-ирандық	-	1	-	-	1	1,27
6	жоңғар-солтүстік-тяньшандық	-	1	-	-	1	1,27
7	еуразиялық-далалық	-	1	-	-	1	1,27
8	жоңғар-таусібірлік	-	1	-	-	1	1,27
9	алтайлық-гималайлық	-	1	-	-	1	1,27
10	таулы-орталықазиялық-орталыққазақстандық	1	1	-	-	2	2,53
11	тяньшандық	-	1	-	-	1	1,27

Зерттеу барысында өсімдіктердің таралуы бойынша бірінші орында палеарктикалық элементтер, демек, 23 түр алынды. Зерттеу популяциясының таралу ортасының түрлік құрамы 29,11% құрайды.

Зерттеу объектісі *Rosa potentilliflora* өсімдігі популяциясының таралуы ортасындағы өсімдіктер құрамы кең және ауқымды. 4 – кестеде берілген жоңғар-памиралайлық элементтер тұрады 6 түр (7,59%) көрсетті. Голарктикалықтың барлығы 5 – түр құрады, ол 6,33% мөлшерге жеткен. Демек анықтау нәтижелері бойынша палеарктикалық географиялық элементтері популяция флорасының 29,11 % құрайды. Олардан кейінгі орындарда таулы- сібірлік – ирандық география-

лық элементтері бойынша 3 түр (3,80%) қрады. Ал қалған географиялық элементтерге сәйкесінше 1-2 түрден ғана анықталды. Ол жалпы алғанда 2,53% және 1,27 % құрағаны белгілі болды. Палеарктикалық элементтердің айқын басымдылық көрсетуі жалпы талдау барысында жүргізілген географиялық элементтердің ішінде негізгі заңдылықтарға сәйкес келеді. Себебі, талдау барысына сүйенетін болсақ, Іле Алатауы Азия құрлығының негізгі ортасында орналасқаны әдеби шолулар бойынша анықталған. Осыған сәйкесінше, жалпы анықталған голарктикалық және таулы аймақтармен байланысты элементтердің басым болуы жүргізілген заңдылыққа сай келеді.

5-кесте – Түрген шатқалы флорасының экологиялық типтері

№	Тіршілік ортасының экотипі	Түрлік құрамының саны	
		Абсолюттік көрсеткіші	Пайыздық мөлшері
1	Мезофит экотипі	45,0	57
2	Ксерофит экотипі	30,0	38
3	Ксеромезофит экотипі	2,0	2,5
4	Мезоксерофит экотипі	2,0	2,5
Барлығы:		79	100

Өсімдіктердің экологиялық типтері бойынша мезофиттер басымдылық танытты, 5 кестеде берілгендей, мезофитті ортаның 45 түрі анықталды, демек 56,96% құрайды. Ал ксерофиттерге енетін 30 түр байқалды, ол популяция флорасының 37,97% түзеді. Жалпылама талдау нәтижелері бойынша тағы да экотиптерге ксеромезофиттер мен мезоксерофиттер де жатады, зерттеу барысында әрқайсысынан екіден түр анықталды. Флоралық талдауда экологиялық типтердің жоғарыда берілген талдауына сәйкестік деңгейін көрсетті, олардың осы бағытта орналасуы заңдылық. Себебі, ылдалылықтың артуы тау жағдайына сәйкестік көрсетті, ол орманды белдеу болғандықтан ортаның ылғалдық мөлшері жоғары деңгейде екендігін дәлелдеді. Зерттеу объектісінің таралу ортасы биіктік белдеуге жататындақтан, ол өсімдіктер жабынында мезофиттер басым болды.

Қорытынды

Қорытындылай келгенде Іле Алатауының Түрген шатқалы орманды белдеуінде сирек кездесетін, эндемдік түр *Rosa potentilliflora* өсімдіктер қауымдастықтарының флоралық құрамына жан – жақты талдау жасалынды. *Rosa*

potentilliflora өсімдігі жыл сайын гүлдеп жеміс беріп тұр. Түрген шатқалы Іле Алатауы ұлттық паркінің территориясына кіреді, сондықтанда жақсы қорғалған. Бұл жерге мал жаюға, шөп оруға және демалушылардың келуіне тиым салынған. Дей тұрғанменде өрттен болатын қауіпті жоққа шығаруға болмайды. Өрт екі түрлі жолмен орын алуы мүмкін. Біріншіден, адамдардың (туристердің) от жағып, оны өшірмей кетуінен, немесе темекіні өшірмей құрап тұрған шөпке тастай салуынан өрт орын алуы мүмкін. Екіншіден, табиғи жолмен, қатты нөсерлі жаңбыр жауар кезде найзағай ойнап, жай түсуі мүмкін. Мұндай жағдайда өрт шығып кету қаупі болып тұрады. Мұның екеуіде аз ғана жерде өсетін, таралу аумағы шектеулі, эндемдік түр *Rosa potentilliflora* өсімдігі үшін аса қауіпті. Сондықтанда Іле Алатауы ұлттық паркі мен Түрген орман шаруашылығы секілді мекемелердің жауапты қызметкерлері *Rosa potentilliflora* өсімдігінің қорғауды қажет ететін эндемдік түр екендігінен хабардар болулары тиісті және оны үнемі бақылауда ұстаулары керек. Сонымен бірге бұл түрді Алматы бас ботаникалық бағында интродукцияға ендіру қажет. Осы айтылған ұсыныстар *Rosa potentilliflora* өсімдігін жойылып кетуден сақтаудың ең тиімді жолдары болып табылады.

Әдебиеттер

1. Горячев А.А. Могильник раннего железного века археологического комплекса в верховьях ущелья Тургень // Известия НАН РК. Серия общественных наук. Алматы. – 2007. – 21. – С.3–14.
2. Иващенко А.А. Редкие виды цветковых растений Иле-Алатауского национального парка // Проблемы обеспечения биологической безопасности Казахстана: Сборник материалов научн. конф. посвященной 80-летию академика И.О.Байтулина. Алматыю. – 2008. – С.138–141.
3. Иващенко А.А. Некоторые результаты инвентаризации флоры высших растений Иле-Алатауского национального парка // Актуальные вопросы сохранения и увеличения лесистости Республики Казахстан. Алматы, 2009. – С.133–135.
4. Курманбаева М.С., Мухитдинов Н.М. «Популяциялық биология және экология» Оқу құралы. Алматы. – Қазақ университеті. – 2023. – 228 б.
5. Скворцов А.К. Гербарий. Пособие по методике и технике. – М.: Наука, 1977. – 199 с.
6. Арыстанғалиев С.А., Рамазанов Е.Р. Қазақстан өсімдіктері. Алматы. Ғылым баспасы, 1977. – 288 б.

7. Аметов Ә., Мырзақұлов П., Чилдибаева А.Ж. «Жоғары сатыдағы өсімдіктер систематикасы». 1 бөлім. (Архегониялы өсімдіктер). Оқу құралы. Алматы, – Дарын баспасы. – 2024. – 364 б.
8. Аметов Ә., Мырзақұлов П., Чилдибаева А.Ж. «Жоғары сатыдағы өсімдіктер систематикасы». 2 бөлім. (Гүлді өсімдіктер – қосжарнақтылар) Оқу құралы. Алматы, Дарын баспасы. – 2024. – 404 б.
9. Аметов Ә., Мырзақұлов П., Чилдибаева А.Ж. «Жоғары сатыдағы өсімдіктер систематикасы». 3 бөлім. (Гүлді өсімдіктер – даражарнақтылар) Оқу құралы. Алматы, –Дарын баспасы. – 2024. – 157 б.
10. Флора Казахстана: в 9 т. / Под. ред. Н.В.Павлова. Алма-Ата: издво АН КазССР, 1956–1966. – 325 б.
11. Иллюстрированный определитель растений Казахстана Т.1–2. Алма-Ата: «Наука» КазССР, 1969–1972. – 325 б.
12. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / С.К. Черепанов – СПб: Профессионал, 1995. – 992 с.
13. Абдулина С.А. Список сосудистых растений Казахстана. Алматы, 1999. – 187 с.
14. Двороковский М.С. Экология растений. М.: Высшая школа. 1983. – 188 с.
15. Павлов Н.В. Дикie полезные и технические растения СССР. – М., 1942. – 640 с.
16. Radice M., Manfredini S., Ziosi P., Dissette V., Buso P., Fallacara A. Herbal extracts, lichens and biomolecules as natural photo-protection alternatives to synthetic UV filters // A systematic review. Fitoterapia. – 2016. – Vol. 114. – P.144–62.
17. Прокопов А., Газитаева З. Современная концепция фотозащиты и солнцезащитные средства нового поколения // Les nouvelles esthetiques. – 2018. – № 4. – С. 14–15.
18. Dorn A.C., Amalraj A., Gopi S., Varma K., Anjana S.N. Novel cosmeceuticals from plants An industry guided review // Journal of applied research on medicinal and aromatic plants. – 2017. – Vol. 7. – P. 1–26.
19. Baumann L. How to use oral and topical cosmeceuticals to prevent and treat skin aging //Facial Plastic Surgery Clinics. – 2018. – Vol. 26. – №. 4. – С. 407–413.
20. Voskanyan O.S., Guseva D.A. The properties of liposomes and their use in cosmetology. – М.: Pishchepromizdat publishers, 2015. – 184 p.
21. Kiralan M., Yildirim G. Rosehip (*Rosa canina* L.) Oil. In: Ramadan M. (eds) Fruit Oils // Chemistry and Functionality. Springer, Cham. – 2019. – P. 803–814.
22. Chu C.C., Nyam K.L. Application of seed oils and its bioactive compounds in sunscreen formulations // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 2021. – Vol. 98. – №. 7. – С. 713–726.
23. Dabrowska M., Maciejczyk E., Kalembe D. Rose hip seed oil – methods of extraction and chemical composition // European Journal of Lipid Science and Technology. – 2019. – Vol. 32. – P. 721–733.
24. Dąbrowska M., Maciejczyk E., Kalembe D. Rose hip seed oil: Methods of extraction and chemical composition // European Journal of Lipid Science and Technology. 2019. – Vol. 121. – №. 8. – P. 1800440.
25. Kayath H., Dhawan S., Nanda S. In-vitro Estimation of Photo-Protective Potential of Rosehip Seed Oil and QbD Based Development of a Nanoformulation // Current Nanomedicine (Formerly: Recent Patents on Nanomedicine). – 2019. – Vol. 9. – №. 3. – P. 216–231.
26. Kulaitienė J., Medveckienė B., Levickienė D., Vaitkevičienė N., Makarevičienė V., Jarienė E. Changes in fatty acids content in organic rosehip (*Rosa* spp.) seeds during ripening //Plants. 2020. Vol. 9. – №. 12. – С. 1793.
27. Fascella G., Angiolillo D.F., Mammano M.M., Amenta M., Romeo F.V., Rapisarda P., Ballistreri G. Bioactive compounds and antioxidant activity of four rose hip species from spontaneous Sicilian flora // Food Chemistry. – 2019. – Vol. 289. – С. 56–64.
28. Jiménez S. Chemical composition of rosehips from different *Rosa* species: an alternative source of antioxidants for the food industry // Food Additives & Contaminants: Part A. – 2017. – Vol. 34. №. 7. – P. 1121–1130.
29. Tumbas V.T., Canadanovic-Brunet J.M., Cetojevic-Simin D.D., Cetkovic G.S., Dilas S.M., Gille L. Effect of rosehip (*Rosa canina* L.) phytochemicals on stable free radicals and human cancer cells // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2011. – Vol. – 92(6). – P. 1273–1281.
30. Paunović D., Kalušević A., Petrović T., Urošević T., Djinović D., Nedović V., Popović-Djordjević, J. Assessment of chemical and antioxidant properties of fresh and dried rosehip (*Rosa canina* L.) // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. – 2019. – Vol. 47. – №. 1. – P. 108–113.
31. Tabaszewska M., Najgebauer-Lejko D. The content of selected phytochemicals and in vitro antioxidant properties of rose hip (*Rosa canina* L.) tinctures // NFS Journal. – 2020. – Vol. 21. – P. 50–56.
32. Childibayeva A., Aметov A., Kurbatova N.V., Akhmetova A., Tynybekov B.M., Mukanova G.A. Structural Characteristics of *Rosa iliensis* Chrshan. under Conditions of the Floodplains of the Rivers Ili and Sharyn // Journal of Ecological Engineering (JEE) J. Ecol. Eng. – 2022. – 23(1). – P. 296–304.
33. Özek G., Childibayeva A., Aметov A., Nurmahanova A., Özek T. Chemical composition of flower volatiles and seed fatty acids of *Rosa iliensis* Chrshan, an endemic species from Kazakhstan. Records of Natural Products. – 2022. – Vol.16. – P.225–235.

References

1. Abdulina S. A. Index plantarum Vascularium Casachia. Almaty.1999. 187 b. [Russian]
2. Arystangaliev S. A., Ramazanov E. R. Kazakhstan osimdicteri. Almaty.Gylym baspasy. -1977, B.288 [Kazakh].
3. A.Ametov, P. Myrzakulov, A. Zh. Childibaeva “Zhogary satydagi osimdikter systematica”. 1 mensis. (Redirectum de ocimdicter). Oku kuraly. Almaty, – Daryn baspasy.2024.B.364. [Kazakh].
4. A.Ametov, P. Myrzakulov, A. Zh. Childibaeva “Zhogary satydagi osimdikter systematica”. 2 diebus. (Guldi osimdikter-koszarnaktylar) oku kuraly. Almaty, – Daryn baspasy.2024. B 404. [Kazakh].

5. A.Ametov, P. Myrzakulov, A. Zh. Childibaeva “Zhogary satydagi osimdikter systematica”. . 3 diebus. (Guldi osimdikter-darazharnaktlyar) oku kuraly. Almaty, – Daryn baspasy. 2024. B.157. [Kazakh].
6. Asel Childibayeva, Abibulla Ametova, Natalia Vladimirovna Kurbatova, Aigul Akhmetova, Bekzat Makulbayevich Tynybekov, Gulzhanat Amangeldykyzy Mukanova Notae Structurae Rosa Iliensis Chrshan. Sub Conditionibus Campi Fluminis Ili Et Sharyn // Acta Machinationis ecologicae (JEE) J. Ecol. 2022.Eng. 23(1).Pp.296–304
7. Baumann L. Quomodo uti cosmeceuticis oralibus et topicis ne et tractare cutem senescit // Facialis Chirurgiae Plasticae Nulla. 2018. Vol. 26. №. 4. Pp. 407-413.
8. Cetojevic, D.D., Cetkovic, G. S., Dilas, S. M., & Gille, L. Effectus Rosehip (*Rosa canina* L.) Phytochemicals in firmum liberum radicalis et humana cancer cellulis // Acta Scientiae Cibus et Agriculture. 2011. Vol. 92(6). P. 1273-1281.
9. Cherepanov S. K. Plantae Vasculares russiae et regionibus finitimis (intra priorem USSR) / S. K. Cherepanov – S. Petersburg: Professional, 1995.992 p. [Russian].
10. Chu C. C., Nyam K. L. Applicatio olei seminis et eius compositiones bioactivae in formulis sunscreen // Acta Societatis Chemicorum Olei Americani. 2021. Vol. 98. №7.Pp. 713-726.
11. Circumscriptio unionis et al. Mutationes acida pingue contenta in rosehip organica (*Rosa* spp.) semina maturescere // Plantae. 2020.Vol. 9. Pp.1793.
12. De Flora Kazachstaniae: in 9 voluminibus / Pod. novi Eboraci: N. V. Pavlov. Alma-Ata: Editae Domus Academiae Scientiarum Kazakh sr. 1956-1966. B.325 [Russian]
13. De plantis Illustratis Kazakhstan Vol. 1-2. Alma Ata: “Scientia” Kazakh sr, 1969-1972. B.325 [Russian]
14. Dingubrowska M., Maciejczyk E., kalemba rose semen coxae oleum: Methodi extractionis et compositionis chemicae // Acta Scientiae Lipidorum Et Technologiae Europaeae. 2019. Vol. 121. №. 8. P. 1800-440.
15. Dingubrowska, M., maciejczyk, E., Kalemba, d. rosae coxae semen oleum – methodi extractionis et compositionis chemicae//Acta Scientiae Lipidorum Et Technologiae Europaeae. 2019.Vol. 32. P. 721-733.
16. Dolores A. Novae cosmeceuticae ex plantis-industria recensionis // Acta investigationis applicatae de plantis medicinalibus et aromaticis. 2017. Vol.7. Pp. 1-26.
17. Dvorokovsky M. S. Ecologia Plantarum. Moscoviae: Superius Schola.1983.B.188 [Russian]
18. Fascella G. et al. Composita bioactiva et actio antioxidantis quattuor specierum coxae rosae ex flora Sicilia spontanea // Cibus Chemiae. 2019. Vol. 289.Pp. 56-64.
19. Goryachev A. A. Sepulturae primae Aetatis ferreae complexus archaeologicus in superioribus spatiis Turgen gorge // Izvestiya NAS RK. Series scientiarum socialium. Almaty, 2007.N21. B. 3-14.
20. Gulmira Özek, Asel Childibayeva, Abyulla Ametov, Akmaral Nurmahanova, Temel Özek. (2022) compositio Chemica florum volatilium et seminum Acida pingua rosae iliensis Chrshan, species endemicae Ex Kazakhstan. Prodotti Naturali Vol.16. Pp.225-235
21. Ivashchenko A. A. de Rara speciebus Plantarum Florentium Ile-Alatau National Park /de difficultates cursus Biologicum Salutem Kazakhstan: Collectio scientific materiae. conf. 80th anniversario Dicata Academicus I. O. Baitulin. Almaty, 2008. P.138-141[Russian]
22. Ivashchenko A. A. Nonnulli eventus inventarii floris plantarum Superiorum Park Nationalis Ile-Alatau // currentis quaestiones conservationis et incrementi silvae operculum Reipublicae Kazakhstan. Almaty, 2009. B.133-135. [Russian]
23. Jiménez S. Compositio chemica rosarum ex diversis speciebus Rosa: jocus fons facilis ad cibum industriam // Cibus Additivorum & Contaminantium: Pars A.2017. Vol. 34. №. 7. Pp. 1121-1130.
24. Kayath H., Dhawan S., Nanda S. In-vitro Aestimatio Potentiae Photographicae Tutelae Rosehip Semen Olei Et QbD Secundum Progressionem Nanoformulationis //Nanomedicinae Currentis (Olim: Recentes Patentes in Nanomedicine). 2019. Vol. 9. №. 3. Pp. 216-231.
25. Kiralan M., Yıldırım G. Rosehip (*Rosa canina* L.) oleum. In: Ramadan M. (ed) Fructus Olea // Chemiae et Functionality. Thomae, Cham. 2019.
26. Kurmanbayeva M. S., Mukhitdinov N. M. “Populationalyk biologia et ecologia” ab Oku kuraly. Almaty.- Kazakh Universitatis.2023. B. 2. [Kazakh].
27. Pavlov N.V. plantae Silvestres utiles et technicae URSS. – Moscoviae, 1942. P. 640. [Russian].
28. Prokopov A, Gazitaeva Z. Notio moderna photoprotectionis et novae generationis sunscreens // Les nouvelles esthetiques. 2018. № 4. C. 14-15. [Russian].
29. Radice M, Manfredini S, Ziosi P, Dissette V, Buso P, Fallacara A, et al. Excerpta herbalia, lichenas et biomoleculae sicut naturalia photo-tutelae alternativae ad UV filtra synthetica. Systematica recensio. Fitoterapia. 2016. Vol. 114. P. 144– 62.
30. Skvortsov A. K. Herbarium. Methodus et ars manualis. Moscoviae: Nauka Publ., 1977.- 199 p. [Russian]
31. Tabaszewska M., Najgebauer-Lejko D. The content of selected phytochemicals and in vitro antioxidant properties of rose hip (*Rosa canina* L.) tinctures // NFS Journal.2020.T. 21. – C. 50-56.
32. Vergilius D Aestimatio proprietatum chemicarum et antioxidantium recentium et rosae aridae (*Rosa canina* L.) // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2019. Vol. 47. №. 1. Pp. 108-113.
33. Voskanyan O. S. Proprietates liposomes et eorum usus in cosmetologia // O. S. Voskanyan, D. A. Guseva.M.: Pischepromizdat editores, 2015.184 p.

Авторлар туралы мәлімет:

Алдасугурова Чинаргул Жакыпқызы (корреспондент автор) – PhD-доктарант, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, email: aldasygyrova.chinar.77@gmail.com)

Аметов Абибулла – биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының профессоры, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, email: Abibulla.Ametov@kaznu.kz)

Назарбекова Салтанат Төлепбековна – биология ғылымдарының кандидаты, биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының доценті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, email: snazarbekova@mail.ru)

Чилдибаева Асел Жумагуловна – PhD, биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының аға оқытушысы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: a.zh.childebaeva@gmail.com)

Рысқали Толғанай Бағдатқызы – PhD-доктарант, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: tolganay_0220@mail.ru)

Манкибаева Сандугаш Аманжоловна – Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: mankibaevasandugash@mail.ru)

Нармуратова Мейрамгуль Худиретовна – б.ғ.к., Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: Meyramkul.Narmuratova@kaznu.edu.kz)

Information about authors:

Aldassugurova Chinargul (corresponding author) – PhD-student Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aldasygyrova.chinar.77@gmail.com)

Ametov Abibulla – Professor of the department of biodiversity and bioresources Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: Abibulla.Ametov@kaznu.kz)

Nazarbekova Saltanat – candidate of biological sciences, associate professor of the department of biodiversity and bioresources Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: snazarbekova@mail.ru)

Childibayeva Assel – PhD, senior lecturer of the department of biodiversity and bioresources Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.zh.childebaeva@gmail.com)

Ryskali Tolganay – PhD-student, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, email: tolganay_0220@mail.ru)

Mankibaeva Sandugash – senior lecturer of the department of biodiversity and bioresources Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: mankibaevasandugash@mail.ru)

Narmuratova Meiramgul – candidate of biological Sciences, ass.professor of the department of biotechnology Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: Meyramkul.Narmuratova@kaznu.edu.kz)

Сведения об авторах:

Алдасугурова Чинаргул Жакыпқызы (корреспондент-автор) – PhD-докторант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: aldasygyrova.chinar.77@gmail.com);

Аметов Абибулла – профессор кафедры биоразнообразия и биоресурсов Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: Abibulla.Ametov@kaznu.kz);

Назарбекова Салтанат Төлепбековна – кандидат биологических наук, доцент кафедры биоразнообразия и биоресурсов Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: snazarbekova@mail.ru);

Чилдибаева Асел Жумагуловна – PhD, старший преподаватель кафедры биоразнообразия и биоресурсов Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: a.zh.childebaeva@gmail.com);

Рысқали Толғанай Бағдатқызы – PhD-докторант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: tolganay_0220@mail.ru);

Манкибаева Сандугаш Аманжоловна – старший преподаватель кафедры биоразнообразия и биоресурсов Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: mankibaevasandugash@mail.ru);

Нармуратова Мейрамгуль Худиретовна – кандидат биологических наук, асс. профессор кафедры биотехнологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: Meyramkul.Narmuratova@kaznu.edu.kz).

Келіп түсті: 3 желтоқсан 2024 жыл

Қабылданды: 20 тамыз 2025 жыл

K.A. Daulet^{1,2*} , A.B. Kismangazinov¹ ,
S.T. Nazarbekova¹ , A.I. Bidauletova¹ 

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

² Institute of Botany and Phytointroduction, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: dauletova1211@mail.ru

CURRENT DISTRIBUTION OF THE SPECIES *EREMURUS ROBUSTUS* AND *E. TIANSCHANICUS*

The article presents the results of the study of the genus *Eremurus* of the family *Asphodelaceae*, which includes more than 70 species of perennial herbaceous plants with thickened roots and root leaves. According to «Flora of Kazakhstan», 13 species of the genus are registered in Kazakhstan, but according to M.S. Baitenov, their number reaches 15 species. Areal of the genus covers Western Asia and Iran-Turan region, with the greatest species diversity in the south of Central Asia. The aim of the study was to identify the current distribution of species of *Eremurus robustus* and *E. tianschanicus*, which will help further research work will facilitate further field research. Literature sources were screened and more than 130 herbarium specimens from major collections (AA, TASH, LE, MW) from 1988 to 2024 were reviewed. Based on the collected data, a distribution map of species of the genus *Eremurus robustus* and *E. tianschanicus* was compiled. We have determined the ranges of the studied species according to the Botanical-geographical zoning of Kazakhstan and Central Asia: *Eremurus robustus* has the following range: Region – Saharo-Gobian, Subregion – Irano-Turanian, Province – Mountain-middle – Asian – Dzungarian – Dzungaro-North Tianshan; *Eremurus tianschanicus* has the following range: Region – Saharo-Gobian, Subregion – Irano-Turanian, Province – Mountain-middle – Asian – Dzungaro-North Tianshan.

Keywords: *Asphodelaceae*, *Eremurus*, range, floristic regions, ecology.

К.Ә. Дәулет^{1,2*}, Ә.Б. Құсманғазинов¹,
С.Т. Назарбекова¹, А.И. Байдаулетова¹

¹ Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан

² Ботаника и фитоинтродукция Институты, Алматы, Қазақстан

*e-mail: dauletova1211@mail.ru

Eremurus robustus және *E. tianschanicus* түрлерінің қазіргі таралуы

Мақалада *Asphodelaceae* тұқымдасына жататын *Eremurus* туысына жүргізілген зерттеу нәтижелері ұсынылған. Бұл туысқа жуандаған тамырлары мен түп жапырақтары бар 70-тен астам көпжылдық шөптесін өсімдіктер жатады. «Қазақстан флорасы» деректеріне сәйкес, Қазақстанда бұл туыстың 13 түрі тіркелген, алайда М.С. Байтеновтің мәліметтері бойынша олардың саны 15 түрге жетеді. Бұл туыстың таралу аймағы Батыс Азия мен Иран-Тұран облысын қамтиды, ал түрлік алуантүрлілігі ең жоғары аймақ – Орталық Азияның оңтүстігі. Зерттеудің мақсаты – *Eremurus robustus* және *E. tianschanicus* түрлерінің қазіргі кездегі таралуын анықтау. Бұл мәліметтер аталған түрлерге қатысты болашақ далалық зерттеу жұмыстарына негіз болады. Жұмыс барысында 1988 жылдан 2024 жылға дейінгі кезеңдегі әдеби деректерге шолу жасалып, ірі гербарий қорларындағы (AA, TASH, LE, MW) 130-дан астам үлгілер қарастырылды. Жиналған деректер негізінде *Eremurus robustus* және *E. tianschanicus* түрлерінің таралу картасы жасалды. Зерттелген түрлердің таралу аймақтары Қазақстан мен Орталық Азияның ботаникалық-географиялық аудандастырылуына сәйкес анықталды: *Eremurus robustus* түрінің таралу аймағы: Аймақ – Сахара – Гоби, Ішінара аймақ – Иран-Тұран, Провинция – Таулы Орталық Азия (Жетісу-Солтүстік Тянь – Шань); *Eremurus tianschanicus* түрінің таралу аймағы: Аймақ – Сахара – Гоби, Ішінара аймақ – Иран – Тұран, Провинция – Таулы Орталық Азия (Жетісу-Солтүстік Тянь-Шань).

Түйін сөздер: *Asphodelaceae*, *Eremurus*, ареал, флористикалық аудандар, экология.

К.Э. Дәулет^{1, 2*}, Ә.Б. Құсманғазин¹,
С.Т. Назарбекова¹, А.И. Байдаулетова¹

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Институт ботаники и фитоинтродукции, Алматы, Казахстан

*e-mail: dauletova1211@mail.ru

Современное распространение видов *Eremurus robustus* и *E. tianschanicus*

В статье представлены результаты исследования рода *Eremurus* семейства *Asphodelaceae*, включающего более 70 видов многолетних трав с утолщенными корнями и прикорневыми листьями. Согласно «Флоре Казахстана», в Казахстане зарегистрировано 13 видов рода, однако по данным М.С. Байтенова, их количество достигает 15 видов. Ареал рода охватывает Западную Азию и Ирано-Туранскую область, с наибольшим видовым разнообразием на юге Средней Азии. Целью исследования являлось выявление современного распространения видов *Eremurus robustus* и *E. tianschanicus*, что позволит проводить последующие полевые исследования. В ходе работы был осуществлен скрининг литературных источников и просмотр более 130 гербарных образцов из крупных фондов (AA, TASH, LE, MW) за период с 1988 по 2024 гг. На основе собранных данных составлена карта распространения видов рода *Eremurus robustus* и *E. tianschanicus*. Нами определены ареалы изучаемых видов в соответствии с ботанико-географическим районированием Казахстана и Средней Азии: *Eremurus robustus* обладает следующим ареалом: Область – Сахаро-гобийская, Подобласть – Ирано-туранская, Провинция – Горносредная – Азиатская – Джунгарская – Джунгаро-Северотяньшанская; *Eremurus tianschanicus* обладает следующим ареалом: Область – Сахаро-гобийская, Подобласть – Ирано-туранская, Провинция – Горносредная – Азиатская – Джунгаро-Северотяньшанская.

Ключевые слова: *Asphodelaceae*, *Eremurus*, ареал, флористические районы, экология.

Introduction

Genus *Eremurus* M. Bieb. – is a perennial herbaceous plant of the family *Asphodelaceae*, includes about 70 species. Its main range is the mountain steppes of Central and Eastern Asia; it is also found in the Crimea, Caucasus, and Western Siberia. The first description was given by P. Pallas in 1733. Since the 1860s, *Eremurus* has been cultivated in botanical gardens in Russia and Europe [1,3].

In 1819, M. Biberstein isolated *Eremurus* (*E. spectabilis*). In 1842, Karelin and Kirillov isolated *Ammolirion* and *Henningia*. Regel (1868) included 4 species of *Henningia*, but Fedchenko (1906) refuted *H. aucheriana*. In the late 19th century Baker described new species from Persia and Afghanistan, some of them synonyms. In 1921 Fedchenko described *E. baissunensis*, in 1932 Popov mentioned *E. copetdaghensis*, in 1923 with Vvedensky – *E. hilariae*, in 1928 Vvedensky isolated *E. regelii*, in 1935 Fedchenko – *E. korovinii* and *E. saprjagajevii* [4,6].

In Kazakhstan, according to «Flora of Kazakhstan», the genus includes 13 species, according to M.S. Baitenov – 15, among which endemics *E. hilariae* and *E. anisopterus* [7,11]. *Eremurus* are valued as ornamental plants with large inflorescences, used for bio-oils, glue and have medical potential [12]. Foreign scientists conducted studies on mor-

phology, phylogeny and phytochemistry of Central Asian representatives of the genus [13,17].

In Russia, acetyl groups in the roots of *Eremurus zangezuristicus* were studied [18]. Chinese scientists conducted studies on pollination of *E. anisopterus*, characteristics of a new galactomannan from its roots, chemical composition, gynomonoecey and population structure in different territories [19,23]. The phytochemistry of *E. altaicus* within its Chinese range was also studied [24].

Iranian specialists performed a review of *Eremurus* species, including phytochemistry, pharmacology and traditional uses, and also conducted specialized studies of *E. luteus* roots [25,27]. In Kazakhstan, the study of species of the genus *Eremurus* of the natural flora has not been studied so far. Separate works on this group concerned the issues of introduction [28]. The more so, multidirectional analysis of species of this genus has not been carried out.

In the conditions of the Zailiysky Alatau, species of *Eremurus robustus* and *E. tianschanicus* have been studied insufficiently. The lack of data on their ecology, structure and distribution complicates the understanding of their role in the ecosystems of the region. The aim of the research is to identify the current distribution of the species *Eremurus robustus* and *E. tianschanicus*, which will help further research work for in the field. These two species

were chosen due to their ecological importance for the region and insufficient study, which makes them promising subjects for research aimed at solving practical problems, such as landscaping and improving the urban environment.

Materials and methods

The objects of the study were the species *Eremurus robustus* and *E. tianschanicus*. *Eremurus*

robustus Regel is a 100-200 cm tall perennial with a bluish smooth stem (up to 2 cm), spindle-shaped roots and linear leaves (3-8 cm). The inflorescence is dense, 40-100 cm long. Flowers are pink or white with a yellow spot, 15-17 mm. Blooms in June-July. *Eremurus tianschanicus* is a perennial plant 50-150 cm tall. Roots are spindle-shaped, leaves are keeled, 0.5-1.2 cm. Inflorescence is narrow, dense. Flowers are pale pink with a yellow spot, 10-12 mm. Flowering period: June-July (Fig. 1).



Figure 1 – Studied species of the genus *Eremurus*

Herbarium specimens from collections of the Institute of Botany and Phytointroduction (AA, Almaty, Kazakhstan), Lomonosov Moscow State University (MW, Moscow, Russia), Komarov Botanical Institute (LE, St. Petersburg, Russia), Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (TASH, Tashkent, Uzbekistan) were analyzed during the study. The main reference books were used for species identification: «Flora of Kazakhstan», «Determinant of Plants of Central Asia and Kazakhstan» and others [7,29,30]. Latin and Russian names of plants are given according to the databases International Plant Names Index (IPNI, URL: <https://www.ipni.org/>) and Plants of the World Online (POWO, URL: <https://powo.science.kew.org/>). The map was prepared using the QGIS 3.28 program.

Results and discussion

According to «Flora of Kazakhstan», *Eremurus robustus* is found in the foothills and on meadow slopes of mountains up to the subalpine belt. This species can be found in the Zailiysky Alatau, Chuliykiy Mountains, Kyrgyz Alatau and Western Tien Shan. The range covers Central Asia. *Eremurus tianschanicus* grows on wooded foothills and rocky southern slopes of the lower mountain zone. This species is found in the Zailiysky Alatau, Chuliykiy Mountains, Kyrgyz Alatau, Karatau and Western Tien Shan. The general distribution is Central Asia (Table 1). According to the «Central Asia Plant Identifier», *Eremurus robustus* is found in Tien Shan and Pamir-Alai, except Pamir. And *Eremurus tianschanicus* is widespread in the Tien Shan and in

the north-eastern part of Pamir-Alai. On the basis of data on herbarium specimens, a distribution map of species of the genus *Eremurus* (*E. robustus*, *E.*

tianschanicus) was made (Fig. 2,3). Data presented in herbarium collections AA, LE, MW, GBIF, Plantarium (Table 2).

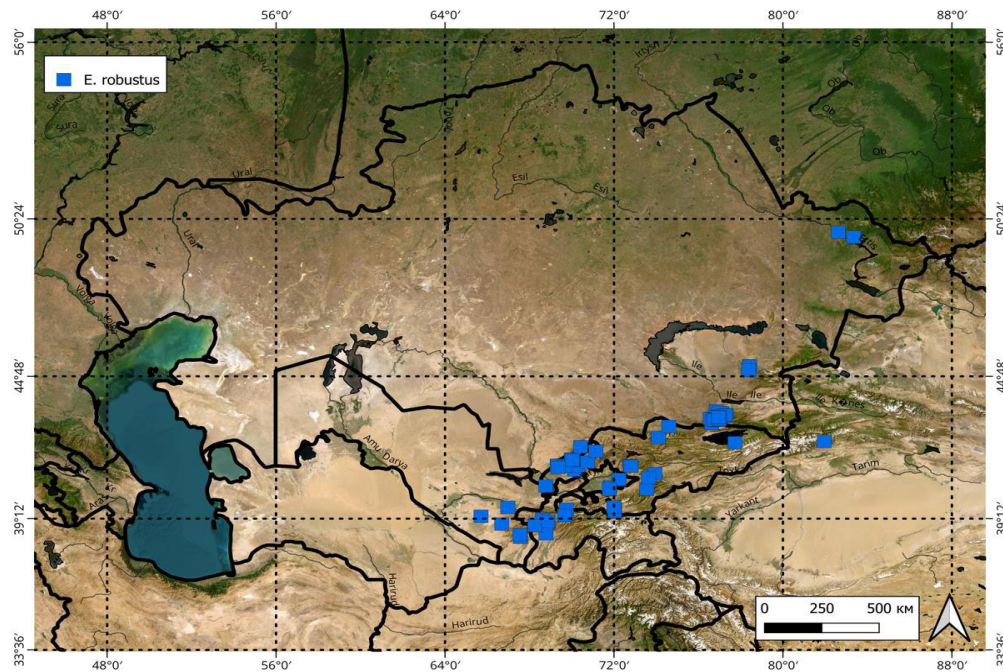


Figure 2 – Distribution map of the species *Eremurus robustus* Regel

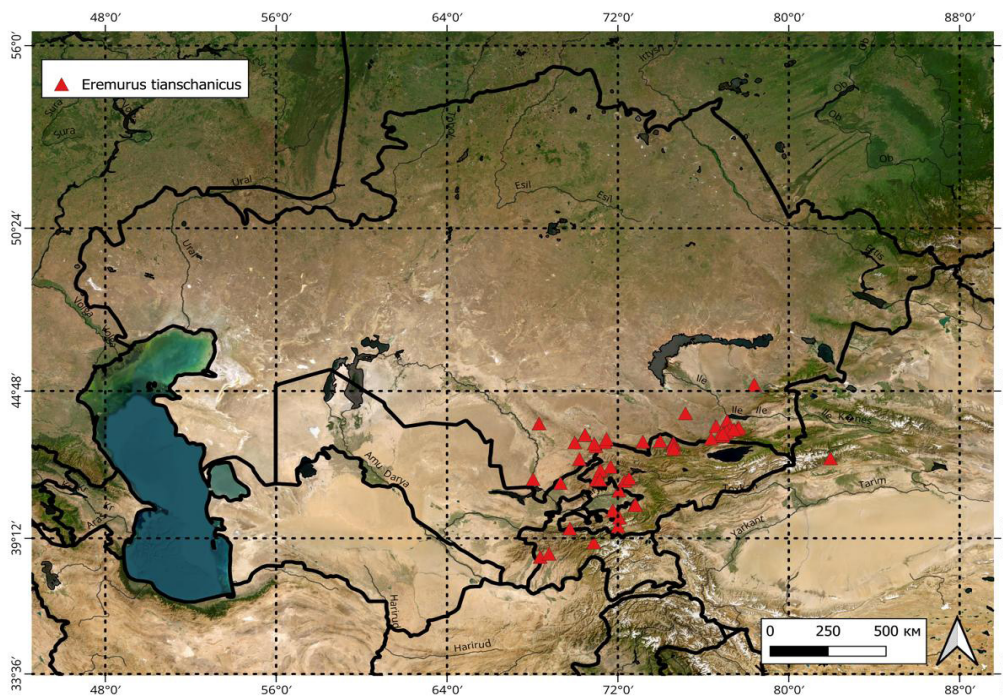


Figure 3 – Distribution map of *Eremurus tianschanicus* Pazij et Vved ex Golos

Table 1 – Representation of herbarium specimens by floristic districts

Species	Floristic district										
	WTSH	DA	ZA	Alt	Lug	Uzb	Tad	Kyr	ChI	KA	Kar
<i>E. r</i>	4	1	46	2	12	32	7	11	-	-	-
<i>E. t</i>	11	-	17	-	-	3	4	21	6	5	5

Note: Data provided in herbarium collections AA, LE, MW, GBIF, Plantarium [8,30]

Table 2 – Representation of two *Eremurus* species in different herbarium collections

GC/Eb	Floristic district										
	WTSH	DA	ZA	Alt	Lug	Uzb	Tad	Kyr	ChI	KA	Kar
<i>E. robustus</i>											
AA	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	2
LE	-	-	8	-	-	10	4	7	-	-	-
MW	2	-	-	-	-	6	4	1	-	-	-
GBIF	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-
Pl	1	-	6	2	12	16	1	3	-	-	3
<i>E. tianschanicus</i>											
AA	1	-	9	-	-	-	-	-	-	5	-
LE	-	-	-	-	-	-	1	6	-	-	-
MW	2	-	1	-	-	2	1	7	2	-	-
GBIF	6	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-
Pl	2	-	1	-	-	1	2	8	4	-	-

Note: Data presented in herbarium collections AA, LE, MW, GBIF, Plantarium [8,30] Designations of floristic areas: WTSH – Western Tien Shan; DA – Dzungarian Alatau; ZA – Zailiysky Alatau; Alt – Altai; Lug – Lugansk; Uzb – Uzbekistan; Tad – Tajikistan; Kyr – Kyrgyzstan; ChI – Chu-Ili Mountains; KA – Kyrgyz Alatau; Kar – Karatau.

Analysis of *Eremurus robustus* distribution based on herbarium data. *Eremurus robustus* occurs in various geographical regions of Central Asia, including the Western Tien Shan, Dzungarian Alatau, Zailiysky Alatau, Altai, Uzbekistan, Tajikistan and Lugansk (cultural plantations). The bulk of the finds are from Kazakhstan, Kyrgyzstan and Uzbekistan, with the greatest concentration of data in the Zailiysky Alatau and adjacent areas.

Geographic distribution. Western Tien Shan: occurs in mountainous areas including the Ugam Range and Chankalo Range. The altitudinal range varies from 1800 m (Pavlov, 1954) to low foothill areas. Dzungarian Alatau: noted in southwestern spurs, mainly in canyons and among shrub thickets (Goloskokov, 1955). Zailiysky Alatau: the most extensive representation of herbarium data from the XIX century (Fedtschenko, 1888-1909) up to modern finds (GBIF, 2024). Occurs at different altitudes, in gorges, slopes, river valleys, and in an-

thropogenic landscapes. Altai: found in culture in Ust-Kamenogorsk, indicating possible introduction of the species. Lugansk: data on cultivation of the species in private farmsteads (Plantarium, 2013-2021). Uzbekistan: recorded in the Fergana Valley, Samarkand region, Chatkal and Gissar ridges, at altitudes of 1500-2860 meters. Predominantly occurs on mountain slopes, among shrub thickets and junipers. Tajikistan: Data from the Gissar Range, including western and south-western spurs, indicate stable presence of the species. Distribution dynamics: herbarium data indicate a significant increase in the number of observations in recent decades, especially due to digital platforms (Plantarium, GBIF). This may indicate both improved monitoring of the species and possible changes in its distribution. Ecological preferences: *Eremurus robustus* prefers mountain slopes, stony and loess soils, and is found among shrub thickets, in foothills and river valleys. The altitudinal range varies from 1000m to 2860m

above sea level. *Eremurus robustus* demonstrates a wide ecological plasticity, occurring in different conditions – from dry foothills to high-mountain meadows. The range of the species covers Central Asia, mainly mountain systems of Tien Shan and Pamir-Alai, with the highest concentration of finds in Zailiysky Alatau. Further research should be aimed at studying the influence of climatic changes on the range and population dynamics of the species. This analysis allows us to better understand the current status of *Eremurus robustus* populations and predict possible changes in its distribution.

Analysis of *Eremurus tianschanicus* distribution on the basis of herbarium data shows that the species is distributed in mountainous areas of Central Asia – Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan and Uzbekistan. The study of herbarium collections from the late XIX century reveals the peculiarities of geography, preferred ecological conditions and dynamics of species occurrence.

Geographical distribution. Western Tien-Shan: In this region *Eremurus tianschanicus* is found on rubbly slopes, canyons and mountain slopes of Karatau. Herbarium specimens have been recorded since 1932, with most finds occurring in the mid-twentieth century (1936, 1948, 1954, 1957, 1958, 1959). Occurrence has been noted at elevations of 1000-1200 m altitude. Modern data confirm its presence in the region, including finds in 2009 (Plantarium). Zailiysky-Kungei Alatau: This region includes foothill and mountainous areas of Almaty Region. Herbarium collections started in 1930, covering loess foothills, Mai-Bulak, Kara-Kastek gorges, Kok-Tyube mountain and Medeo sports complex. The plant is found in the forest belt of mountains, steppes and foothills at altitudes from 1000 to 1930 meters. Recent findings confirm its distribution in the region (2020, 2024). Chu-Ili Mountains: Finds are concentrated in the area of Kuyuk Pass and the vicinity of Zhambyl region. Herbarium collections have been recorded since 1948, in the last decades (2011-2020) the presence of *Eremurus tianschanicus* has been repeatedly confirmed. Kyrgyz Alatau: Collections were made in Merken district, Taldy-Bulak and Merke river valleys. The species was recorded in steppe slopes, foothills and mid-mountains. The data cover the period from 1933 to 1983. Karatau: Findings of the plant belong to the Koksau and Bayaldyr gorges and the Kuyuk Pass. Herbarium data cover the years 1958-2015, confirming the species' stable presence in the region. Kyrgyzstan: A significant data set for Kyrgyzstan covers the northern slopes of the Altai Range, Fergana Range, Ak-Bura, Chu, Yassy, Kara-Suu, Naryn, Aflatun river val-

leys. The altitudes vary from 850 to 2500 m. Findings cover the period from 1947 to 2024, indicating a stable distribution of the species. Tajikistan: The species occurs on the slopes of the Gissar, Darvaz and Turkestan ranges, as well as in the basin of the Obikhingou and Almasy rivers. Herbarium specimens are dated 1962-2017. Uzbekistan: The main finds are on the northern slopes of the Zeravshan Range and in the vicinity of Urgut. Cultivation of the species in the Tashkent Botanical Garden has also been noted (2018). Wide geographical range: *Eremurus tianschanicus* is widespread in mountain systems of Central Asia, preferring rubbly, stony and steppe slopes at altitudes from 850 to 2500 m. Despite its stable presence in the region, the influence of climatic changes and anthropogenic factors requires further study and monitoring of population status. *Eremurus tianschanicus* continues to be an important element of the flora of Central Asia, and its study provides a deeper understanding of the processes of adaptation and spread of plants in mountainous conditions.

In the course of the work 128 herbarium specimens covering materials for the period from 1988 to 2024 were considered. As a result of the analysis, *Eremurus robustus* was found to grow in the following floristic areas: Zailiysky Alatau, Western Tien Shan, Dzungarian Alatau, as well as in the countries of Uzbekistan, Tajikistan and Kyrgyzstan. Gerbar specimens were collected in May and June. The largest number of specimens was collected by the following scientists: A.I. Geld, O. Dubynin, O. Fedchenko and M.G. Popov.

The species *Eremurus tianschanicus* is found in the following areas: Western Tien Shan, Zailiysky and Kungei Alatau, Chu-Iliyskiy Mountains, Kyrgyz Alatau, Karatau, as well as in the countries of Kyrgyzstan, Tajikistan and Uzbekistan. Herbarium specimens were collected during the periods of June-July. Among the scientists who collected the largest number of herbarium specimens of this species are: I.A. Gubanov, M.G. Pimenov, E.V. Kluikov, N.V. Pavlov and L. Chilikina. Distribution points of the species *Eremurus robustus* were found in the Altai and Dzungarian Alatau. Since these regions are not listed in the «Flora of Kazakhstan», this finding is considered a geographical discovery that expands the range of distribution of the studied species.

Conclusion

As a result of detailed analysis of literature sources and study of more than 130 herbarium specimens stored in large herbarium collections (AA,

TASH, LE, MW), the following data were obtained. The studied specimens cover a wide time range from 1888 to 2024, which allowed us to identify changes in the distribution of *Eremurus robustus* and *Eremurus tianschanicus* species in space and time. On the basis of herbarium data, we compiled a detailed distribution map of these species. According to the information presented in the «Flora of Kazakhstan», earlier the ranges of these species were limited to the floristic areas of Zailiysky and Kungei Alatau, Kyrgyz Alatau, Chu-Iliyskiy mountains and Western Tien-Shan. However, the results of our study demonstrate a wider distribution of *Eremurus robustus*, which also occurs in the Altai and Dzungarian Alatau regions, which extends the boundaries of the known range of the species and requires clarification of the existing floristic maps. Taking into account botanical-geographical zoning of Kazakhstan and

Central Asia, we have determined the ranges of these species: *Eremurus robustus*: Region – Saharo-Gobian, Subregion – Irano-Turanian, Province – Mountain Middle Asian – Dzungarian – Dzungaro-North Tianshan; *Eremurus tianschanicus*: Region – Saharo-Gobian, Subregion – Irano-Turanian, Province – Mountain Middle Asian Dzungaro-North Tianshan. The obtained data allow not only to clarify the boundaries of distribution of these species, but also to reveal new localities of their occurrence. This is especially important for further floristic and geobotanical studies, as well as for assessing the state of populations under conditions of changing climate and anthropogenic impact. Monitoring of the population structure of *Eremurus robustus* and *Eremurus tianschanicus* in extended ranges will be a promising area for future research.

References

1. Беккулова З., Мукумов И.У. Род *Eremurus* (*Eremurus* M.Bieb) во флоре Самаркандской области (Узбекистан) // Природа и сельскохозяйственные науки: Международный научный журнал Вестник науки. 2021. Т. 10, № 43. С. 137–144.
2. Makhmudjanov D., Yusupov Z., Abdullaev D., Tao D., Komiljon T., Hang S. The complete chloroplast genome of *Eremurus robustus* (Asphodelaceae) // Mitochondrial DNA B. – 2019. – Vol. 4, № 2. – P. 3366–3367. doi:10.1080/23802359.2019.1674198.
3. Jang J.E., Jeong H.J., Kim A.L., Choi Y.R., Lazkov G.A., Jang C.-G., Choi H.J., Gil H.-Y. The complete chloroplast genome of *Eremurus zoeae* Vved. (Asphodelaceae), an endemic species of Kyrgyz Republic // Mitochondrial DNA B. – 2024. – Vol. 9, № 4. – P. 437–441. doi:10.1080/23802359.2024.2336003.
4. Хохряков А.П. Эремурусы и их культура. – Москва: Наука, 1965.
5. Makhmudjanov D., Volis S., Yusupov Z., Juramurodov I., Tojibaev K., Tao D., Sun H. Central Asia revealed as a key area in evolution of *Eremurus* (Asphodelaceae) // Plant Divers. – 2024. – Vol. 46. – P. 333–343. doi: 10.1016/j.pld.2023.08.004.
6. Абдуллаев Д.А., Тургунов М.Д. Виды рода *Eremurus* M. Bieb. (Asphodelaceae) флоры Узбекистана в условиях Ташкентского ботанического сада // CBG. – 2022. – № 89(18). doi: 10.35102/cbg.2022.89.18.034.
7. Голоскоков В.П. Род *Eremurus* M. Bieb. // Флора Казахстана. Т. II. – Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1958.
8. Байтенов М.С. Флора Казахстана. В 2-х т. Т. II: Родовой комплекс флоры. – Алматы: Ылым, 2001.
9. Мухадил Г.К., Кудабаяева Г.М., Даулет К.А., Осмонали Б.Б. Распространение и экологическая приуроченность псаммофитных видов рода *Eremurus* в Казахстане // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2024. – Т. 23, № 2. С. 89–96. doi:10.14258/pbssm.2024104.
10. Мухадил Г.К. Видовой состав рода *Eremurus* M. Bieb. пустынной части долины р. Или // Фараби элемеі: материалы Международной конференции студентов и молодых ученых. – Алматы, 6–8 апреля 2023. – С. 60.
11. Мухадил Г.К., Кудабаяева Г.М., Осмонали Б.Б. Экологическая приуроченность и особенности видов рода *Eremurus* M. Bieb. пустынной части долины р. Или // Проблемы опустынивания территории Республики Казахстан и вопросы их решения: материалы Международной научно-практической конференции. – Алматы, 22 сентября 2023. – С. 100.
12. Makhmudjanov D., Abdullaev D., Juramurodov I., Tuychiev S., Yusupov Z., Sun H., Tojibaev K., Deng T. Comparative analysis and characterization of ten complete chloroplast genomes of *Eremurus* species (Asphodelaceae) // Forests. – 2023. – Vol. 14, № 9. – P. 1709. doi:10.3390/f14091709.
13. Naderi S.K., Kazempour O.S., Zarrei M. Phylogeny of the genus *Eremurus* (Asphodelaceae) based on morphological characters in the Flora Iranica area // Iranian Journal of Botany. – 2009. – Vol. 15, № 1. – P. 27–35.
14. Hadizadeh H., Babaei A., Samiei L., Seifi A. Classification of some *Eremurus* spp. genotypes in Iran using morphological characters // Iranian Journal of Horticultural Science. – 2021. – Vol. 51, № 4. – P. 861–870.
15. Лысякова Н.Ю., Иванова А.Г., Кирпичева Л.Ф. Биоморфологическая и цитозембриологическая характеристика рода *Eremurus* в предгорном Крыму // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2009. – № 20. – С. 88–93.
16. Makhmudjanov D., Juramurodov I., Kurbonalieva M., Yusupov Z., Dekhkonov D., Deng T., Tojibaev K.Sh., Sun H. Genus *Eremurus* (Asphodelaceae) in the flora of Uzbekistan // Plant Diversity of Central Asia. – 2022. – Vol. 2. – P. 82–127. doi: 10.54981/PCDA/voll_iss2/a4.
17. Alhalak N., Sekerler T. Phytochemical and biological activities of *Eremurus spectabilis*: A review // Rev. – 2022. – Vol. 2. – P. 24–39. doi: 10.62063/rev-200439.

18. Smirnova N.I., Mestechkina N.M., Shcherbukhin V.D. Localization of acetyl groups in the macromolecule of glucomannan obtained from roots of *Eremurus zangezuricus* // *Applied Biochemistry and Microbiology*. – 2002. – Vol. 38. – P. 467–469.
19. Ma M., Fan J., Li J. Pollination characteristics of the ephemeroïd plant *Eremurus anisopterus* // *Frontiers in Biology in China*. – 2008. – Vol. 3. – P. 315–319.
20. Hu C., Kong Q., Yang D., Pan Y. Isolation and structural characterization of a novel galactomannan from *Eremurus anisopterus* (Ker. et Kir) Regel roots // *Carbohydrate Polymers*. – 2011. – Vol. 84, № 1. – P. 402–406.
21. Xiao J.Q., Eshbakova K.A., Aisa H.A. Chemical constituents of *Eremurus anisopterus* // *Chemistry of Natural Compounds*. – 2014. – Vol. 50. – P. 730–731.
22. Mamut J., Xiong Y.Z., Tan D.Y., Huang S.Q. Pistillate flowers experience more pollen limitation and less geitonogamy than perfect flowers in a gynomonoecious herb // *New Phytologist*. – 2014. – Vol. 201, № 2. – P. 670–677. doi: 10.1111/nph.12525.
23. Mamut J., Xiong Y.Z., Tan D.Y., Huang S.Q. Flexibility of resource allocation in a hermaphroditic-gynomonoecious herb through deployment of female and male resources in perfect flowers // *American Journal of Botany*. – 2017. – Vol. 104, № 3. – P. 461–467.
24. Li X., Xie L.Z., Li J., Chen G.D., Aisa H.A. A pair of new tetrahydro-naphthalenone enantiomers from *Eremurus altaicus* (Pall.) Stev. // *Phytochemistry Letters*. – 2015. – Vol. 13. – P. 330–333. doi: 10.1016/j.phytol.2015.07.014.
25. Farhadi F., Avan R., Sahebkar A., Eghbali S. A comprehensive review on *Eremurus* species: phytochemistry, pharmacology and traditional uses // *Phytochemistry Letters*. – 2023. – Vol. 53. – P. 142–149. doi: 10.1016/j.phytol.2022.12.002.
26. Shahrampour D., Razavi S.M. Physicochemical and structural properties of a bio-based antioxidant packaging film derived from *Eremurus luteus* root gum // *Materials Today Communications*. – 2022. – Vol. 33. – P. 104756.
27. Shahrampour D., Razavi S.M. Fabrication and characterization of novel biodegradable active films based on *Eremurus luteus* root gum incorporated with nanoemulsions of rosemary essential oil // *Progress in Organic Coatings*. – 2023. – Vol. 175. – P. 107360. doi: 10.1016/j.porgcoat.2022.107360.
28. Ахметова М.А. Интродукция казахстанских видов рода *Eremurus* Bieb. в предгорьях Заилийского Алатау [дисс.]. – Алма-Ата, 1993.
29. Федченко Б.А. Род *Eremurus* M. Bieb. // В: Флора СССР. – Т. IV. – М.: Изд-во АН СССР, 1935.
30. Введенский А.И., Ковалевская С.С. Род *Eremurus* M. Bieb. // В: Определитель растений Средней Азии. – Т. II. – Ташкент: Изд-во «ФАН» УзССР, 1971.

References

1. Abdullaev D.A., Turgunov M.D. (2022). Vidy roda *Eremurus* M. Bieb. (Asphodelaceae) flory Uzbekistana v usloviyah Tashkentskogo botanicheskogo sada [Species of the Genus *Eremurus* M. Bieb. (Asphodelaceae) of the Flora of Uzbekistan under the Conditions of the Tashkent Botanical Garden]. *CBG*, (89)18, pp. 1–7. doi: 10.35102/cbg.2022.89.18.034.
2. Ahmetova M.A. (1993). Introdukciya kazahstanskikh vidov roda *Eremurus* Bieb. v predgor'yah Zailiyskogo Alatau [Introduction of Kazakh Species of the Genus *Eremurus* Bieb. in the Foothills of the Zailiyskiy Alatau] [Dissertation]. Alma-Ata, 140 p.
3. Alhalak N., Sekerler T. (2022) Phytochemical and biological activities of *Eremurus spectabilis*: A review. *Rev.*, vol. 2, pp. 24–39. doi: 10.62063/rev-200439.
4. Bajtenov M.S. (2001). Flora Kazakhstana. V 2-h t. T. II: Rodovoj kompleks flory [Flora of Kazakhstan. In 2 Volumes. Vol. II: Generic Composition of the Flora]. Almaty: Gylm, pp. 180–310.
5. Bekkulova Z., Mukumov I.U. (2021). Rod *Eremurus* (*Eremurus* M.Bieb) vo flore Samarkandskoj oblasti (Uzbekistan) [The Genus *Eremurus* (*Eremurus* M.Bieb) in the Flora of Samarkand Region (Uzbekistan)]. *Priroda i sel'skohozyajstvennye nauki: Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal Vestnik nauki*, 10(43), pp. 137–144.
6. Farhadi F., Avan R., Sahebkar A., Eghbali S. (2023) A comprehensive review on *Eremurus* species: phytochemistry, pharmacology and traditional uses. *Phytochemistry Letters*, vol. 53, pp. 142–149. doi: 10.1016/j.phytol.2022.12.002.
7. Fedchenko B.A. (1935). Rod *Eremurus* M. Bieb. [The Genus *Eremurus* M. Bieb.]. In *Flora SSSR*, Vol. IV, pp. 152–187. Moscow: Izd-vo AN SSSR.
8. Goloskov V.P. (1958). Rod *Eremurus* M. Bieb. [The Genus *Eremurus* M. Bieb.]. In *Flora Kazakhstana*, Vol. II, pp. 212–245. Alma-Ata: Izd-vo AN KazSSR.
9. Hadizadeh H., Babaei A., Samiei L., Seifi A. (2021) Classification of some *Eremurus* spp. genotypes in Iran using morphological characters. *Iranian Journal of Horticultural Science*, vol. 51, no. 4, pp. 861–870.
10. Hohryakov A.P. (1965). *Eremurusy i ih kul'tura* [Eremurus and Their Cultivation]. Moscow: Nauka.
11. Hu C., Kong Q., Yang D., Pan Y. (2011) Isolation and structural characterization of a novel galactomannan from *Eremurus anisopterus* (Ker. et Kir) Regel roots. *Carbohydrate Polymers*, vol. 84, no. 1, pp. 402–406.
12. Jang J.E., Jeong H.J., Kim A.L., Choi Y.R., Lazkov G.A., Jang C.-G., Choi H.J., Gil H.-Y. (2024) The complete chloroplast genome of *Eremurus zoae* Vved. (Asphodelaceae), an endemic species of Kyrgyz Republic. *Mitochondrial DNA B*, vol. 9, no. 4, pp. 437–441. doi: 10.1080/23802359.2024.2336003.
13. Li X., Xie L.Z., Li J., Chen G.D., Aisa H.A. (2015) A pair of new tetrahydro-naphthalenone enantiomers from *Eremurus altaicus* (Pall.) Stev. *Phytochemistry Letters*, vol. 13, pp. 330–333. doi: 10.1016/j.phytol.2015.07.014.
14. Lysyakova N.Yu., Ivanova A.G., Kirpicheva L.F. (2009). Biomorfologicheskaya i citoembriologicheskaya harakteristika roda *Eremurus* v predgornom Krymu [Biomorphological and Cytoembryological Characteristics of the Genus *Eremurus* in the Foothills of Crimea]. *Ekosistemy, ih optimizaciya i ohrana*, (20), pp. 88–93.

15. Ma M., Fan J., Li J. (2008) Pollination characteristics of the ephemeroïd plant *Eremurus anisopterus*. *Frontiers in Biology in China*, vol. 3, pp. 315–319.
16. Makhmudjanov D., Abdullaev D., Juramurodov I., Tuychiev S., Yusupov Z., Sun H., Tojibaev K., Deng T. (2023) Comparative analysis and characterization of ten complete chloroplast genomes of *Eremurus* species (Asphodelaceae). *Forests*, vol. 14, no. 9, p. 1709. doi:10.3390/f14091709.
17. Makhmudjanov D., Juramurodov I., Kurbonalieva M., Yusupov Z., Dekhkonov D., Deng T., Tojibaev K.Sh., Sun H. (2022) Genus *Eremurus* (Asphodelaceae) in the flora of Uzbekistan. *Plant Diversity of Central Asia*, vol. 2, pp. 82–127. doi: 10.54981/PCDA/voll_iss2/a4.
18. Makhmudjanov D., Volis S., Yusupov Z., Juramurodov I., Tojibaev K., Tao D., Sun H. (2024) Central Asia revealed as a key area in evolution of *Eremurus* (Asphodelaceae). *Plant Divers.*, vol. 46, pp. 333–343. doi: 10.1016/j.pld.2023.08.004.
19. Makhmudjanov D., Yusupov Z., Abdullaev D., Tao D., Komiljon T., Hang S. (2019) The complete chloroplast genome of *Eremurus robustus* (Asphodelaceae). *Mitochondrial DNA B*, vol. 4, no. 2, pp. 3366–3367. doi:10.1080/23802359.2019.1674198.
20. Mamut J., Xiong Y.Z., Tan D.Y., Huang S.Q. (2014) Pistillate flowers experience more pollen limitation and less geitonogamy than perfect flowers in a gynomonoecious herb. *New Phytologist*, vol. 201, no. 2, pp. 670–677. doi: 10.1111/nph.12525.
21. Mamut J., Xiong Y.Z., Tan D.Y., Huang S.Q. (2017) Flexibility of resource allocation in a hermaphroditic-gynomonoecious herb through deployment of female and male resources in perfect flowers. *American Journal of Botany*, vol. 104, no. 3, pp. 461–467.
22. Muhadil G.K. (2023). Vidovoj sostav roda *Eremurus* M. Bieb. pustynnoj chasti doliny r. Ili [Species Composition of the Genus *Eremurus* M. Bieb. in the Desert Part of the Ili River Valley]. In Farabi Əlemi: Proceedings of the International Conference of Students and Young Scientists, April 6–8. Almaty, pp. 60–61.
23. Muhadil G.K., Kudabaeva G.M., Daulet K.A., Osmonali B.B. (2024). Rasprostranenie i ekologicheskaya priurochennost' psammofitnyh vidov roda *Eremurus* v Kazahstane [Distribution and Ecological Specificity of Psammophytic Species of the Genus *Eremurus* in Kazakhstan]. *Problemy botaniki YUzhnoj Sibiri i Mongolii*, 23(2), pp. 89–96. doi:10.14258/pbssm.2024104.
24. Muhadil G.K., Kudabaeva G.M., Osmonali B.B. (2023). Ekologicheskaya priurochennost' i osobennosti vidov roda *Eremurus* M. Bieb. pustynnoj chasti doliny r. Ili [Ecological Specificity and Features of Species of the Genus *Eremurus* M. Bieb. in the Desert Part of the Ili River Valley]. In Problemy opustynivaniya territorii Respubliki Kazahstan i voprosy ih resheniya: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference, September 22. Almaty, pp. 100–102.
25. Naderi S.K., Kazempour O.S., Zarrei M. (2009) Phylogeny of the genus *Eremurus* (Asphodelaceae) based on morphological characters in the Flora Iranica area. *Iranian Journal of Botany*, vol. 15, no. 1, pp. 27–35.
26. Shahrapour D., Razavi S.M. (2022) Physicochemical and structural properties of a bio-based antioxidant packaging film derived from *Eremurus luteus* root gum. *Materials Today Communications*, vol. 33, p. 104756.
27. Shahrapour D., Razavi S.M. (2023) Fabrication and characterization of novel biodegradable active films based on *Eremurus luteus* root gum incorporated with nanoemulsions of rosemary essential oil. *Progress in Organic Coatings*, vol. 175, p. 107360. doi: 10.1016/j.porgcoat.2022.107360.
28. Smirnova N.I., Mestechkina N.M., Shcherbukhin V.D. (2002) Localization of acetyl groups in the macromolecule of glucomannan obtained from roots of *Eremurus zangezuristicus*. *Applied Biochemistry and Microbiology*, vol. 38, pp. 467–469.
29. Vvedenskij A.I., Kovolevskaya S.S. (1971). Rod *Eremurus* M. Bieb. [The Genus *Eremurus* M. Bieb.]. In Opredelitel' rastenij Srednej Azii, Vol. II, pp. 190–230. Tashkent: Izd-vo «FAN» UzSSR.
30. Xiao J.Q., Eshbakova K.A., Aisa H.A. (2014) Chemical constituents of *Eremurus anisopterus*. *Chemistry of Natural Compounds*, vol. 50, pp. 730–731.

Information about authors:

Daulet Kamiliya – PhD student, Faculty of Biology and Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University; Junior Researcher, Laboratory of Plant World Cadastre, Institute of Botany and Phytointroduction, Almaty, Kazakhstan, e-mail: dauletova1211@mail.ru

Kusmangazinov Adil – PhD, Senior Lecturer, Department of Botany and Agroecology, Faculty of Biology and Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: adil_06.1996@mail.ru

Nazarbekova Saltanat – Professor, Dept. of Botany and Agroecology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: snazarbekova@mail.ru

Baidauletova Aliya Imanaliyevna – Candidate of Medical Sciences, Somnologist, Neurologist, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: baidaulet123@gmail.com.

Сведения об авторах:

Даулет Камилия Әуескелдіқызы – PhD-докторант, факультет биологии и биотехнологии, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, младший научный сотрудник лаборатории кадастра растительного мира Института ботаники и фитоинтродукции (Алматы, Казахстан, e-mail: dauletova1211@mail.ru);

Кусмангазинов Адил Болатұлы – PhD, старший преподаватель кафедры ботаники и агроэкологии, факультет биологии и биотехнологии КазНУ имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: adil_06.1996@mail.ru);

Назарбекова Салтанат Төлебековна – профессор, кафедра ботаники и агроэкологии КазНУ имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: snazarbekova@mail.ru);

Байдаулетова Алия Иманалиевна – кандидат медицинских наук, сомнолог, невролог, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: baidaulet123@gmail.com).

Авторлар туралы мәлімет:

Дәулет Камилия Әуескелдіқызы – PhD докторы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің биология және биотехнология факультеті, Өсімдік кадастры зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Ботаника және фитоинтродукция институты, Алматы, Қазақстан, e-mail: dauletova1211@mail.ru

Құсмангазин Әділ Болатұлы – PhD докторы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің биология және биотехнология факультетінің ботаника және агроэкология кафедрасының аға оқытушысы, Алматы, Қазақстан, e-mail: adil_06.1996@mail.ru

Назарбекова Салтанат Төлепбекқызы – Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ботаника және агроэкология кафедрасының профессоры, Алматы, Қазақстан, e-mail: snazarbekova@mail.ru

Байдәулетова Әлия Иманәліқызы – медицина ғылымдарының докторы, PhD докторы, сомнолог, невропатолог, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: baidaulet123@gmail.com

Received June 12, 2025

Accepted August 20, 2025

R.K. Anatoliy , M.S. Kurmanbayeva* ,
D.E. Karabalayeva 

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: meruyert.kurmanbayeva@kaznu.edu.kz

EVOLUTIONARY DEVELOPMENT OF THE GENUS *POPULUS* L. (*SALICACEAE* MIRB.) IN WESTERN KAZAKHSTAN

This article examines the origin, evolution, and phylogenetic relationships of the genus *Populus* L. (poplars) within the family Salicaceae, with a focus on species occurring in Western Kazakhstan. An integrative analysis of paleobotanical, morphological, and ecological data reveals the main pathways of species formation and adaptation mechanisms of poplars in steppe and semi – desert environments.

Paleobotanical evidence shows that *Populus* L. diverged from its closest relative, *Salix*, in East Asia at the end of the Cretaceous period (approximately 68 – 67 million years ago). In the study region, the sections *Leucoides*, *Tacamahaca*, and *Aigeiros* were already established by the early Paleocene, with some fossil remains dating to around 63 million years. From the Paleocene onward, poplars dispersed into North America via high-latitude land bridges. The *Trepidae* subsection emerged between 15 and 3.5 million years ago, during the Miocene – Pliocene. These data confirm the key role of East Asia as the primary center of origin and diversification of the genus.

Archaeological excavations near Taksai (Western Kazakhstan) uncovered *Populus* L. wood fragments dated to 500 – 401 BC, demonstrating the long-term persistence of poplar floodplain ecosystems in the region. Notably, *P. × canescens* is identified as one of the oldest natural hybrids of the genus, known since the late Pliocene (about 3.5 million years ago).

The unique geomorphological and climatic features of Western Kazakhstan promote high ecological plasticity, hybridization, and genetic diversity among *Populus* L. species. This makes the region an important natural model for studying evolutionary processes, hybrid dynamics, and adaptive strategies within the genus. The findings highlight the significance of local poplar populations for understanding long-term environmental stability and provide a valuable basis for future studies on conservation, reforestation, and the management of floodplain ecosystems.

Keywords: Evolution of *Populus*, *Populus* systematics, paleobotany, Salicaceae, Western Kazakhstan.

Р.Қ. Анатолий, М.С. Курманбаева*, Д.Э. Карабалаева
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
*e-mail: meruyert.kurmanbayeva@kaznu.edu.kz

Батыс Қазақстандағы *Populus* L. (*Salicaceae* mirb.) туысының даму эволюциясы

Мақалада зерттеу *Populus* L. (терек) туысының шығу тегі мен эволюциялық даму үдерістерін, Salicaceae тұқымдасының филогенетикалық орны мен тарихи-географиялық таралу ерекшеліктерін талдауға бағытталған. Жұмыста Батыс Қазақстанның табиғи флорасында таралған түрлерге ерекше назар аударылып, палеоботаникалық, морфологиялық және экологиялық деректердің интегративті талдауы негізінде терек түрлерінің қалыптасу жолдары мен дала және шөлейт экожүйелеріне бейімделу тетіктері айқындалды.

Populus L. туысы Солтүстік жарты шардың қоңыржай белдеуінде эволюциялық тұрғыдан табысты таралған таксондарының бірі болып саналады. Палеоботаникалық материалдар *Populus* L. пен оның ең жақын туысы *Salix* (тал) туысының филогенетикалық ажырауы Шығыс Азияда Бор кезеңінің соңында, шамамен 68 – 67 миллион жыл бұрын жүзеге асқанын көрсетеді. Зерттеу аймағында ерте палеоцен кезеңінде терек туысының – *Leucoides*, *Tacamahaca* және *Aigeiros* секциялары қалыптасқан. Осы дәуірге жататын қазба қалдықтарының ішінде ең жасы үлкен шамамен 63 миллион жыл болады.

Палеоценнен бастап теректер құрлық көпірлері арқылы Солтүстік Америка аумағына бірнеше дисперсиялық кезеңдермен таралған.

15-3,5 млн жыл бұрын *Populus* туысының миоцен мен плиоцен кезеңдерінде *Trepidae* қосалқы секциясы пайда болды. Зерттеу барысында туыстың эволюциялық кезеңдері, филогенети-

калық байланыстары және *Populus* түрлерінің бастапқы шығу және диверсификация орталығы ретінде Шығыс Азияның шешуші рөлі жан-жақты қарастырылды.

Тақсай ауылы маңында (Батыс Қазақстан) жүргізілген археологиялық қазбалар барысында табылған *Populus* ағашының қалдықтары б.з.д. 500 – 401 жылдарға жатқызылды. Бұл деректер аймақтағы теректердің жайылма экожүйелерінің өте ертеден бері сақталып келе жатқанын дәлелдейді. Ерекше маңызға ие түрлердің бірі – *P. × canescens*, шамамен 3,5 миллион жыл бұрынғы кеш плиоцен кезеңінен белгілі ең көне табиғи гибридтердің бірі екені анықталды.

Батыс Қазақстанның бірегей геоморфологиялық және климаттық жағдайлары жайылма ормандардағы терек туысы түрлерінің экологиялық икемділігін, гибридизациясын арттыруға ықпал ететіні көрсетілді. Бұл аймақ *Populus* L. туысының эволюциялық үдерістерін және бейімделу стратегияларын зерттеу үшін маңызды модельдік аумақ болып табылады.

Түйін сөздер: *Populus* эволюциясы, *Populus* систематикасы (жүйеленуі), палеоботаника, Salicaceae, Батыс Қазақстан.

Р.Қ. Анатолий, М.С. Курманбаева*, Д.Э. Карабалаева
Казакский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
*e-mail: meruyert.kurmanbayeva@kaznu.edu.kz

Эволюционное развитие рода *Populus* L. (*Salicaceae* Mirb.) в Западном Казахстане

В статье исследуются происхождение и эволюционные процессы развития рода *Populus* L. (тополь), филогенетическое положение семейства Salicaceae, а также особенности историко-географического распространения его представителей. Особое внимание уделено видам, распространенным в природной флоре Западного Казахстана. На основе комплексного анализа палеоботанических, морфологических и экологических данных выявлены пути формирования видов тополей и механизмы их адаптации к степным и полупустынным экосистемам.

Род *Populus* L. является одной из эволюционно наиболее успешных групп древесных растений умеренного пояса Северного полушария. Палеоботанические материалы свидетельствуют, что филогенетическое расхождение *Populus* и его ближайшего родственника – рода *Salix* (ива) – произошло в Восточной Азии в конце мелового периода, примерно 68–67 млн лет назад. На территории исследования в раннем палеоцене сформировались секции рода *Populus*: *Leucoides*, *Tacamahaca* и *Aigeiros*. Среди ископаемых остатков этого периода самые древние датируются приблизительно 63 млн лет.

Начиная с палеоцена, тополя распространялись на территорию Северной Америки через существовавшие сушевые мосты, проходя несколько дисперсионных этапов. В интервале 15–3,5 млн лет назад, в миоцене и плиоцене, сформировалась подсекция *Trepidae*. В ходе исследования подробно рассмотрены эволюционные этапы рода, его филогенетические связи и ключевая роль Восточной Азии как первоначального центра происхождения и диверсификации *Populus* L.

При археологических раскопках в районе села Таксай (Западный Казахстан) обнаружены фрагменты древесины *Populus*, датируемые 500–401 гг. до н. э. Эти находки подтверждают сохранение устойчивых пойменных тополевых экосистем региона на протяжении многих столетий. Особый интерес представляет вид *Populus × canescens*, один из древнейших известных естественных гибридов, происхождение которого прослеживается до позднего плиоцена – около 3,5 млн лет назад.

Показано, что уникальные геоморфологические и климатические условия Западного Казахстана способствуют повышенной экологической пластичности и гибридизации представителей рода *Populus* в пойменных лесах. Регион является важной модельной территорией для изучения эволюционных процессов и адаптационных стратегий тополей.

Ключевые слова: эволюция *Populus*, систематика *Populus*, палеоботаника, Salicaceae, Западный Казахстан.

Introduction

There are about 110 species of poplars on the globe, of which 15 species of poplars are found in the wild flora of Kazakhstan [1].

The genus *Populus* L. is broadly distributed across the Northern Hemisphere, where numerous species play significant ecological and economic

roles. Representatives of the genus are notable for their rapid growth rates, high tolerance to environmental stressors, strong vegetative propagation capacity, and the wide-ranging use of their wood in various industries [3;4].

The genus *Populus* L. belongs to the family Salicaceae, order Salicales Lindley (Salicinales), superorder Dillenianae, subclass Dilleniidae, class

Magnoliatae (Dicotyledones), and the division Magnoliophyta (Angiospermae).

According to studies by A. L. Takhtajan, the simple structure of the flowers in Salicales is a secondary feature that evolved as an adaptation to wind pollination. For this reason, he places this family in the subclass Dilleniidae and the superorder Dillenianae. In his works, Takhtajan – drawing on the research of N. Hallier (1911, 1912, 1918), H. Gobi (1916), A. Cronquist (1957), and M. Gzyryan (1955) – argues that the family Salicaceae originated from Flacourtiaceae, a hypothesis supported by similarities in the wood anatomy and floral morphology of these families [5].

It is believed that the flowers of Salicales evolved from bisexual, insect-pollinated flowers with a normally developed perianth. This hypothesis is supported by pronounced rudimentary processes observed in Salicaceae flowers and by the presence of atavistic abnormalities, including the occasional formation of bisexual flowers. Thus, the reduction of the perianth and the shift to wind pollination are regarded as relatively recent evolutionary changes associated with the specialization of the family.

The family Salicaceae is relatively small in terms of the number of genera and species. It is primarily composed of three genera: the widespread and ecologically important *Populus*, the highly diverse genus *Salix* L., and the small, relict genus *Chosenia* Nakai, which occupies an intermediate position between willows and poplars. These genera share several morphological and anatomical features, including similarities in wood structure, seeds, and reproductive organs.

One of the best-studied and economically important genera of the family is *Populus*. In 1947, the International Poplar Commission approved a division of this genus into five sections: *Leuce* Duby, *Aigeiros* Duby, *Tacamahaca* Spach, *Leucoides* Spach, and *Turanga* Bge. For many decades, this classification served as a basis for botanical and forestry research, since the sections reflect both morphological distinctions and ecological specialization among poplar groups.

In the following decades, various attempts were made to clarify the intra- and interspecific relationships within the genus. For example, S. Ya. Sokolov (1951) proposed his own system, dividing *Populus* into three subgenera: *Turanga* Bge., *Leuce* Duby, and *Eupopulus* Dode. His classification incorporated wood and bud morphology as well as biogeographical patterns, which made it convenient for floristic and dendrological studies.

Later, R. V. Kamelin (1973), analyzing the degree of primitiveness and evolutionary advancement of particular traits, recognized five subgenera: *Tsavo* (Iarn.) R. Kam., *Turanga* (Bunge) Dode, *Tacamahaca* (Spach) R. Kam., and *Populus*. Of particular interest is that Kamelin elevated *Tsavo* to the rank of subgenus, emphasizing the pronounced morphological and evolutionary distinctiveness of this lineage [6]. His approach was based on a broad comparative analysis that included not only morphology but also ecological characteristics.

S. K. Cherepanov, who published an extensive floristic review in 1973, adhered to a more conservative viewpoint and recognized only three subgenera: *Balsamifera* Bugala, *Populus*, and *Turanga* (Bunge) Dode [7]. His classification prioritized practical floristic usability and taxonomic stability, making it suitable for identification guides and regional botanical treatments.

In the present study, we follow the classification proposed by F. Guinier, which has gained wide acceptance among botanists and foresters and is used by specialists both in Kazakhstan and abroad. Guinier's system is noted for its logical structure and good correspondence with morphological and evolutionary data.

According to Guinier's classification, the genus *Populus* is divided into five sections: – *Turanga* (Bge.), which includes ancient and xerophytic forms found primarily in arid regions; *Leuce* Duby (white poplars), characterized by light bark and distinctly white-tomented leaves; *Aigeiros* Duby (black poplars), widespread along river floodplains and known for their ecological plasticity; *Tacamahaca* Spach (balsam poplars), distinguished by their aromatic resinous buds and high frost resistance; *Leucoides* Spach, a relatively rare group notable for its distinctive fruit structure [8].

Thus, the diversity of approaches to the systematics of *Populus* reflects the complexity and ancient history of its evolution, as well as the considerable variability of its morphological traits. Guinier's classification appears most suitable for practical application, as it integrates morphological, biogeographical, and ecological criteria.

The systematics of *Populus* L. remains the subject of ongoing debate, particularly concerning the rank of individual taxa, their nomenclature, and phylogenetic relationships.

These discrepancies are related to the high variability of *Populus* L. species across different geographical regions, which greatly complicates the establishment of clear morphological boundaries between subgenera and sections.

Throughout the twentieth century, numerous classification schemes were proposed, each reflecting attempts to organize the considerable intra- and interspecific diversity of the genus.

V. L. Komarov (1934) distinguished five major taxonomic groups within the genus *Populus*: white poplars (*Leuce* Duby), black poplars (*Aigeiros* Duby), aspens (*Trepidae* Dode), turangas (*Turanga* Bge.), and balsam poplars (*Tacamahaca* Spach) [9]. This system was among the first attempts to integrate morphological, ecological, and geographical characteristics, which made it possible to structure the diversity of the genus to some extent.

Western Kazakhstan represents a unique natural region that combines features of steppe, semi-desert, and floodplain ecosystems. This combination of landscapes makes the area particularly valuable for botanical, biogeographical, and evolutionary studies. Both native poplar species, adapted to local climatic contrasts, and introduced species used in urban landscaping and forest reclamation occur here. Their coexistence creates favorable conditions for studying hybridization, adaptation, introgression, and natural selection within the genus *Populus*. It is especially noteworthy that many species and hybrids in Western Kazakhstan exhibit a high degree of ecological plasticity, making the region a kind of “natural laboratory” for exploring evolutionary processes in the genus.

The origin and geological development of the West Kazakhstan region are closely linked to processes occurring within the Precaspian tectonic depression. This depression, bounded by major fault zones, is the deepest subsiding block of the East European Platform. The geological structure of the region has had a profound impact on its present – day landscape, hydrological network, and vegetation patterns.

Without delving into the full complexity of the region’s geological history, we highlight only those aspects most relevant to the formation of its modern landscape. The main features of the surface of West Kazakhstan were established before the Quaternary period, beginning in the Paleogene. During this time, sedimentation, subsidence, and uplift occurred, producing a mosaic of elevations, depressions, ancient terraces, and drainage lines. These geomorphological features played an important role in shaping vegetation distribution, including natural habitats of various poplar species.

Beginning in the Paleogene, several areas of Western Kazakhstan began to rise above sea level, most notably the Obshchii Syrt and the Podural

Plateau. In the Pliocene (upper Neogene), renewed subsidence of part of the Obshchii Syrt allowed the waters of the extensive Akchagyl Basin of the ancient Caspian Sea – existing roughly 1.7 million years ago – to once again occupy large parts of the region. However, it is believed that the Akchagyl transgression did not inundate the Podural Plateau, as this area was experiencing uplift at the time.

Amid regional neotectonic uplift, local elevations and depressions formed within the plateau as a result of salt-dome activity. Consequently, the surface of the West Kazakhstan region within the Podural Plateau has not been submerged by marine transgressions since the mid-Paleogene and represents the oldest portion of the landscape.

After the retreat of the Akchagyl Sea, a further significant uplift of the Obshchii Syrt occurred, preventing subsequent Caspian transgressions from reaching this area. As a result, the northern part of the region – lying 80 – 100 meters above sea level – is composed of heavily eroded Mesozoic (mainly Cretaceous) and Paleogene marine deposits.

On the pre-Akchagyl surface along the present – day Ural River valley, a submeridional scarp and a major fault zone can be traced. These structures likely played a decisive role in determining the position of the Ural Valley during the regression of the Lower Khvalyn Basin. Due to Quaternary tectonic movements, an elevated step formed beneath the Obshchii Syrt, on which the high Lower Khvalyn terrace of the Caspian Sea developed, characterized by thin Quaternary deposits.

The southern part of the region, located along the zero-metre contour, is underlain by an ancient bedrock uplift that determined the shoreline of the Upper Khvalyn Basin. This uplift is also believed to be responsible for the endorheic nature of several small steppe rivers that do not flow into major drainage systems.

The aim of this study is to analyze the origin and evolution of the genus *Populus* L. in the context of the natural conditions of Western Kazakhstan, identify key factors influencing species distribution, ecological plasticity, and variability, and assess the role of hybrid forms in shaping local populations and their adaptation to the geomorphological and climatic features of the region.

Materials and methods

The study is based on an analysis of scientific literature on the systematics, phylogeny, paleobotany, and evolutionary history of the genus *Populus*

L. Sources published between 1905 and 2024 were examined. A comparative and analytical review of different taxonomic approaches and their correspondence to modern molecular-phylogenetic data was carried out. Latin names of vascular plants were verified using the IPNI and POWO databases.

Wood fragments were obtained during archaeological excavations in the village of Taksai, Terek-tinsky District, West Kazakhstan Region. Samples were collected from a depth of 1.3 – 5.0 m. After preliminary cleaning, the specimens were described and photographed under standardized lighting conditions.

Thin sections (transverse, radial, and tangential) were prepared following the standard IAWA (2004) protocol. Microscopic examination was performed using a Leica DM500 microscope. The following anatomical parameters were measured: vessel diameter, vessel density (no./mm²); fiber wall thickness, size and height of wood rays.

In this study, no quantitative statistical methods were applied, as the research is analytical and comparative in nature and is based on the examination of published taxonomic, phylogenetic, morphological, and paleobotanical data. Instead of numerical analysis, a qualitative comparative approach was employed to identify points of concordance and divergence among various classification systems of the genus *Populus* L. proposed by different domestic and international researchers over time.

In comparing the works of Dode (1905), Komarov (1934), Sokolov (1951), Kamelin (1973), Cherepanov (1973), Eckenwalder (1996), Skvortsov (2010), as well as modern molecular studies (Cervera et al., Wang et al., Liu et al., Zhang et al., Zong et al.) [10], a structural taxonomic comparison approach was employed. This included: (1) a comparative analysis of taxa of the same rank proposed by different authors, and an evaluation of the stability of taxonomic characters used across various classification systems (leaf morphology, bud structure, wood anatomy, pollen, seeds); and (2) a comparison of historical – biogeographical scenarios of origin, particularly the East Asian versus North American hypotheses.

Particular attention was given to assessing the consistency among different sources of evidence – morphological, paleobotanical, and geographical. This made it possible to integrate the findings into a unified conceptual framework that characterizes the evolutionary development of the genus within the environmental context of Western Kazakhstan.

Results and discussion

A.L. Takhdajian [11] believes that the family *Salicaceae* is the closest to the family *Tamaricales*, especially *Violales*, in the structure of the gynoecium and a number of other features, and could have originated from *Flacourtiaceae*, with which it is similar in the anatomical structure of wood and morphology of flowers. Poplar species are characterized by a diploid set of chromosomes ($2n = 38$), some of them have an autotriploid set ($2n = 57$) – *P. alba* L., *P. tremula* L., *P. nigra* L.- and even autotetraploid ($2n = 76$), in *P. x canescens* a form with an allotriploid set of chromosomes $2n = 57$ is known [12].

OECD reports report systematics and genus remains a subject of scientific debate [13]. To date, there are several scientific approaches to the systematics of the genus *Populus*, reflecting both morphological and molecular-genetic diversity of representatives. The most significant classifications were proposed by such researchers as Dode (1905), Komarov (1934, 1936), Kamelin (1973), Zsuffa (1975), Starova (1980), Eckenwalder (1996), and Skvortsov (2010), each of which takes into account the peculiarities of the structure of leaves, buds, flowers, and species ranges [14].

Despite the considerable number of studies devoted to the systematics and phylogeny of *Populus* L., the internal relationships among its major sections and the precise delineation of their taxonomic boundaries remain incompletely resolved. This persistent ambiguity is largely attributable to several complicating factors, including extensive natural and artificial hybridization, pronounced morphological plasticity, and substantial discrepancies in the interpretation of diagnostic characters among different authors. Such inconsistencies are evident in the works of Cervera et al. (2005), Cronk (2005), Wang et al. (2014), Liu et al. (2017), Zhang et al. (2017, 2018), Zhou et al. (2018), and Zong et al. (2019) [15,16].

The question of the actual number of species within the genus *Populus* has likewise long been a matter of scientific debate, with estimates varying widely among researchers. The greatest divergence in opinion is observed in the works of Chinese botanists, who typically recognize a substantially larger number of species than their Western counterparts (Fang et al., 1999; Wan & Zhang, 2013; [17]. As a result, specialists from other regions consider these traits unreliable, which complicates the accurate delimitation of species. At present, two primary hy-

potheses address the origin of the genus *Populus*: the North American hypothesis and the East Asian hypothesis. The North American hypothesis posits that poplars originated in the Eocene of North America and subsequently dispersed into Eurasia by way of Paleogene land bridges (J.M. Murillo, 2004; Manchester et al., 2006; D. Kalivas 2013; A. Sasmaz, 2016) [20]. A key line of evidence is the existence of *Populus mexicana* Wesm. ex DC., the only extant representative of section Abaso, which today is restricted to the warm regions of Mexico. Fossil evidence indicates that ancient members of Abaso were once widely distributed, extending as far north as Alaska. The earliest fossil remains tentatively assigned to *Populus* are derived from Paleocene deposits of North America and date to approximately 58 million years ago. Modern *P. mexicana* shows pronounced morphological affinity to the well-substantiated fossil species *P. wilmattae* Cockrell, discovered in Middle Eocene strata (~48 Ma) of northeastern Utah [21]. This fossil taxon is widely employed as a calibration point in molecular phylogenetic analyses [22].

The early Paleogene fossil floras of Kamchatka likewise contain abundant poplar remains, indicating that the genus was already well established in northern Asia during this period. According to Budantsev (2006), the formation of the Paleogene flora in the western part of Kamchatka, which took place during the Late Paleocene – Early Eocene (approximately 55 – 60 million years ago), was accompanied by the disappearance of several Mesozoic conifer taxa, such as *Ginkgo kamtschatica*, *Metasequoia occidentalis*, and *Trochodendroides arctica*, while certain representatives of the Cretaceous period, particularly *Platanus basicordata*, persisted. During this transitional period into the Cenozoic era, new floristic elements began to appear, including the early representatives of the genus *Populus* [23]. According to modern phylogenetic reconstructions, the fossil remains of *Populus* discovered in these deposits represent geologically ancient forms that align well with the current understanding of poplar evolution. Molecular and paleobotanical evidence indicates that the divergence between the genera *Populus* and *Salix* occurred during the Late Cretaceous (approximately 68 – 67 million years ago), marking one of the earliest branching events within the Salicaceae family. This separation coincided with significant global climatic changes and the rapid diversification of angiosperms. Additional biogeographic studies suggest that *Populus* most likely originated in East Asia, which acted as a major evolutionary center

for early representatives of temperate woody flora. From this region, ancestral poplar lineages subsequently migrated to North America, Europe, and North Africa, likely using high-latitude land bridges such as Beringia during warmer climatic phases of the Paleogene [23]. Such migrations created conditions for early diversification within the genus and contributed to the formation of several distinct evolutionary lineages. In the works of Du et al. (2022), the section *Populus* (*Leuce*), which encompasses the white poplars, is consistently regarded as a monophyletic lineage [24]. This conclusion is supported by concordant data from both morphological characteristics – such as leaf structure, bark texture, and seed morphology – and molecular markers including chloroplast and nuclear DNA. The section is further distinguished by clear reproductive barriers with other sections, indicating long-term evolutionary isolation. Recent phylogenomic analyses also reinforce the early divergence of the *Populus* (*Leuce*) lineage, suggesting that it may represent one of the oldest surviving branches within the genus. Fossil evidence from the Paleogene of Eurasia, combined with molecular clock estimates, supports the hypothesis that the evolutionary history of the white poplars spans more than 50 million years. This makes the group particularly valuable for understanding long-term patterns of adaptation, hybridization, and biogeographic dispersal within *Populus*.

This section also exhibits near – complete reproductive isolation from the other sections of the genus. The subsection *Albidae* (commonly referred to as the silver poplars; see Table 1) is currently represented by only a single extant Eurasian species, *P. alba* L. In contrast, the North American representatives of this lineage constitute evolutionary derivatives confined primarily to the montane regions of tropical Mexico, within the Madrean floristic subkingdom. It is presumed that their ancestral forms dispersed into North America during the Paleocene–Eocene interval, shortly after the earliest progenitors of the genus *Populus* colonized the continent. Comparable to members of section *Turanga*, the extant taxa of subsection *Albidae* are widely regarded as relict components of the Madrean – Tethyan floristic region, preserving ancient biogeographic signatures that trace back to early Cenozoic vegetation dynamics.

The analysis of biometric traits and fluctuating asymmetry of the leaf blade revealed clear morphological differentiation among the examined sections of *Populus*. The observed patterns of variation provide important insights into their taxonomic rela-

tionships, adaptive strategies, and microevolutionary dynamics.

The consistently larger leaf dimensions recorded for section Aigeiros align with its known ecological association with more mesic environments, where broader and longer leaves contribute to enhanced photosynthetic capacity. In contrast, the smaller leaf sizes characteristic of Trepidae likely reflect adaptation to drier or more continental habitats, where reduced transpiration and smaller lamina surface area are advantageous. The intermediate values found in Albidae suggest ecological flexibility and occupation of transitional environmental niches (Table 1).

Intraspecific variability, expressed through coefficients of variation ranging from 9 to 25%, highlights substantial morphological plasticity within the studied groups. Such variability is important for understanding microevolutionary processes and poten-

tial pathways of divergence. The fluctuating asymmetry values, used as an indicator of developmental stability, further support the presence of differential environmental pressures acting upon the taxa.

A notable finding is that the morphometric parameters of Albidae exceed those of the parental species. This pattern can be interpreted as evidence of somatic and adaptive heterosis, reflecting enhanced growth performance and increased ecological fitness. The morphological distinctness of Albidae from both parental forms provides additional support for its taxonomic autonomy and confirms its intermediate but well-defined position within the genus.

The results not only strengthen existing taxonomic concepts but also contribute to understanding the evolutionary trajectories of these groups in the environmental context of Western Kazakhstan.

Table 1 – Biometric characteristics of the leaf blade in the sections Albidae, Trepidae, and Aigeiros

Indicators	Albidae	Trepidae	Aigeiros
<i>Leaf blade length, cm</i>			
Mcp	6,5	4,95	7,14
±m	0,50	0,54	0,3
Kv	9,7	15,0	9,7
<i>Maximum leaf blade width, cm</i>			
Mcp	4,5	4,35	5,65
±m	0,73	0,56	0,60
Kv	18,7	17,2	9,9
<i>Petiole length, cm</i>			
Mcp	6,46	3,01	5,84
±m	2,07	0,39	0,73
Kv	16,9	20,2	12,6
<i>Distance between the widest part of the leaf blade and its base, cm</i>			
Mcp	3,32	1,96	3,52
±m	0,14	0,71	0,3
Kv	10,6	22	2,78

The biometric characteristics of the leaf blade clearly distinguish the sections Albidae, Trepidae, and Aigeiros. The largest leaf dimensions are observed in Aigeiros, reflecting its adaptation to more humid environmental conditions. Albidae occupies an intermediate position across all parameters. The smallest values occur in Trepidae, indicating adaptation to drier or more continental habitats. These differences confirm the diagnostic significance of

leaf morphometry in delimiting the sections of the genus *Populus*.

The subsection Albidae (the silver poplars; see Table 2) currently includes only a single modern Eurasian species, *P. alba* L. Their ancestral forms are thought to have entered North America during or shortly after the colonization of the continent by the ancestors of the Abaso lineage in the Paleocene – Eocene. As with representatives of section

Turanga, modern Albidae taxa are regarded as relictual elements of the Madrean – Tethyan floristic region.

Paleobotanical evidence for fossil representatives of the subsection Albidae is sparse, and all currently known occurrences originate from the European sector of Eurasia [25]. From Late Pliocene deposits of Kazakhstan, the species *P. gokhtuniae* Gabrielyan sp. nov. has been described, exhibiting a high degree of morphological similarity to modern *P. alba* (Table 3). *P. alba* itself is reliably documented in the fossil record beginning in the Pliocene, approximately 5 million years ago [26].

Table 2 – Evolutionary timeline of modern species in the genus *Populus*, section *Populus* (Leuce)

Name of taxon	Time of occurrence	Geographical localization of poplars of Kazakhstan
Subsection <i>Albidae</i>		
<i>P. alba</i>	Pliocene	Otrogo general syrt, Tobyl-Ishim, Irtysh, Semipalatinsk hog, Aktobe, Zaisan, Balkhash-Alakul.
<i>P. × canescens</i>	Late Pliocene	Semipalatinsk hog, Aktobe, Turgai, Karaganda, Aktogai (Kounradsky), Zaisan, Altai.
Subsection <i>Trepidae</i>		
<i>P. tremula</i>	Pliocene	Otrogo Common Syrt, Tobyl-Ishim, Irtysh, Semipalatinsk Hog, Kokchetav, Pre-Caspian, Aktobe, Mugodzhary, Turgai, Western and Eastern Cretaceous, Zaisan, Altai, Tarbagatai, Dzungarian Alatau, Zailin Kungai Alatau, Ketmen-Terskey Alatau.

Research indicates that the hybrid forms within the section *Populus* have a very ancient origin, and this conclusion is increasingly supported by new evidence. Introgressive hybridization is recognized as a key component of the reticulate evolution of the genus *Populus*. However, information regarding the timing of the emergence of modern spontaneous hybrids remains extremely limited and fragmentary. Perhaps one of the few exceptions is *Populus × canescens* (Aiton) Sm. – a natural spontaneous hybrid growing in the central floodplain of the Ural River.

P. alba and *P. tremula* species with close variability are known from the late Miocene and early Pliocene, and *P. × canescens* itself is recorded from the late Pliocene about 3.5 million years ago (Table 2) from the territory of modern Armenia [25;27].

The object of the study are fragments of tree trunk found during archaeological excavations conducted by archaeologist Amangeldieva Yana on the territory of Taksai village of Terektinsky district of West Kazakhstan region (GPS-coordinates: 51°19.635'N, 52°17.472'E; 51°19.590'N, 52°17.529'E).

The analysis showed that the morphological features of the specimens allow us to assign them to the genus *Populus* L. In terms of trunk structure and fiber characteristics, these remains are similar

to species belonging to the *Albidae* subsection of the *Aigeiros* section (Fig.1). Radiocarbon dating showed that the age of these specimens corresponds to approximately 500 – 401 BC.

Despite the fact that this period belongs to the ancient time in the historical scale, the paleobotanical data testify to the wide distribution of representatives of the poplar genus (*Populus* L.) along the Urals since ancient times. These data confirm that floodplain forests in the Urals region have been preserved as sustainable bioecological systems for a long time.

The subsection *Trepidae* – *Aspidae* is relatively richly represented in the fossil record. However, in contrast to other numerous groups, such as *Tacamahaca*, aspens were not characterized by diversity in the Paleogene; their peak of prosperity was in the Miocene (Table 2).

The peak of evolutionary development within the subsection *Trepidae* occurred during the Miocene. In the Early Miocene, the species *P. tremulifolia* Sap. was recorded in the territory of Kazakhstan, whose ancestral forms later became widely distributed across Eastern Europe and the Caucasus. Another noteworthy finding within the Early Miocene flora of Kazakhstan is the presence of *P. orzhilanensis* Kornilova [28].



Figure 1 – Samples of *Populus* L. species discovered as a result of the paleobotanical study

Within Eurasia, the youngest representative of this subsection is *P. tremula* L., whose fossil remains have been identified in Pliocene deposits of Armenia, dated to approximately five million years ago.

In North America, ancestral lineages of modern aspens began to expand across the continent during the second half of the Miocene. By the end of this epoch, these ancestral populations had already diverged into two distinct species – *P. tremuloides* Michaux and *P. grandidentata* Michaux [29].

Long-term studies by Z. S. Wang and colleagues indicate that the section Aigeiros – the black poplars (*Populus nigra* L.) – represents one of the most evolutionarily advanced lineages within the genus *Populus* (Table 3). According to phylogenetic data, the origin of the sections Aigeiros and Tacamahaca is likely hybrid in nature, having formed during

the early stages of the genus's evolutionary history [30]. It is assumed that species of section *Aigeiros* emerged as a result of ancient hybridization events involving ancestral lineages of the sections *Populus* and *Tacamahaca*. At the initial stages of divergence, genetic differentiation among these lineages was minimal, which is supported by evidence of ancient plastid capture resulting from interlineage hybridization.

A notable example is *Populus nigra*, whose origin is linked to an ancient hybrid lineage formed through crosses between ancestral black and white poplars. Analyses of chloroplast DNA reveal a high degree of similarity between the plastid genomes of *P. nigra* and species of the section *Populus*, providing strong evidence for an event of ancient plastid capture [31].

Table 3 – Divergence times of modern *Populus* species in the sections *Leucoides* and *Aigeiros*

Name of taxon	Time of emergence	Geographical localization of poplars of Kazakhstan
Section <i>Aigeiros</i>		
<i>P. nigra</i>	Pliocene	Otrogo general syrt, Tobyl-Ishim, Irtysh, Semipalatinsk hog, Kokchetav., Aktobe, Mugodzhary, Western Shallow Soil, Eastern Shallow Soil, Zaisan, Altai.

At the same time, nuclear DNA markers and morphological characteristics reported by Cervera et al. (2005) and Wang et al. (2014) consistently place *P. nigra* within the section *Aigeiros*, confirming its distinctiveness and phylogenetic cohesion. It is noteworthy that natural hybridization between representatives of the sections *Aigeiros* and *Populus* no longer occurs under present-day conditions, whereas hybridization among species of the sections *Aigeiros*, *Tacamahaca*, and *Leucoides* is still observed [32].

The earliest fossil remains resembling modern *P. nigra* – designated as *P. cf. nigra* – have been recovered from Miocene deposits in the Kochkor Basin of Kyrgyzstan [33]. Analysis of paleontological materials shows that the fossil remains of *P. nigra* date back to the Pliocene, with an estimated age of around five million years. Morphologically similar and diagnostically comparable specimens have also been identified in Late Pliocene deposits of Armenia, confirming that ancestral forms of *P. nigra* were already widely distributed across Eurasia by the end of the Neogene [34]. These findings indicate that the evolutionary lineage of black poplars developed on the Eurasian continent significantly earlier than in North America. In North America, the earliest fossil evidence of representatives of section *Aigeiros* appears only in Upper Miocene strata, suggesting a later arrival and radiation of this group on the continent.

In recent years, representatives of section *Tacamahaca* – the balsam poplars – have been increasingly used in the territory of Western Kazakhstan, particularly in urban alleys, parks, and shelterbelt plantations. Globally, this section comprises approximately ten recognized species, many of which exhibit complex clonal or hybrid origins resulting

from prolonged natural selection and anthropogenic breeding. The primary center of diversity for *Tacamahaca* is located in Asia, where most species and endemic forms are concentrated; a considerably smaller number occur in North America.

Evolutionary studies and paleobotanical data indicate that in the past, the *Tacamahaca* section possessed a much broader geographic range and a higher level of species diversity than at present. This is supported by numerous fossil findings from Oligocene and Miocene deposits of Eurasia, which demonstrate that balsam poplars occupied key ecological niches within ancient forest communities. The reduction of their modern distribution is associated with global climatic shifts during the late Cenozoic and increased competition from more specialized woody taxa.

For Western Kazakhstan, species of the *Tacamahaca* section hold particular ecological significance: they exhibit high adaptability, including tolerance to drought, frost, and anthropogenic stress, making them promising candidates for urban greening, afforestation, and the restoration of degraded ecosystems. Furthermore, studying their genetic diversity and potential hybrid forms in the region can substantially contribute to understanding adaptive strategies within the genus *Populus* under extreme climatic conditions.

Although such subdivisions can help organize and interpret the substantial variation observed among fossil balsam poplars, this structure is regarded as overly complex for the currently accepted modern species (see Table 4). It tends to be favored mainly by proponents of an extremely broad, monotypic interpretation of the genus *Populus*, who recognize around – or more than – one hundred taxa.

Table 4 – Evolutionary timeline for the origin of contemporary *Populus* species of section *Tacamahaca*

Name of taxon	Time of emergence	Geographical localization of poplars of Kazakhstan
<i>P. balsamifera</i>	Late Miocene	In Kazakhstan it is found in urban plantings in Karaganda, Semipalatinsk and Uralsk.

Fossil evidence from the Late Oligocene of southern Western Siberia (approximately 24.5 million years ago) documents the presence of *P. balsamoides* Goepp., a species that later became widely distributed in the Miocene floras of Europe.

Assigning the North American representatives of the section *Tacamahaca* – whether extant or fossil – to any of the three previously discussed series (*Laurifoliae*, *Tacamahaca*, *Latifolia*) is not considered appropriate. In North America, *Populus* species capable of hybridization are phylogenetically much more closely related to one another than to their Eurasian counterparts.

According to studies by Dayanandan (2002) and Eckenwalder (2009), among the modern North American representatives of the section *Tacamahaca*, the greatest morphological similarity and closest phylogenetic affinity are observed between *P. balsamifera* and *P. trichocarpa* [37].

Phylogenetic analyses suggest that the divergence between *P. balsamifera* and *P. trichocarpa* may have taken place during the Middle or Late Miocene. However, some studies propose a considerably more recent divergence, suggesting that the two species separated during the Pleistocene glaciation, approximately 74.8 thousand years ago [38].

Conclusion

Representatives of the genus *Populus* L. – including two subsections (*Albidae*, *Trepidae*) and three sections (*Tacamahaca*, *Aigeiros*, *Populus* (*Leuce*)) – have been present in the floodplain forests of the Ural River valley within the studied region since ancient times.

The evolutionary history of the genus *Populus* L. in Western Kazakhstan reflects a long and complex process of phylogenetic, biogeographic, and ecological development. Analysis of paleobotanical and morphological evidence indicates that representatives of the three major sections – *Populus* (*Leuce*), *Aigeiros*, and *Tacamahaca* – have been present in the Ural River basin since ancient times, forming stable components of the region's floodplain and steppe – forest ecosystems. The earliest known hybrid taxon, *P. × canescens*, is recorded from the Late Pliocene, demonstrating that hybridization has long served as an important mechanism supporting genetic diversity within poplar populations.

The unique climatic and geological conditions of Western Kazakhstan create favorable prerequisites for the formation of local populations with high levels of species and genetic variability. The identified patterns of hybridization and adaptation in representatives of *Populus* in this region are of considerable importance both for theoretical botany and for practical applications in reforestation, landscape restoration, and sustainable bioresource management.

Understanding the mechanisms of adaptation, hybridization, and dispersal within the genus *Populus* is crucial for both theoretical botany and evolutionary biology, as well as for practical applications in forestry, landscape restoration, and environmental management. Owing to their high tolerance to drought, soil salinity, and anthropogenic stress, poplar species remain among the most promising candidates for green infrastructure development and the rehabilitation of degraded ecosystems in Western Kazakhstan.

References

1. POWO (2024). «Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet; <http://www.plantsoftheworldonline.org/>. Retrieved 10 October 2024.
2. Бакулин В. Т. Использование тополя в озеленении промышленных городов Сибири: краткий анализ проблемы // Сибирский экологический журнал. – 2005. – Т. 12. – №. 4. – С. 563-571
3. Климов А. В., Прошкин Б. В. Аборигенные тополи флоры Республики Казахстан // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. – 2019. – №. 25. – С. 22-28
4. Климов А. В., Прошкин Б. В. Происхождение и эволюция рода *Populus* L.(семейство Salicaceae) //Социально-экологические технологии. – 2024. – Т. 14. – №. 2. – С. 205-238. DOI: 10.31862/2500-2961-2024-14-2-205-238
5. Тахтаджян А. Л. Principia Tectologica. Принципы организации и трансформации сложных систем: эволюционный подход. 2-ое издание. – Alexander Doweld, 2001
6. Соколов С. Я. Деревья и кустарники СССР. – Рипол Классик, 2013
7. Черепанов С. К. Свод дополнений и изменений к «Флоре СССР»:(Тт. 1-30). – Alexander Doweld, 1973
8. Wan X. Q., Zhang F. An overview of *Populus* genetic resources in southwest China // The Forestry Chronicle. – 2013. – Т. 89. – №. 1. – С. 79-87. DOI: 10.5558/tfc2013-013
9. Комаров В. Л. Тополя СССР //Ботанический журнал СССР. – 1934. – Т. 19. – №. 5. – С. 495
10. Levens N. D., Tiffin P., Olson M. S. Pleistocene speciation in the genus *Populus* (Salicaceae) //Systematic biology. – 2012. – Т. 61. – №. 3. – С. 401. DOI: 10.1093/sysbio/ syr120
11. Тахтаджян А. Л. Система и филогения цветковых растений. – Alexander Doweld, 1966
12. Царев А. П. Биолого-структурные особенности и палеоисхождение рода *Populus* L.(обзор) //Лесной вестник/ Forestry bulletin. – 2019. – Т. 23. – №. 2. – С. 121-126.DOI: 10.18698/2542-1468-2019-2-121-126
13. Isebrands J. G., Richardson J. (ed.). Poplars and willows: trees for society and the environment. – CABI, 2014
14. Zhang L. et al. Plastome phylogeny and lineage diversification of Salicaceae with focus on poplars and willows //Ecology and evolution. – 2018. – Т. 8. – №. 16. – С. 7817-7823. DOI: 10.1002/ecs3.4261
15. Cervera M. T. et al. Intraspecific and interspecific genetic and phylogenetic relationships in the genus *Populus* based on AFLP markers //Theoretical and Applied Genetics. – 2005. – Т. 111. – С. 1440-1456. DOI: 10.1007/s00122-005- 0076-2
16. Zong D. et al. Plastome sequences help to resolve deep-level relationships of *Populus* in the family Salicaceae //Frontiers in plant science. – 2019. – Т. 10. – С. 5.DOI: 10.3389/fpls.2019.00005
17. Nasimovich Y. A., Kostina M. V., Vasilyeva N. V. The concept of species in poplars (genus *Populus* L., Salicaceae) based on the example of the subgenus Tacamahaca (Spach) Penjkovsky representatives growing in Russia and neighbouring countries// Environ. Human: Ecol. Stud. – 2019. – Т. 9. – №. 4. – С. 426-466. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-4-426-466
18. Zong D. et al. Plastome sequences help to resolve deep-level relationships of *Populus* in the family Salicaceae //Frontiers in plant science. – 2019. – Т. 10. – С. 5. DOI: 10.3389/fpls.2019.00005
19. Liu X. et al. Origin and evolutionary history of *Populus* (Salicaceae): Further insights based on time divergence and biogeographic analysis //Frontiers in Plant Science. – 2022. – Т. 13. – С. 1031087. DOI: 10.3389/fpls.2022.1031087
20. Zhou Z. et al. Cenozoic plants from Tibet: An extraordinary decade of discovery, understanding and implications //Science China Earth Sciences. – 2023. – Т. 66. – №. 2. – С. 205-226. DOI: 10.1007/s11430-022-9980-9
21. Ежегодный отчет ОЭСР за 2000 год , Издательство ОЭСР, Париж, – 2000. <https://doi.org/10.1787/annrep-2000-en>
22. Liang X. Q. et al. Fossil leaves of *Populus* from the middle Miocene of Yunnan, SW China //Journal of Systematics and Evolution. – 2016. – Т. 54. – №. 3. – С. 264-271. DOI: 10.1111/jse.12193
23. Ma T. et al. Ancient polymorphisms and divergence hitchhiking contribute to genomic islands of divergence within a poplar species complex //Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2018. – Т. 115. – №. 2. – С. E236-E243. DOI: 10.1073/pnas.1713288114
24. Буданцев Л. Ю. Раннепалеогеновая флора Западной Камчатки. – Наука, 2006.
25. Du S. et al. Molecular phylogeny of *Populus* (Salicaceae, Salicales) with focus on inter-and intrasectional relationships // Dendrobiology. – 2022. – Т. 88. DOI: 10.12657/denbio.088.004
26. Ильинская И.А. Новые ископаемые виды *Populus* и *Ampelopsis* из Зайсанской впадины // – 1976. – Бот.жс. 61. 11. – С. 1580-1581
27. Smith R. L., Sytsma K. J. Evolution of *Populus nigra* (sect. Aigeiros): introgressive hybridization and the chloroplast contribution of *Populus alba* (sect. *Populus*) //American journal of botany. – 1990. – Т. 77. – №. 9. – С. 1176-1187
28. Shuang-Xing G. et al. The composition of the middle Miocene (15 Ma) Namling paleoflora, South Central Tibet, in the context of other Tibetan and Himalayan Floras //Review of Palaeobotany and Palynology. – 2019. – Т. 271. – С. 104088. DOI: 10.1016/j.revpalbo.2019.06.011
29. González R. E. M. Taxonomía y biogeografía del género *Populus* (Salicaceae) en México. – UDG, 2005
30. Reuschel C., Walther H. Studien über oligozäne *Populus* □ Arten aus der Weißelstersenke südlich von Leipzig, Sachsen (Deutschland) //Feddes Repertorium: Zeitschrift für botanische Taxonomie und Geobotanik. – 2006. – Т. 117. – №. 1-2. – С. 1-33. DOI: 10.1002/fedr.200511082

31. Borkhert E. V. et al. Sex-determining region complements traditionally used in phylogenetic studies nuclear and chloroplast sequences in investigation of *Aigeiros* Duby and *Tacamahaca* Spach poplars (genus *Populus* L., *Salicaceae*) // *Frontiers in Plant Science*. – 2023. – T. 14. – C. 1204899. DOI: 10.3389/fpls.2023.1204899
32. Hamzeh M., Dayanandan S. Phylogeny of *Populus* (*Salicaceae*) based on nucleotide sequences of chloroplast TRNT-TRNF region and nuclear rDNA // *American journal of botany*. – 2004. – T. 91. – №. 9. – C. 1398-1408. DOI: 10.3732/ajb.91.9.1398
33. Wang Z. et al. Phylogeny reconstruction and hybrid analysis of *Populus* (*Salicaceae*) based on nucleotide sequences of multiple single-copy nuclear genes and plastid fragments // *PloS one*. – 2014. – T. 9. – №. 8. – C. e103645. DOI: 10.1371/journal.pone.0103645
34. Благовидов В.В. Неогеновые соленосные форматы Средней и Центральной Азии Новосибирск, 1978
35. Manchester S. R., Dilcher D. L., Tidwell W. D. Interconnected reproductive and vegetative remains of *Populus* (*Salicaceae*) from the middle Eocene Green River Formation, northeastern Utah // *American journal of botany*. – 1986. – T. 73. – №. 1. – C. 156-160
36. Wang M. et al. Phylogenomics of the genus *Populus* reveals extensive interspecific gene flow and balancing selection // *New Phytologist*. – 2020. – T. 225. – №. 3. – C. 1370-1382. DOI: 10.1111/nph.16215
37. Паутов А. А., Яковлева О. В., Гордиенко Ю. В. О сходстве строения эпидермы листа представителей семейств *Flacourtiaceae* и *Salicaceae* // *Ботанический журнал*. – 2003. – Т. 88. – №. 2. – С. 84-87
38. Denk T. et al. Late Oligocene leaf and pollen flora of Southwestern Siberia: taxonomy, biogeography and palaeoenvironments // *Historical Biology*. – 2021. – T. 33. – №. 11. – C. 2951-2976. DOI: 10.1080/08912963.2020.1839064

References

1. Bakulin V. T. (2005) Ispolzovanie topolya v ozelenenii promishlennih gorodov Sibiri kratkii analiz problemi [Use of poplar in landscaping of industrial cities of Siberia: a brief analysis of the problem] // *Siberian Ecological Journal*, vol. 12, no. 4, pp. 563-571
2. Blagovidov V.V.(1978) Neogenovye solenosnye formatsii Sredney i Tsentralnoy Azii [Neogene salt-bearing formations of Central Asia]. *Novosibirsk*
3. Borkhert E.V., Pushkova E.N., Nasimovich Y.A. et al.(2023) Sex-determining region complements traditionally used in phylogenetic studies nuclear and chloroplast sequences in investigation of *Aigeiros* Duby and *Tacamahaca* Spach poplars (genus *Populus* L., *Salicaceae*). *Plant Systematics and Evolution*, vol. 14. DOI: 10.3389/fpls.2023.1204899
4. Budantsev, L. Y. (2006). Early Paleogene flora of western Kamchatka. *Proceedings of the Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences*, vol. 22, pp. 1-160
5. Cervera, M. T., Storme, V., Soto, A., Ivens, B., Van Montagu, M., Rajora, O. P., & Boerjan, W. (2005) Intraspecific and interspecific genetic and phylogenetic relationships in the genus *Populus* based on AFLP markers. *Theoretical and Applied Genetics*, vol. 111, pp. 1440-1456. DOI: 10.1007/s00122-005- 0076-2
6. Cherepanov S.K. (1973) Svod dopolnenii i izmenenii k" Flore SSSR" [Collection of additions and changes to the "Flora of the USSR":], vols. 1-30, Alexander Doweld
7. Denk, T., Bouchal, J. M., Smirnov, P., & Trubin, Y. (2021) Late Oligocene leaf and pollen flora of Southwestern Siberia: taxonomy, biogeography and palaeoenvironments. *Historical Biology*, vol. 33, no. 11, pp. 2951-2976. DOI: 10.1080/08912963.2020.1839064
8. Du, S., Hu, X., Yang, Y., & Wang, Z. (2022) Molecular phylogeny of *Populus* (*Salicaceae*, *Salicales*) with focus on inter- and intrasectional relationships. *Dendrobiology*, vol. 88. DOI: 10.12657/denbio.088.004
9. Shuang-Xing, G., Spicer, R. A., Widdowson, M., Herman, A. B., & Domogatskaya, K. V. (2019) The composition of the middle Miocene (15 Ma) Namling paleoflora, South Central Tibet, in the context of other Tibetan and Himalayan Floras. *Review of Palaeobotany and Palynology*, vol. 271, pp. 104088. DOI: 10.1016/j.revpalbo.2019.06.011
10. Hamzeh, M., & Dayanandan, S. (2004) Phylogeny of *Populus* (*Salicaceae*) based on nucleotide sequences of chloroplast TRNT-TRNF region and nuclear rDNA. *American journal of botany*, vol. 91, no. 9, pp. 1398-1408. DOI: 10.3732/ajb.91.9.1398
11. Ilyinskaya I.A.1976. Novie iskopaemie vidi *Populus* i *Ampelopsis* iz Zaisanskoi vpadini [New fossil species of *Populus* and *Ampelopsis* from the Zaisan depression]// *Bot.Zh*, vol. 61, no. 11, pp. 1580-1581
12. Isebrands, J. G., & Richardson, J. (Eds.). (2014) Poplars and willows: trees for society and the environment. CABI
13. Klimov A. V., Proshkin B. V. (2024) Proishozhdenie i evolyuciya roda *Populus* L. semeistvo *Salicaceae* [Origin and evolution of the genus *Populus* L. (family *Salicaceae*)] // *Social and ecological technologies*, vol. 14, no. 2, pp. 205-238
14. Klimov A.V., Proshkin B.V. (2019) Aborigennie topoli flori Kazahstan [Aboriginal poplars of the Republic of Kazakhstan]. *Botanical Studies of Siberia and Kazakhstan*, vol 25, pp. 22–28
15. Komarov V. L. (1934) Topolya SSSR [Poplars of the USSR] // *Botanical journal*
16. Levens, N. D., Tiffin, P., & Olson, M. S. (2012) Pleistocene speciation in the genus *Populus* (*Salicaceae*). *Systematic biology*, vol. 61, no. 3, pp. 401. DOI: 10.1093/sysbio/ syr120
17. Liang, X. Q., Ferguson, D. K., Su, T., & Zhou, Z. K. (2016) Fossil leaves of *Populus* from the middle Miocene of Yunnan, SW China. *Journal of Systematics and Evolution*, vol. 54, no. 3, pp. 264-271. DOI: 10.1111/jse.12193

18. Liu, X., Wang, Z., Wang, W., Huang, Q., Zeng, Y., Jin, Y., ... & Zhang, J. (2022) Origin and evolutionary history of *Populus* (Salicaceae): Further insights based on time divergence and biogeographic analysis. *Frontiers in Plant Science*, vol. 13, pp. 1031087. DOI: 10.3389/fpls.2022.1031087
19. Ma, T., Wang, K., Hu, Q., Xi, Z., Wan, D., Wang, Q., ... & Liu, J. (2018) Ancient polymorphisms and divergence hitchhiking contribute to genomic islands of divergence within a poplar species complex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, no. 2, pp. 236-243. DOI: 10.1073/pnas.1713288114
20. Manchester, S. R., Dilcher, D. L., & Tidwell, W. D. (1986) Interconnected reproductive and vegetative remains of *Populus* (Salicaceae) from the middle Eocene Green River Formation, northeastern Utah. *American journal of botany*, vol. 73, no. 1, pp. 156-160
21. González, R. E. M. (2005) Taxonomía y biogeografía del género *Populus* (Salicaceae) en México. UDG.
22. Nasimovich, Yu. A., Kostina, M. V., & Vasilyeva, N. V. (2019) The concept of species in poplars (genus *Populus* L., Salicaceae) on the example of representatives of the subgenus *Tacamahaca* (Spach) Penjkovsky growing in Russia and adjacent countries. *Social and environmental technologies*, vol. 4, pp. 426-466. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-4-426-466
23. Pautov A.A. (2003) O shodstve stroeniya epidermi lista predstavitelei semeistv Flacourtiaceae i Salicaceae [On the similarity of the structure of the leaf epidermis of representatives of the families Flacourtiaceae and Salicaceae]. *Botanical Journal*, vol. 88, no. 2, pp. 84-87
24. POWO (2024). "Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet; <http://www.plantsoftheworldonline.org/> (Retrieved 10 October 2024.)
25. Reuschel, C., & Walther, H. (2006) Studien über oligozäne *Populus*-Arten aus der Weißelstensenke südlich von Leipzig, Sachsen (Deutschland). *Feddes Repertorium: Zeitschrift für botanische Taxonomie und Geobotanik*, vol. 117, no. 1-2, pp. 1-33. DOI: 10.1002/fedr.200511082
26. Smith, R. L., & Sytsma, K. J. (1990). Evolution of *Populus nigra* (sect. Aigeiros): introgressive hybridization and the chloroplast contribution of *Populus alba* (sect. *Populus*). *American journal of botany*, vol. 77, no 9, pp. 1176-1187
27. Sokolov S. Ya. (2013). Derevyia i kustarniki SSSR [Trees and shrubs of the USSR.] Ripol Classic
28. Takhtadzhyan A. L.(2001) Principia Tectologica. Principi organizacii i transformacii slojnih sistem evolyucionnii podhod [Principia Tectologica. Principles of organization and transformation of complex systems: an evolutionary approach]. 2nd edition. Alexander Doweld
29. Takhtadzhyan A. L.(1966) Sistema i filogeniya cvetkovih rastenii [System and phylogeny of flowering plants]. Alexander Doweld
30. Tsarev A.P. (2019) Biologo_strukturnie osobennosti i paleoproisхождение roda *Populus* L.obzor [Biological and structural features and paleoorigin of the genus *Populus* L. (Review)]. *Lesnoy Vestnik*, vol. 23, no. 2, pp. 121–126. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-2-121-126
31. Wan, X., & Zhang, F. (2013) An overview of *Populus* genetic resources in southwest China. *The Forestry Chronicle*, vol. 89, no. 1, pp. 79-87. DOI: 10.5558/tfc2013-013
32. Wang, M., Zhang, L., Zhang, Z., Li, M., Wang, D., Zhang, X., ... & Ma, T. (2020) Phylogenomics of the genus *Populus* reveals extensive interspecific gene flow and balancing selection. *New Phytologist*, vol. 225, no. 3, pp. 1370-1382
33. Wang, Z., Du, S., Dayanandan, S., Wang, D., Zeng, Y., & Zhang, J. (2014) Phylogeny reconstruction and hybrid analysis of *Populus* (Salicaceae) based on nucleotide sequences of multiple single-copy nuclear genes and plastid fragments. *PloS one*, vol. 9, no. 8, pp. e103645. DOI: 10.1371/journal.pone.0103645
34. Zhang, L., Xi, Z., Wang, M., Guo, X., & Ma, T. (2018) Plastome phylogeny and lineage diversification of Salicaceae with focus on poplars and willows. *Ecology and evolution*, vol. 8, no. 16, pp. 7817-7823. DOI: 10.1002/ece3.4261
35. Zhou, Z., Liu, J., Chen, L., Spicer, R. A., Li, S., Huang, J., ... & Su, T. (2023) Cenozoic plants from Tibet: An extraordinary decade of discovery, understanding and implications. *Science China Earth Sciences*, vol. 66, no. 2, pp. 205-226. DOI: 10.1007/s11430-022-9980-9
36. Zong, D., Gan, P., Zhou, A., Zhang, Y., Zou, X., Duan, A., ... & He, C. (2019) Plastome sequences help to resolve deep-level relationships of *Populus* in the family Salicaceae. *Frontiers in plant science*, vol. 10, no. 5. DOI: 10.3389/fpls.2019.00005
37. Zong, D., Gan, P., Zhou, A., Zhang, Y., Zou, X., Duan, A., ... & He, C. (2019) Plastome sequences help to resolve deep-level relationships of *Populus* in the family Salicaceae. *Frontiers in plant science*, vol. 10, no. 5. DOI: 10.3389/fpls.2019.00005
38. OECD (2000), OECD Annual Report 2000, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/annrep-2000-en>

Information about authors:

Anatoliy Raiymbek Kairatuly – Master of Pedagogical Sciences, PhD doctoral student of the Department of Botany and Agroecology, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: anatoliy_raiymbek@live.kaznu.kz)

Kurmanbayeva Meruyert –(corresponding author) Doctor of Biological Sciences, Dean of the Faculty of Biology and Biotechnology at Al-Farabi Kazakh National University, Professor of the Department of Biodiversity and Bioresources (Almaty, Kazakhstan, e-mail: kurmanbayevakz@gmail.com).

Karabalayeva Dina Ezimkhanovna – Master of Engineering and Technology, Senior Lecturer of the Department of Biology and Agroecology, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: dina.20.1996@mail.ru)

Авторлар туралы мәлімет:

Анатолий Райымбек Қайратұлы – педагогика ғылымдарының магистрі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, ботаника және агроэкология кафедрасының PhD докторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: anatoliy_raiyumbek@live.kaznu.kz)

Курманбаева Меруерт Сакеновна – (корреспондент автор) биология ғылымдарының докторы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті Биология және биотехнология факультетінің деканы, биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының профессоры (Алматы, Қазақстан, e-mail: kurtanbayevakz@gmail.com)

Карабалаева Дина Эзимхановна – техника және технология ғылымдарының магистрі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, биология және агроэкология кафедрасының аға оқытушы (Алматы, Қазақстан, e-mail: dina.20.1996@mail.ru)

Сведения об авторах:

Анатолий Райымбек Қайратұлы – магистр педагогических наук, PhD-докторант кафедры ботаники и агроэкологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: anatoliy_raiyumbek@live.kaznu.kz);

Курманбаева Меруерт Сакеновна (автор-корреспондент) – доктор биологических наук, декан факультета биологии и биотехнологии Казахского национального университета имени аль-Фараби, профессор кафедры биоразнообразия и биоресурсов (Алматы, Казахстан, e-mail: kurtanbayevakz@gmail.com);

Карабалаева Дина Эзимхановна – магистр технических и технологических наук, старший преподаватель кафедры биологии и агроэкологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: dina.20.1996@mail.ru).

Received May 21, 2025
Accepted August 20, 2025

2-бөлім
ЗООЛОГИЯ

Section 2
ZOOLOGY

Раздел 2
ЗООЛОГИЯ

МРНТИ 34.33.02;34.21.19;34.35.51

<https://doi.org/10.26577/bb202510435>И.И. Арифүлова* , М.А. Чирикова 

Институт зоологии КН МНВО РК, Алматы, Казахстан

*e-mail: irina.arifulova@zool.kz

АНОМАЛИИ ОЗЕРНЫХ ЛЯГУШЕК КОМПЛЕКСА *PELOPHYLAX RIDIBUNDUS* ИЗ ВОДОЕМОВ ПРИРОДНОГО ПАРКА «РОЩА БАУМА» НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА АЛМАТЫ

Целью исследования являлось изучение аномалий и изменчивости ряда признаков внешней морфологии головастика, метаморфозных и ювенильных особей озерных лягушек комплекса *Pelophylax ridibundus* из водоемов природного парка «Роща Баума» города Алматы. Было исследовано 165 особей из двух выборок: заболоченного пруда у р. Баскарасу и временного водоема в Большом Алматинском канале. Приведены размерные характеристики исследованных экземпляров. Выявлено, что во второй выборке 2,8% особей обладали аномалиями задних конечностей (эктромелия и таумелия, эктродактилия, гетерохрония). Особи из обеих выборок характеризовались высоким процентом аномалий ротового аппарата личинок: 59,6% головастика из первой выборки и 67,4% – во второй. Отмечены следующие типы отклонений: 1) разрывы зубных рядов; 2) потеря зубчиков; 3) полная или частичная редукция зубных рядов; 4) срастание зубных рядов; 5) искривление и деформация зубных рядов, 6) смещение и изменение направления зубных рядов; 7) деформация рогового клювика. Выявлен высокий процент особей, который имели одновременно 2–4 типа аномалий (74,2% – в первой выборке и 89,7% – во второй). Полученные показатели многократно превысили порог обычной (фоновой) встречаемости аномалий, а также аналогичные показатели у озерных лягушек из природных водоемов юго-востока Казахстана, что дает основание отнести их к разряду массовых. В статье обсуждаются возможные причины высокой частоты встречаемости аномалий ротового аппарата. Как один из основных факторов рассматривается химическое и биологическое загрязнение водоемов. В целом, для гибридной популяции озерных лягушек *P. ridibundus* из водоемов с антропогенной нагрузкой данные по изменчивости признаков внешней морфологии головастика, метаморфозных и ювенильных особей получены впервые.

Ключевые слова: урбоценозы, аномалии задних конечностей, аномалии ротовых аппаратов, озерная лягушка, комплекс *Pelophylax ridibundus*.

I.I. Arifulova*, M.A. Chirikova

Institute of Zoology CS MSHE RK, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: irina.arifulova@zool.kz

Anomalies of marsh frogs of *Pelophylax ridibundus* complex from water reservoirs of the natural park “Baum’s Grove” on the territory of the Almaty city

The aim of the study was to investigate anomalies and variability of a number of traits of external morphology of tadpoles, metamorphosed and juvenile individuals of marsh frogs of *Pelophylax ridibundus* complex from water reservoirs of the natural park “Baum’s Grove” of Almaty city. A total of 165 individuals from two samples were studied: a waterlogged pond near Baskarasu River and a temporary reservoir in the Big Almaty Canal. The size characteristics of the studied specimens are given. It is revealed that in the second sample 2.8% of individuals had anomalies of hind limbs (ectromelia and taumelia, ectrodactyly, heterochrony). Individuals from both samples were characterized by a high percentage of larval mouthparts anomalies: 59.6% of tadpoles from the first sample and 67.4% in the second. The following types of abnormalities were noted: 1) ruptures of the dentition 2) loss of teeth; 3) complete or partial reduction of the dentition; 4) accretion of the dentition; 5) curvature and deformation of the dentition, 6) displacement and change of direction of the dentition; 7) deformation of the horny beak. A high percentage of individuals with 2–4 types of anomalies concurrently (74.2% in the first sample and 89.7% in the second sample) was found.

The obtained indicators repeatedly exceeded the threshold of the usual (background) occurrence of anomalies, as well as similar indicators for lake frogs from natural reservoirs in the south-east of Kazakh-

stan, which gives reason to classify them as massive. The article discusses possible reasons for the high frequency of occurrence of anomalies of the oral apparatus. As one of the main factors is considered the chemical and biological pollution of water reservoirs. In general, for a hybrid population of Marsh frogs, *P. ridibundus* from water reservoirs with anthropogenic load, data on the variability of signs of the external morphology of tadpoles, metamorphosed and juvenile individuals were obtained for the first time.

Keywords: urbocenoses, anomalies of hind limbs, mouthparts anomalies, marsh frog, *Pelophylax ridibundus* complex.

И.И. Арифұлова*, М.А. Чирикова

ҚР ҒЖБМ ҒК «Зоология институты», Алматы, Қазақстан

*e-mail: irina.arifulova@zool.kz

**Алматы қаласының аумағындағы “Баум Тоғайы” табиғи паркінің
су айдындарынан *Pelophylax ridibundus* кешенінің
көл бақаларының аномалиялары**

Зерттеудің мақсаты Алматы қаласының «Баум тоғайы» табиғи паркінің су айдындарынан *Pelophylax ridibundus* кешенінің бақашабактың сыртқы морфологиясының, метаморфозды және балаусадарақтардың бірқатар белгілерінің аномалиясы мен өзгергіштігін зерттеу болды. Екі таңдамадан 165 дарақтар зерттелді: Басқарасу өзенінің жанындағы батпақты тоған және Үлкен Алматы каналындағы уақытша су қоймасы. Зерттелген таңдамалардың өлшемдік сипаттамалары келтірілген. Екінші таңдамада дарақтардың 2.8% артқы аяқтарының аномалиясы (эктромелия және таумелия, эктродактилия, гетерохрония) болғандығы анықталды. Екі таңдамадағы дарақтар личинкалардың ауыз қуысының аномалиясының жоғары пайыздылығымен сипатталды: бірінші таңдамадағы бақашабактардың 59.6% және екіншісінде – 67.4%. Ауытқулардың келесі түрлері атап өтілді: 1) тіс қатарларының ажырауы 2) тістердің түсуі; 3) тіс қатарларының толық немесе ішінара кемуі; 4) тіс қатарларының бітісуі; 5) тіс қатарларының қисаюуы және деформациясы, 6) тіс қатарының ығысуы және бағытының өзгеруі; 7) мүйізтұмсықты деформациясы.

Алынған көрсеткіштер аномалияның әдеттегі (фондық) пайда болу шегінен, сондай-ақ Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы табиғи су айдындарынан көл бақалары үшін ұқсас көрсеткіштерден бірнеше есе асып түсті, бұл оларды жаппай санатқа жатқызуға негіз береді. Мақалада ауыз қуысының ауытқуларының жоғары жиілігінің ықтимал себептері талқыланады. Негізгі факторлардың бірі ретінде су объектілерінің химиялық және биологиялық ластану қарастырылады. Тұтастай алғанда, көл бақаларының гибриді популяциясы үшін *P. ridibundus* антропогендік жүктемесі бар су қоймаларынан бақашабактардың, метаморфозды және балаусадарақтардың сыртқы морфологиясы белгілерінің өзгергіштігі туралы мәліметтер алғаш рет алынды.

Түйін сөздер: урбозеноздар, артқы аяқтардың аномалиялары, ауыз аппаратының аномалиялары, көл бақасы, *Pelophylax ridibundus* кешені.

Введение

Отклонения от нормального развития организма всегда представляли собой интерес для исследователей. Эмбриональное и личиночное развитие амфибий проходит в водной среде, поэтому факторы, потенциально влияющие на формирование аномалий, достаточно многочисленны, разнообразны и не изучены до конца, их перечень продолжает увеличиваться [1-4]. Озёрная лягушка (*Pelophylax ridibundus* Pall., 1971) считается удобным объектом для проведения фундаментальных и прикладных исследований, и одним из наиболее высокоинформативных биоиндикаторов экологического состояния водоемов, подвергающихся антропогенной нагрузке, в том числе урбанизированных территорий [5-10]. В неблагоприятных экологических усло-

виях у озерных лягушек регистрируется обширный спектр морфологических аномалий [2, 4, 11-15]. Вместе с тем, следует отметить, что лишь немногие исследователи уделяли внимание вариабельности морфологии ротовых аппаратов личинок озерных лягушек [16-18], а причины их формирования до сих пор остаются слабо изученными.

На территории Казахстана последние исследования, посвященные аномалиям земноводных, проводились в середине прошлого столетия [19-21], и лишь в последние годы стало уделяться внимание изменчивости и аномалиям личиночных ротовых аппаратов озерной лягушки [22-24]. В результате этих исследований было сделано предположение об увеличении процента аномалий личиночных ротовых аппаратов под влиянием антропогенных факторов.

Однако для окончательных выводов требовались дополнительные исследования в популяциях достоверно подверженных воздействию человека.

В рамках данной работы нами были проанализированы морфологические аномалии, в том числе аномалии личиночных ротовых аппаратов лягушек, обитающих в водоемах природного парка «Роща Баума», расположенного в городе Алматы. Роща Баума – государственный памятник природы, уникальный природный комплекс, однако его территория подвержена значительной рекреационной нагрузке, воздействию от близлежащих крупных транспортных артерий и частного сектора. Также ранее была выявлена высокая степень загрязнения органическими и биогенными веществами, а также тяжелыми металлами р. Баскарасу, протекающей через рощу Баума [25-26].

Следует отметить, что согласно последним данным молекулярно-генетического исследования, в роще Баума обитают представители двух генетических линий комплекса *P. ridibundus*: *P. cf. bedriaga* (анатолийская лягушка) и лягушки формы «Балхаш» [27]. В свете этого также интересно оценить уровень аномалий в гибридной популяции. Данное исследование является первым шагом в оценке уровня аномалий у данной группы амфибий в связи с воздействием сразу двух возможных факторов – антропогенное воздействие (городская среда) и гибридизация. Поскольку идентификация разных форм озерных лягушек по внешнеморфологическим признакам в настоящее время не разработана, мы рассматриваем данную выборку как представителей комплекса *P. ridibundus*.

Целью данной работы стало изучение внешней морфологической изменчивости головастики, метаморфозных и ювенильных особей озерных лягушек комплекса *P. ridibundus* из водоемов природного парка «Роща Баума» города Алматы и выявление аномалий признаков.

Материалы и методы исследования

Сбор особей проводился в природном парке «Роща Баума» с июля по август 2021 г. из двух водоемов: небольшого заболоченного пруда вблизи р. Баскарасу (56 головастика) и временных водоемов на территории *Большого Алматинского канала им. Д.А. Кунаева (далее БАК)* (77 головастика и 32 метаморфозных и ювенильных особи).

Заболоченный пруд (выборка 1) расположен в средней части рощи Баума вблизи р. Баскарасу (Рисунок 1а). *Прибрежная и водная растительность водоема многообразна: Typha sp., Humulus sp., Carex sp., Lycopodium sp., Taraxacum sp., Urtica sp., Lemna sp.* По всей территории пруда в воде и на берегу нами было обнаружено большое количество бытового мусора (бутылки и банки из-под напитков, детские подгузники, бумажный и полиэтиленовый мусор, экскременты животных).

Временные водоемы (выборка 2) формируются дождевыми и талыми водами в весенний период на территории БАКа (Рисунок 1б), заполнение водой которого уже несколько лет не производится. Обширные разливы глубиной до 40 см служат местом для размножения озерной лягушки. Вода в таких водоемах хорошо прогревается, а наносной ил, покрывающий бетонное дно канала, является достаточным для развития типичной в подобных биотопах растительности (различных видов осоковых и злаковых) и хорошей кормовой базой для головастика. К осени временные водоемы, как правило, пересыхают, весной заполняясь заново. Территория канала довольно чистая, мусор присутствует, но его немного. Однако в ходе мониторингового обследования территории, проводимого весной 2022 года, нами был зафиксирован факт слива в БАК воды с частной автомойки.

Собранный материал фиксировали в 10%-ном растворе формалина. Для описания внешней морфологии и стадирования личинок использовали бинокляр «Микромед – МС1». Стадии развития головастика определяли по схеме Е.Н. Гниденко [28]. Специальное внимание мы уделяли описанию морфологии конечностей и ротовых аппаратов. При идентификации аномалий конечностей опирались на классификацию В.Л. Вершинина [3]. Под аномалиями (или отклонениями) в строении ротового аппарата понимали любые отклонения от ротового аппарата, описанного в таблице нормального развития [28] на соответствующей стадии. Встречаемость особей с отклонениями рассчитывали по формуле $P_{as} = N_{as} / N * 100\%$, где P_{as} – встречаемость аномальных особей, N_{as} – количество аномальных особей, N – общее количество особей [29].

Измерение размеров головастика проводилось электронным штангенциркулем с погрешностью 0.1 мм. Далее по тексту используются следующие обозначения: L – длина тела, Lcd – длина хвоста, TL – общая длина.



а



б

Рисунок 1 – Места сбора озерной лягушки в роше Баума (г. Алматы):

а) заболоченный пруд в центральной части роши Баума;

б) временный водоем на территории БАКа им. Д.А. Кунаева

Статистические расчеты проведены в программе Statistica 10.0. Критическое значение уровня статистической значимости при проверке нулевых гипотез принималось равным 0,05. Дескриптивные статистики в тексте представлены как $M \pm m$, где M – среднее, а m – ошибка среднего.

Результаты исследования

На территории заболоченного пруда озерные лягушки были весьма многочисленны. Их плотность составила 3–5 взрослых особей на

10 м², а на отдельных участках – до 15 особей на 10 м². Во временных водоемах на территории БАКа было зарегистрировано большое количество головастика, а позднее и метаморфозных особей. Взрослые лягушки встречались единично. Отсутствие естественных укрытий и малая глубина воды делают их легкодоступной добычей для бродячих животных и хищных птиц, поэтому численность взрослых особей минимальна.

В таблице 1 приведены размерные характеристики головастика из выборок 1 и 2 в соответствии со стадиями развития.

Таблица 1 – Размерные характеристики головастика и ювенильных особей из водоемов роши Баума

Стадия развития	Выборка 1 56 экз.				Выборка 2 109 экз.			
	Кол-во (экз.)	L (мм)	Lcd (мм)	TL (мм)	Кол-во (экз.)	L (мм)	Lcd (мм)	TL (мм)
35	–	–	–	–	1	18.1	22.7	40.8
36	4	14.8–17.2 15.9±0.65	14.9–19.0 17.2±0.87	29.6–36.2 33.1±1.44	1	20.7	24.6	45.3
37	9	15.3–18.3 17.1±0.36	19.8–23.4 23.4±0.97	35.3–44.7 40.6±1.30	2	17.9–18.0 17.9	23.0–24.9 24.0	41.0–42.8 41.9
38	7	17.7–22.2 19.8±0.62	19.5–36.4 26.6±2.16	37.2–58.6 46.5±2.77	1	20.0	23.9	43.9
39	13	18.5–23.9 21.6±0.43	25.1–36.8 30.9±1.09	44.4–60.7 52.4±1.39	3	18.3–20.8 19.3±0.76	20.2–25.9 23.2±1.66	41.0–44.2 42.4±0.94

Continuation of the table

Стадия развития	Выборка 1 56 экз.				Выборка 2 109 экз.			
	Кол-во (экз.)	L (мм)	Lcd (мм)	TL (мм)	Кол-во (экз.)	L (мм)	Lcd (мм)	TL (мм)
40	13	21.7–25.6 23.6±0.33	32.3–43.7 37.0±0.95	55.1–67.1 60.6±1.12	20	17.6–22.8 20.5±0.31	22.7–29.6 25.7±0.38	40.7–52.4 46.3±0.65
41	6	23.4–24.5 23.9±0.17	37.8–51.5 41.7±2.13	61.3–67.0 63.9±0.87	13	18.6–23.8 20.9±0.39	22.9–29.7 26.5±0.51	42.6–53.5 47.4±0.76
42	1	20.6	36.6	57.2	2	21.3–21.7 21.5	25.2–27.7 26.5	46.9–49.0 47.9
43	2	23.0–24.3 23.7	40.4	63.4	1	20.65	–	–
44	1	22.4	24.3	46.7	33	–	–	–
46	–	–	–	–	32	–	33	–
juv	–	–	–	–	1	–	32	–

Размерные показатели особей из выборки 2 до 39 стадии оказались несколько выше, чем в выборке 1, на 39 стадии они выравниваются, а уже на более поздних стадиях наоборот становятся ниже.

Анализ внешнеморфологических признаков головастика из выборки 2 выявил три случая аномалий задних конечностей. У одного головастика и двух ювенильных особей озерной лягушки (из 109 особей) были зарегистрированы: 1) эктромелия (укорочение голени и стопы) и таумелия (сильное нарушение плана строения

стопы) левой задней конечности у сеголетка (Рисунок 2); 2) эктродактилия – отсутствие трех фаланг четвертого пальца на левой задней конечности у сеголетка (Рисунок 3); 3) гетерохрония – рассинхронизация в развитии задних конечностей у головастика на стадии развития 40: правая конечность имела контуры 3-х пальцев (стадия 36), а левая конечность соответствовала стадии 40 (Рисунок 4). Таким образом, всего 2.8% особей выборки 2 имели аномалии задних конечностей. В выборке 1 аномалии задних конечностей выявлены не были.



Рисунок 2 – Эктромелия и таумелия задней конечности у сеголетка озерной лягушки (слева – вид со стороны брюха; справа – вид со стороны спины)

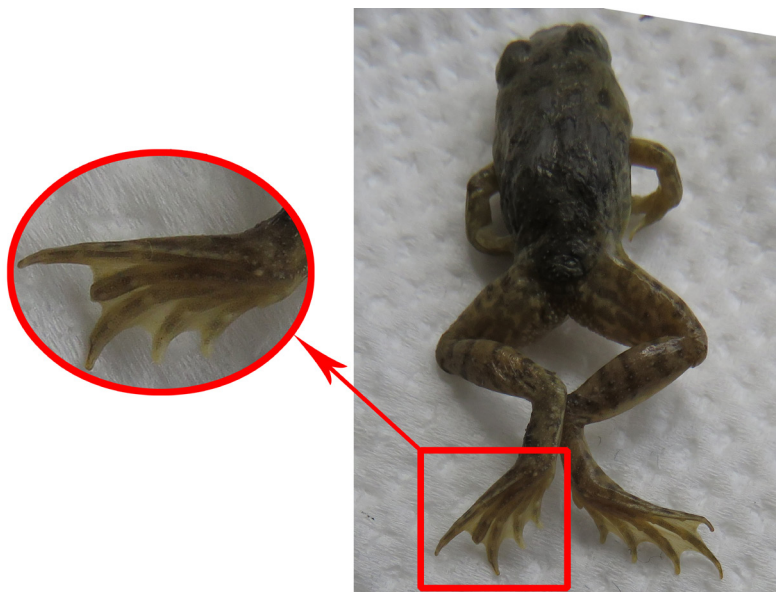


Рисунок 3 – Эктродактилия у сеголетка озерной лягушки



Рисунок 4 – Гетерохрония в формировании задних конечностей у головастика озерной лягушки

Анализ морфологии ротовых аппаратов головастика в обеих выборках показал высокий процент отклонений от нормы. В выборке 1 из 52 головастика, имеющих сформированный личиночный ротовой аппарат, у 31 особи (59.6%) обнаружены аномалии данной структуры. Всего было описано 66 аномальных признаков ротового аппарата (Рисунок 5), которые были разделены нами на пять типов отклонений от нормального строения: 1) разрывы зубных рядов (17

случаев – 25.8%); 2) потеря зубчиков (4 случая – 6.1%); 3) полная или частичная редукция зубных рядов (18 случаев – 27.7%); 4) срастание зубных рядов (2 случая – 3.0%); 5) искривление и деформация зубных рядов (25 случаев – 37.9%). При этом у 23 особей (74.2%) наблюдалось от двух до четырех различных аномалий на одну особь.

В выборке 2 из 43 головастика, имеющих сформированный личиночный ротовой аппарат, у 29 (67,4%) особей были обнаружены анома-

лии. Всего было описано 72 аномальных признака ротового аппарата (Рисунок 6), которые были подразделены на пять типов: 1) разрывы зубных рядов (18 случаев – 25.0%); 2) полная или частичная редукция зубных рядов (25 случаев – 34.7%); 3) срастание зубных рядов (6 случаев – 8.3%); 4) искривление и деформация зубных рядов (18 случаев – 25.0%); 5) смещение и изменение направления зубных рядов – (4 случая – 5.6%); 6) деформация рогового клювика (1 случай – 1.4%). У 26 экземпляров (89.7%) наблюда-

лось от двух до шести различных аномалий на одну особь.

Мы допускаем, что формирование аномалий, выраженных в разрывах и частичной потере зубчиков, может быть результатом механических повреждений или травм. Однако такие аномалии, как частичная или полная редукция, искривление и деформация, срастание зубных рядов следует относить к уродствам. К таким было отнесено 45 аномалий из 66-ти (68.2%) из выборки 1 и 54 (75%) из 72-х из выборки 2.

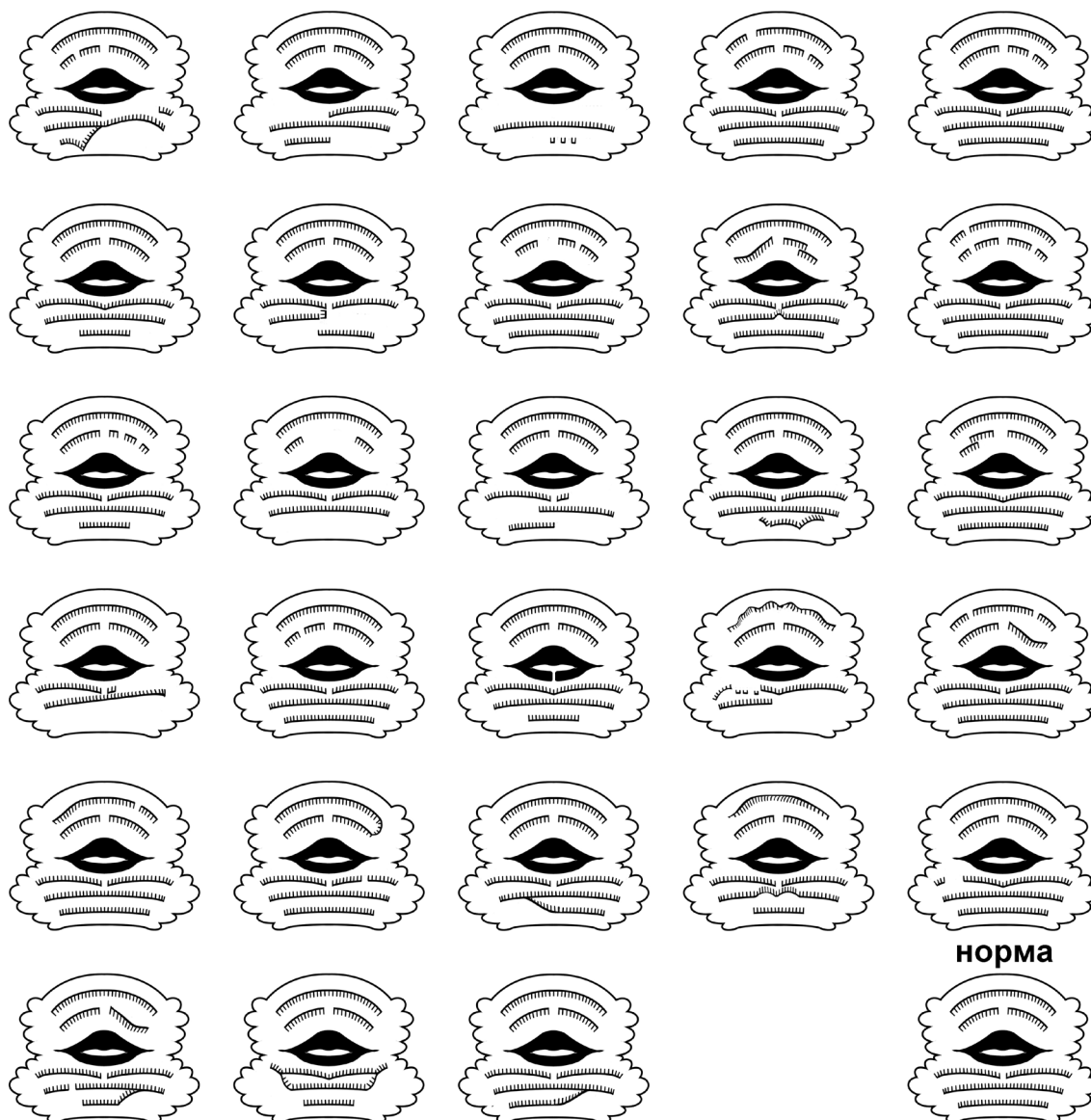


Рисунок 5 – Аномалии в строении ротового аппарата головастика озерной лягушки из выборки 1

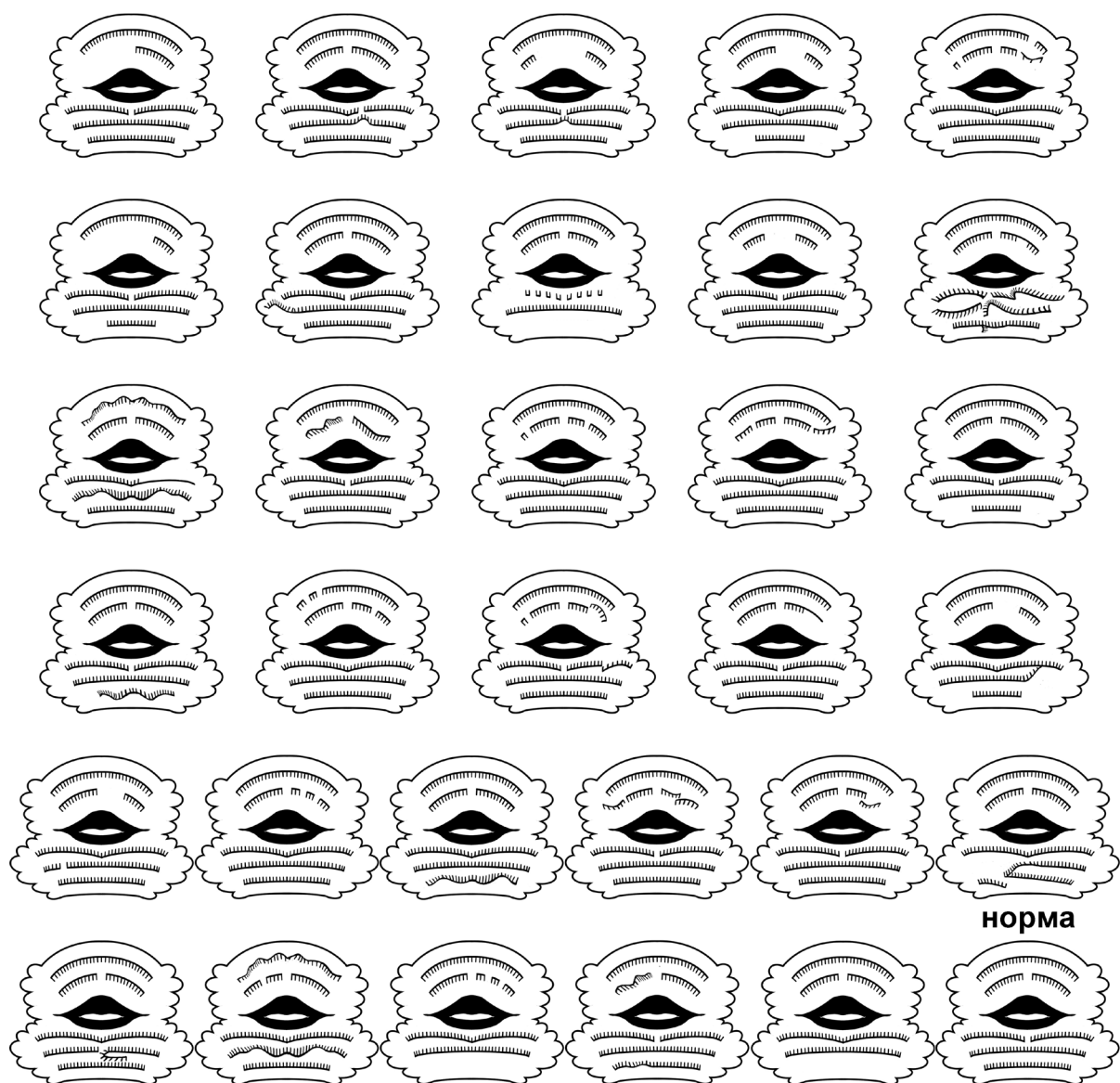


Рисунок 6 – Аномалии в строении ротового аппарата головастика озерной лягушки из выборки 2

Обсуждение

Анализируя внешнюю морфологическую изменчивость, прежде всего, следует отметить, что размерные характеристики головастика и сеголетков из исследованных выборок отличались от приводимых в литературе. Сравнение материалов настоящего исследования, полевых сборов прошлых лет и литературных данных по юго-востоку Казахстана [22, 28] в настоящее время осложнено генетически неоднородной структурой популяций озерной лягушки на этой

территории [27]. Однако мы все же отметим, что на аналогичных стадиях развития головастики из рощи Баума были значительно мельче головастики из пос. Бурундай (Алматинская обл.) (на стадии 40 значения L варьировались в пределах 41-46 мм) [16] и крупнее головастики из Южного Прибалхашья (на стадии 40 значения L в пяти выборках варьировались в пределах 16.16-20.0 мм) [22].

Выявленные в рамках настоящего исследования аномалии задних конечностей у головастика и сеголеток озерных лягушек представ-

ляют собой особый интерес. Последние данные об аномалиях задних конечностей у амфибий на территории Казахстана были опубликованы А.А. Войткевичем для сеголеток озерной лягушки из прудов пригорода г. Алма-Ата (ныне территория г. Алматы) более 60 лет назад [19-21]. Аномалии были представлены, главным образом, различными вариантами дубликации конечностей или их частей. После этих работ сообщений об аномалиях конечностей амфибий с территории Казахстана длительное время не поступало. В 2022 г. были зарегистрированы эктромалия, таумелия и амелия задних конечностей у сеголеток центральноазиатской лягушки *Rana asiatica* из временного водоема у г. Кеген (Юго-Восточный Казахстан) [30]. Процент аномальных особей в выборке был достаточно высоким – 30%, что свидетельствовало о массовости аномалий, согласно градации Л.Я. Боркина с коллегами [29]. Нами был отмечен ряд сходных аномалий конечностей у 2.8% головастиков и сеголеток озерной лягушки *P. ridibundus* из водоемов рощи Баума. Однако количество аномальных особей не превышало фоновый порог (5%) [29].

Причиной формирования аномалий различных структур у амфибий считают антропогенные и природные факторы: мутации, вирусные агенты, температурные воздействия, гибридизация, аномальные регенерации, загрязнение среды, болезни и паразиты, экологические особенности вида [2, 31-34]. В частности, на формирование различных аномалий конечностей могут оказывать влияние трематодные инвазии. Экспериментально доказано, что цисты, образованные метацеркариями трематод могут приводить к амелии, брахидактилии, эктродактилии, эктромалии и ряду других аномалий конечностей, а также аномалиям осевого скелета [2, 4, 35-36]. Однако следует отметить, что в ряде случаев у особей с аномалиями задних конечностей [37] и осевого скелета [2] цисты трематод не были обнаружены. Мы не исключаем, что формирование аномалий задних конечностей у головастиков и сеголетков озерной лягушки из водоемов рощи Баума может быть вызвано трематодными инвазиями, однако процент особей с аномалиями находится в пределах нормы, т.е. является фоновым.

Несколько другая ситуация складывается с ротовым аппаратом личинок. Морфологическая структура личиночного ротового аппарата озерной лягушки – признак достаточно вариативный и пластичный. В ходе метаморфоза он

претерпевает кардинальные изменения, однако является весьма важным органом для питания и, соответственно, для роста и развития головастика со стадии 30 (начало формирования ротового аппарата) до стадии 40 (предметаморфоз) согласно схеме нормального развития вида [28]. Выявленный нами процент особей с аномалиями ротового аппарата в выборках из г. Алматы многократно превышает порог обычной (фоновой) встречаемости аномалий [29] и выше всех показателей, полученных нами ранее для других локалитетов юго-востока Казахстана [22]. Причины формирования аномалий могут быть различными. Наиболее вероятной, на наш взгляд, может являться антропогенный фактор. Так, С.М. Романовой [25-26] была установлена высокая степень загрязнения р. Баскарасу (ранее р. Мойка), которая питает заболоченный пруд (выборка 1), органическими и биогенными веществами, а также тяжелыми металлами. В последние годы экологическая ситуация в природном парке не улучшилась: сброс канализационных вод из частного сектора, загрязнение бытовыми и биологическими отходами, обилие бродячих собак и кошек, выпас скота – факторы, которые оказывают постоянную и серьезную нагрузку на среду обитания. Отмеченный более высокий процент особей с аномалиями в выборке 2 может быть связан с еще более худшим состоянием мест обитания, поскольку в непосредственной близости находится крупная автомобильная развязка с высоким трафиком, влияющим на качество воды и воздуха. Пыль и различные технические загрязнители наносятся ветром и накапливаются в течение многих лет. Водный слой, необходимый для жизнедеятельности лягушек формируется, главным образом, за счет осадков (дождь и талый снег), которые также содержат большое количество антропогенных загрязнителей.

Другим фактором, который может влиять на формирование аномалий личиночных ротовых аппаратов, в последние годы считают хитридиевые грибы. С начала двухтысячных годов ведутся исследования, и разрабатывается теория о влиянии грибка *Batrachochytrium dendrobatidis* (патогенный грибок, вызывающий высоколетальное заболевание хитридиомикоз у земноводных) на формирование аномалий ротового аппарата головастиков амфибий. Согласно мнению ряда авторов [38-40] хитридиевые грибы могут вызывать истончение и разрушение ротовых структур ротового диска. Однако, на наш взгляд, в данном вопросе нет однозначного

мнения. Исследование А. Наварро-Лозано с коллегами [41] на личинках бесхвостых амфибий шести видов показало, что не все головастики, имевшие деформации ротовой полости, были инфицированы *Batrachochytrium dendrobatidis*. Исходя из этих результатов, можно полагать, что есть и другие факторы, влияющие на формирование подобных морфологических нарушений. Мы не проводили анализ на *Batrachochytrium dendrobatidis*, поэтому не можем дать заключение о наличии или отсутствии этого грибка у исследованных нами особей. Однако считаем, что степень участия хитридиевых грибов в формировании данных аномалий остается спорной и требует дальнейшего изучения.

Еще одним фактором, влияющим на формирование аномалий признаков внешней морфологии, может являться гибридизация [33], имеющая место и в исследованных нами выборках, поскольку на данный момент в роще Баума достоверно подтверждена генетическая неоднородность озерных лягушек *P. ridibundus* [27]. Ряд исследователей приводит высокий процент аномалий и высокую степень вариабельности по ряду признаков, таких как длина хвоста, форма тела и другие параметры, в гибридных популяциях отдельных видов амфибий [42, 43]. Согласно данным О.Д. Некрасовой, в популяции лягушек комплекса *Rana esculenta* среди гибридных особей был зарегистрирован более высокий процент аномалий [44]. Ф.Ф. Куртык [45, 46] утверждает, что межвидовая гибридизация амфибий в природных условиях приводит к образованию у потомства сравнительно большего числа аномалий развития. Также автор отмечает, что гибридные особи по сравнению с родительскими формами сравнительно чаще подвержены аномалиям развития, связанным с условиями среды, и могут быть использованы в качестве индикаторных в большей степени, нежели негибридные популяции. Исследование аномалий внешне морфологических признаков в гибридной популяции *Pelophylax kl. esculenta* из Закарпатья показало наличие аномалий более чем у 60% особей [46].

Таким образом, по нашему мнению, на высокую степень вариабельность ротовых аппаратов в исследованных выборках наиболее вероятно могли оказать влияние два фактора: антропо-

генное загрязнение водоемов и генетическая неоднородность популяции. Основываясь на литературных данных [33, 45-46], предполагаем, что гибридизация могла усилить восприимчивость организма амфибий к антропогенному воздействию, в результате чего количество особей с аномалиями значительно превысило показатели, регистрируемые ранее для других регионов Юго-Восточного Казахстана [23-24].

Заключение

В ходе исследования головастиков, метаморфозных и ювенильных особей озерных лягушек комплекса *P. ridibundus* из водоемов природного парка «Роща Баума» г. Алматы нами был зарегистрирован фоновый уровень аномалий (2.8%) задних конечностей в одной из двух изученных выборок. В то же время встречаемость аномалий ротовых аппаратов многократно превышала фоновый порог (5%), составляя 59.6% и 67.4% в каждой выборке соответственно. Это определяет необходимость дальнейшего изучения данного признака, комплекса факторов, влияющих на формирование аномалий и отработки шкалы аномалий. На данном этапе исследования мы придерживаемся точки зрения, что одним из основных факторов, повлиявшего на формирование высокого процента аномалий ротовых аппаратов, является высокий уровень химического и биологического загрязнения исследованных водоемов, и, вероятно, гибридизация между разными генетическими линиями.

Благодарности. Авторы признательны ведущему научному сотруднику Института зоологии (Алматы, Казахстан) Татьяне Николаевне Дуйсебаевой за помощь в обсуждении спорных вопросов и Файше Нұрпеисқызы за помощь в сборе материала.

Источник финансирования. Работа поддержана Министерством науки и высшего образования в рамках программы BR21882199 «Кадастр диких животных аридных территорий Балхаш-Алакольского бассейна с оценкой угроз для их сохранения и устойчивого использования», а также государственным региональным природным парком «Медеу».

Литература

1. Неустроева Н.С., Вершинин В.Л. Скелетные отклонения сеголеток бесхвостых амфибий в условиях урбанизации // Вестник ОГУ. Биологические науки. – 2011. – Т. 123. – №4. – С. 85-90.
2. Неустроева Н.С. Морфологическая изменчивость скелета представителей рода *Rana* в условиях антропогенной дестабилизации среды: Автореф. дис. канд. биол. наук. – Казань. – 2012.
3. Вершинин В.Л. Основы методологии и методы исследования аномалий и патологий амфибий. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета. – 2015.
4. Свинин А.О., Ермаков О.А., Литвинчук С.Н., Башинский И.В. Синдром аномалии Р у зеленых лягушек: история открытия, морфологические особенности и возможные причины возникновения // Труды Зоологического института РАН. – 2020. – Т. 324. – №1. – С. 108-123. <https://doi.org/10.31610/trudyzin/2020.324.1.108>
5. Freda J., Dunson W.A. The influence of external cation concentration on the hatching of amphibian embryos in water of low pH // Can. J. Zool., 1985. – V. 63. – №11. – P. 2649-2656.
6. Pierce A.A. Acid tolerance in amphibians // Bio Science. – 1985. – №4. – P. 239-243.
7. Gunter R., Plotner J. On the noxious effects of household detergents on anuran eggs and tadpoles // Studies in Herpetology. Proceedings of the 3rd Ordinary General Meeting of the Societies European Herpetologica. – Prague, 1986. – P. 717-722.
8. Вершинин В.Л. Видовой комплекс амфибий в экосистемах крупного города // Экология. – 1995. – №4. – С. 299-306.
9. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. – М.: Центр экологической политики России. – 2000.
10. Лада Г.А., Левин А.Н., Артемова Л.В., Рыбкина Н.С. Об оценке состояния окружающей среды по уровню флуктуирующей асимметрии у бесхвостых амфибий на примере озерной лягушки (*Rana ridibunda*) // Принципы экологии. – 2012. – Т. 1. – №3. – С. 82-88.
11. Ковылина Н.В. Использование озерной лягушки (*R. ridibunda* Pall.) для оперативной индикации техногенного загрязнения водоемов: Автореф. дис. канд. биол. наук. – Тольятти. – 2004.
12. Спирина Е.В. Амфибии как биоиндикационная тест-система для экологической оценки водной среды обитания: Автореф. дис. канд. биол. наук. – Ульяновск. – 2007.
13. Вершинин В.Л. Биота урбанизированных территорий. – Екатеринбург. – 2007.
14. Закс М.М. О морфологических аномалиях зеленых лягушек (*Rana ridibunda*, *R. lessonae*) г. Пензы // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. Естественные науки. – 2008. – №10 (14). – С. 63-65.
15. Файзулин А.И. Встречаемость и разнообразие морфологических аномалий популяций озерной лягушки (*Anura*, *Amphibia*) Среднего Поволжья // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – №5. – С. 150-154.
16. Афоницева Я.В., Бондарева А.А., Баланюк Е.В., Бибик Ю.С. Изучение соответствий между стадиями развития задних конечностей и ротовых аппаратов в ходе нормального развития головастика зеленых лягушек // В кн.: Матеріали V міжнародної конференції молодих науковців «Біологія: від молекули до біосфери». – Харьков, 2010. – С. 337-338.
17. Бибик Ю.С., Коваленко М.С., Кучкова А.Г. Влияние эффекта группы на развитие головастика зеленых лягушек // В кн.: «Біологія: від молекули до біосфери». Матеріали V міжнародної конференції молодих науковців. – Харьков, 2010. – С. 338-339.
18. Бибик Ю.С. Какие факторы определяют тип ротового аппарата головастика зеленых лягушек? // В кн.: Матеріали V міжнародної конференції молодих науковців «Біологія: від молекули до біосфери». – Харьков, 2010. – С. 339-340.
19. Войткевич А.А. Феномен наследственного извращения реализации формообразовательной потенции // Доклады Академии наук. – 1948. – Т. LX. – №2. – С. 305-308.
20. Войткевич А.А. Закономерности в развитии дополнительных конечностей у озерной лягушки в естественных условиях // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. – 1955. – Т. 32. – №2. – С. 41-50.
21. Войткевич А.А. Массовое образование дополнительных задних конечностей у озерной лягушки // Журнал общей биологии. – 1965. – Т. 26. – №1. – С. 56-62.
22. Арифлулова И.И., Чирикова М.А. Об аномалиях в строении ротового аппарата головастика озёрной лягушки *Pelophylax ridibundus* в природных популяциях юго-востока Казахстана // Selevinia. – 2016. – С. 32-41.
23. Чирикова М.А., Чредниченко О.Г., Магда И.Н., Пилюгина А.Л., Байгушикова Г.М., Соловьева А.Ю., Нигай Н.Л. Морфологический и цитогенетический анализ озерных лягушек, обитающих вблизи мест хранения запасов устаревших пестицидов. В кн.: Сборник научных трудов XX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и природопользования». – М.: РУДН. – 2019. – С. 197-201.
24. Чередниченко О.Г., Магда И.Н., Соловьев А.Ю., Мамилов Н.Ш., Арифлулова И.А., Чирикова М.А., Пилюгина А.Л., Байгушикова Г.М., Соловьев И.А. Радиоэкологическая характеристика отдельных территорий национального парка Алтын-Эмель // Вестник НЯЦ РК. – 2020. – Т. 81. – Вып. 1. – С. 53-61.
25. Романова С.М. Характеристика гидрохимического режима рек северного склона Иле Алатау в 2010 году. Сообщение 2. Органические и биогенные вещества в воде // Гидрометеорология и экология. – 2011а. – №3. – С. 125-131.
26. Романова С.М. Характеристика гидрохимического режима рек северного склона Иле Алатау в 2010 году. Сообщение 3. Микроэлементы в воде // Гидрометеорология и экология. – 2011б. – №4. – С. 78-83.
27. Ualiyeva D.; Ermakov O.A., Litvinchuk S.N., Guo X., Ivanov A.Y., Xu R., Li J., Xu F., Arifulova I.I., Kaptyonkina A.G., Khromov V.A., Krainyuk V.N., Sarzhanov F., Dujsebayeva T.N. Diversity, Phylogenetic Relationships and Distribution of Marsh

Frogs (the *Pelophylax ridibundus* complex) from Kazakhstan and Northwest China // Diversity. – 2022. – Vol. 14. – Article number: 869. <https://doi.org/10.3390/d14100869>

28. Гниденко Е.Н. Некоторые аспекты развития и формирования личиночных органов озёрной лягушки (Amphibia: Ranidae) Юго-Восточного Казахстана // Selevinia. – 2002. – №1–4. – С. 48–59.

29. Боркин Л.Я., Безман-Мосейко О.С., Литвинчук С.Н. Оценка встречаемости аномалий в природных популяциях (на примере амфибий) // Труды Зоологического института РАН. – 2012. – Т. 316. – №4. – С. 324–343. <https://doi.org/10.31610/trudyzin/2012.316.4.324>

30. Чирикова М.А. Об аномалиях конечностей центральноазиатской лягушки, *Rana asiatica* Bedriaga, 1898 (Amphibia, Ranidae) // Труды Института зоологии Республики Казахстан. – 2023. – Т. 2. – Вып. 1. – С. 28–33. [Russian with English summary]. <https://doi.org/10.54944/tizkr90ib3>

31. Вершинин В.Л. Морфологические аномалии амфибий городской черты // Экология, 1989. – №3. – С. 58–66.

32. Вершинин В.Л. Экологические особенности популяций амфибий урбанизированных территорий: Автореф. дис. докт. биол. наук. – Екатеринбург. – 1997.

33. Некрасова О.Д. Классификация аномалий бесхвостых амфибий // Праці Українського герпетологічного товариства. – 2008. – №1. – С. 55–58.

34. Боркин Л.Я. Морфологические аномалии в природных популяциях амфибий: что мы изучаем и как оцениваем? // Материалы международной школы-конференции «Аномалии и патологии амфибий и рептилий: Методология и, эволюционное значение, возможность оценки здоровья среды». – Екатеринбург, 2014. – С. 25–36.

35. Rajakaruna R.S., Piyatissa P.M.J.R., Jayawardena U.A., Navaratne A.N., Amerasinghe P.H. Trematode infection induced malformations in the common hourglass treefrogs // Journal of Zoology. – 2008. – Vol. 275. – P. 89–95. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2008.00416.x>

36. Jayawardena U.A., Tkach V.V., Navaratne A.N., Amerasinghe P.H., Rajakaruna R.S. Malformations and mortality in the Asian common toad induced by exposure to *Pleurolophocercous cercariae* (Trematoda: Cryptogonimidae) // Parasitology International. – 2013. Vol. 62. – №3. – P. 246–252. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2013.01.003>

37. Некрасова О.Д., Межжерин С.В., Морозов-Леонов С.Ю., Сытник Ю.М. Случай массовой полимелии у озерных лягушек (*Rana ridibunda* Pall., 1771) Киева // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія. – Випуск 21. – 2007. – С. 92–95.

38. Fellers G.M., Green D.E., Longore J.E. Oral chytridiomycosis in the mountain yellow-legged frog *Rana muscosa* // Copeia. – 2001. – P. 945–953. [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2001\)001\[0945:OCITMY\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2001)001[0945:OCITMY]2.0.CO;2)

39. Vredenburg V.T., Summers A.P. Field identification of chytridiomycosis in *Rana muscosa* (Camp 1915) // Herpetological Review. – 2001. – Vol. 31. – №3. – P. 151–152.

40. Drake D.L., Altig R., Grace J.B., Walls S.C. Occurrence of Oral Deformities in Larval Anurans // Copeia. – 2007. – №2. – P. 449–458. [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2007\)7\[449:OODIL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2007)7[449:OODIL]2.0.CO;2)

41. Navarro-Lozano A., Sanchez-Domene D., Rossa-Feres D.C., Bosch J., Sawaya R.J. Are oral deformities in tadpoles accurate indicators of anuran chytridiomycosis? // PLoS ONE. – 2018. – Vol. 13. – №1. – Article number: e0190955. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190955>

42. Mačát Z., Jeřábková L., Reiter A., Rulík M., Jablonski D. Malformations and body injuries in a hybrid zone of crested newts (Caudata: Salamandridae: *Triturus cristatus* superspecies) // Acta Herpetologica. – 2015. – Vol. 10. №2. – P. 135–141. https://doi.org/10.13128/Acta_Herpetol-16194

43. Smolinský R., Baláz V., Nürnberger B. Tadpoles of hybridising fire-bellied toads (*B. bombina* and *B. variegata*) differ in their susceptibility to predation. PLoS ONE. – 2020. – Vol. 15 – №12. – Article number: e0231804. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231804>

44. Некрасова О.Д. Структура популяций и гибридизация зеленых лягушек *Rana esculenta* complex урбанизированных территорий Среднего Приднепровья: Автореф. дис. канд. биол. наук. – Киев. – 2002.

45. Куртяк Ф.Ф. 2005. Аномалії розвитку кінцівок у одностатевих гібридних популяціях *Rana kl. esculenta* Linne, 1758 (Amphibia, Anura, Ranidae) на теренах рівнинного Закарпаття // В кн.: Матеріали Першої конференції Українського герпетологічного товариства. – Київ: Зоомузей ННПМ НАН України, 2005. – С. 87–90.

46. Куртяк Ф.Ф. Аномалії розвитку *Pelophylax klepton esculenta* Linnaeus, 1758 (Amphibia, Anura, Ranidae) з теренів Закарпаття // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія біологія. – 2010. – Вип. 28. – С. 132–134.

References

1. Afonicheva YA.V., Bondareva A.A., Balanyuk E.V., Bibik YU.S. (2010). Izuchenie sootvetstviy mezhdru stadiyami razvitiya zadnih konechnostey i rotovykh apparatov v hode normal'nogo razvitiya golovastikov zelenykh lyagushek [Study of the correspondence between the stages of development of the hind limbs and mouthparts during the normal development of green frog tadpoles]. In: *Materiali V mizhnarodnoi konferencii molodih naukvciv "Biologiya: vid molekuli do biosferi" [Proceedings of the V International Conference of Young Scientists "Biology: from the molecule to the biosphere"]*. Kharkov, pp. 337–338. [Russian].
2. Arifulova I.I., Chiricova M.A. (2016). About anomalies of larval mouthpart structure of the marsh frog *Pelophylax ridibundus* in natural populations of South-Eastern Kazakhstan. Selevinia, 2016, pp. 32–41. [Russian with English summary].
3. Bibik YU.S. (2010). Kakie faktory opredelyayut tip rotovogo apparata golovastikov zelenykh lyagushek? [What factors determine the type of oral apparatus of green frog tadpoles?]. In: *Materiali V mizhnarodnoi konferencii molodih naukvciv "Biologiya: vid molekuli do biosferi" [Proceedings of the V International Conference of Young Scientists "Biology: from the molecule to the biosphere"]*. Kharkov, pp. 339–340. [Russian].

4. Bibik YU.S., Kovalenko M.S., Kuchkova A.G. (2010). Vliyanie effekta gruppy na razvitie golovastikov zelenykh lyagushek [Influence of the group effect on the development of green frog tadpoles]. In: *Materiali V mizhnarodnoi konferencii molodih naukoviciv "Biologiya: vid molekuli do biosferi"* [Proceedings of the V International Conference of Young Scientists "Biology: from the molecule to the biosphere"]. Kharkov, pp. 338-339. [Russian].
5. Borkin L.J. (2014). Morphological abnormalities in natural populations of amphibians: What do we study and how do we measure? In: *Materialy mezhdunarodnoj shkoly-konferencii "Anomalii i patologii amfibij i reptilij: Metodologiya i, evolyucionnoe znachenie, vozmozhnost' ocenki zdorov'ya sredey"* [Proceedings of the international conference-school "Anomalies and pathologies of amphibians and reptiles: Methodology and evolutionary significance, the possibility of assessing the health of the environment"]. Yekaterinburg, pp. 25-36. [Russian with English summary].
6. Borkin L.J., Bezman-Moseyko O.S., Litvinchuk S.N. (2012). Evaluation of animal deformity occurrence in natural populations (an example of amphibians). *Proceedings of the Zoological Institute RAS*, vol. 316, no 4, pp. 324-343. [Russian with English summary]. <https://doi.org/10.31610/trudyzin/2012.316.4.324>
7. Cherednichenko O.G., Magda I.N., Soloviev A.Yu., Mamilov N.Sh., Arifulova I.A., Chirikova M.A., Pilyugina A.L., Baygushikova G.M., Soloviev I.A. (2020). Radioecological characteristics of separate territories of the Altin-Emel National Park. *NNC RK Bulletin*, vol. 81, issue 1, pp. 53-61. [Russian with English summary].
8. Chirikova M.A. (2023). On anomalies of extremities in the Central Asian Frog, *Rana asiatica* Bedriaga, 1898 (Amphibia, Ranidae). *Trudy of Institute of Zoology RK [Proceedings of the Institute of Zoology of the Republic]*, vol. 2, issue 1, pp. 28-33. [Russian with English summary]. <https://doi.org/10.54944/tizkrkg90ib3>
9. Chirikova M.A., Cherednichenko O.G., Magda I.N., Pilyugina A.L., Baygushikova G.M., Soloviev A. Y., Nigai N.L. (2019). Morphological and cytogenetic analysis of the lake frogs dominating near the places of storage of reserves of deprecated pesticides. In: *Sbornik nauchnykh trudov XX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Aktual'nye problemy ekologii i prirodoopol'zovaniya"* [Collection of scientific papers of the XX International scientific and practical conference "Current problems of ecology and nature management"]. Moscow, pp. 197-201. [Russian with English summary].
10. Drake D.L., Altig R., Grace J.B., Walls S.C. (2007). Occurrence of Oral Deformities in Larval Anurans. *Copeia*, 2007, no 2, pp. 449-458. [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2007\)7\[449:OODIL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2007)7[449:OODIL]2.0.CO;2)
11. Fayzulin A.I. (2012). Occurrence and morphological anomalies variety of populations of marsh frog (Anura, Amphibia) of the Middle Volga. *News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences [Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk]*, vol. 14, no 5, pp. 150-154. [Russian with English summary].
12. Fellers G.M., Green D.E., Longore J.E. (2001). Oral chytridiomycosis in the mountain yellow-legged frog *Rana muscosa*. *Copeia*, 2001, pp. 945-953. [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2001\)001\[0945:OCITMY\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2001)001[0945:OCITMY]2.0.CO;2)
13. Freda J., Dunson W.A. (1985). The influence of external cation concentration on the hatching of amphibian embryos in water of low pH. *Can. J. Zool.*, vol. 63, no 11, pp. 2649-2656.
14. Gnidenko E.N. (2002). Some aspects of development and formation of larvae organs of lake frog of the South-Eastern Kazakhstan. *Selevinia*, 2002, no 1-4. pp. 48-59. [Russian with English summary].
15. Gunter R., Plotner J. (1986). On the noxious effects of household detergents on anuran eggs and tadpoles. In: *Studies in Herpetology. Proceedings of the 3rd Ordinary General Meeting of the Societies European Herpetologica*, Prague, pp. 717-722.
16. Jayawardena U.A., Tkach V.V., Navaratne A.N., Amerasinghe P.H., Rajakaruna R.S. (2013). Malformations and mortality in the Asian common toad induced by exposure to *Pleurolophocercous cercariae* (Trematoda: Cryptogonimidae). *Parasitology International*, vol. 62, no 3, pp. 246-252. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2013.01.003>
17. Kovylin N.V. (2004). Ispol'zovanie ozernoj lyaguski (*R. ridibunda* Pall.) dlya operativnoj indikacii tekhnogennogo zagryazneniya vodoemov [Use of the lake frog (*R. ridibunda* Pall.) for rapid indication of technogenic pollution of water bodies]. *Abstract of PhD thesis*. Tolyatti. [Russian].
18. Kurtyak F.F. (2005). Anomalies of development of faintnesses in unisex hybrid populations *Rana kl. esculenta* Linne, 1758 (Amphibia, Anura, Ranidae) in the Transcarpathians Lowland. In: *Materiali Pershoi konferencii Ukrainskogo gerpetologichnogo tovaristva [Proceedings of the First Conference of the Ukrainian Herpetological Association]*. Kyiv, pp. 87-90. [Ukraine with English summary].
19. Kurtyak F.F. (2010). Anomalies of development of faintnesses in unisex hybrid populations *Pelophylax klepton esculenta* (Linnaeus, 1758) (Amphibia, Anura, Ranidae) in the Transcarpathians Lowland. *Naukovij visnik Uzhgorod'skogo universitetu. Seriya biologiya [Scientific newsletter of Uzhgorod University. Biology series]*, issue 28, pp. 132-134. [Ukraine with English summary].
20. Lada G., Lyovin A., Artyomova L., Rybkina N. (2012). On the evaluation of environmental condition by the level of fluctuation asymmetry in anuran amphibian of lake frog (*Rana ridibunda*) as an example. *Principy ekologii [Principles of Ecology]*, vol. 1, no 3, pp. 82-88. [Russian with English summary].
21. Mačát Z., Jeřábková L., Reiter A., Rulík M., Jablonski D. (2015). Malformations and body injuries in a hybrid zone of crested newts (Caudata: Salamandridae: *Triturus cristatus* superspecies). *Acta Herpetologica*, vol. 10, no 2, pp. 135-141. https://doi.org/10.13128/Acta_Herpetol-16194
22. Navarro-Lozano A., Sanchez-Domene D., Rossa-Feres D.C., Bosch J., Sawaya R.J. (2018). Are oral deformities in tadpoles accurate indicators of anuran chytridiomycosis? *PLoS ONE*, vol. 13, no 1, Article number: e0190955. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190955>
23. Nekrasova O.D. (2002). Struktura populyacij i gibridizaciya zelenykh lyagushek *Rana esculenta* complex urbanizirovanyh territorij Srednego Pridneprov'ya [Population structure and hybridization of green frogs *Rana esculenta* complex in urbanized areas of the Middle Dnieper]. *Abstract of PhD thesis*. Kyiv. [Russian].
24. Nekrasova O.D. (2008). Classification of Amphibians Anomalies. *Praci Ukraïn'skogo gerpetologichnogo tovaristva [Proceedings of the Ukrainian Herpetological Society]*, no 1, pp. 55-58. [Russian with English summary].

25. Nekrasova O.D., Mezhdzherin S.V., Morozov-Leonov S.Yu., Sytnik Yu.M. (2007). A cases of mass polymelia in the lake frog (*Rana ridibunda* Pall., 1771) from Kyiv. *Naukovij visnik Uzhgorods'kogo universitetu. Seriya Biologiya [Scientific newsletter of Uzhgorod University. Biology Series.]*, issue 21, pp. 92-95. [Russian with English summary].
26. Neustroeva N.S. (2012). Morfologicheskaya izmenchivost' skeleta predstavitelej roda *Rana* v usloviyah antropogennoj destabilizacii sredy [Morphological variability of the skeleton of representatives of the genus *Rana* in conditions of anthropogenic destabilization of the environment]. *Abstract of PhD thesis*. Kazan. [Russian].
27. Neustroeva N.S., Vershinin V.L. (2011). Skeletal deviations of fingerlings of tailless amphibian in an urbanizing. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo univesiteta. Biologicheskie nauki [Bulletin of Omsk State University. Biological Sciences]*, vol. 123, no 4, pp. 85-90.
28. Pierce A.A. (1985). Acid tolerance in amphibians. *Bio Science*, no 4, pp. 239-243.
29. Rajakaruna R.S., Piyatissa P.M.J.R., Jayawardena U.A., Navaratne A.N., Amerasinghe P.H. (2008). Trematode infection induced malformations in the common hourglass treefrogs. *Journal of Zoology*, vol. 275, pp. 89-95. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2008.00416.x>
30. Romanova S.M. (2011a). Harakteristika gidrohimicheskogo rezhima rek severnogo sklona Ile Alatau v 2010 godu. Soobshchenie 2. Organicheskie i biogennye veshchestva v vode [Characteristics of the hydrochemical regime of rivers on the northern slope of Ile Alatau in 2010. Message 2. Organic and biogenic substances in water]. *Gidrometeorologiya i ekologiya [Hydrometeorology and ecology]*, 2011, no 3, pp. 125-131. [Russian].
31. Romanova S.M. (2011b). Harakteristika gidrohimicheskogo rezhima rek severnogo sklona Ile Alatau v 2010 godu. Soobshchenie 3. Mikroelementy v vode [Characteristics of the hydrochemical regime of rivers on the northern slope of Ile Alatau in 2010. Message 3. Microelements in water]. *Gidrometeorologiya i ekologiya [Hydrometeorology and ecology]*, no 4, pp. 78-83. [Russian].
32. Smolinský R., Baláz V., Nürnberger B. (2020). Tadpoles of hybridising fire-bellied toads (*B. bombina* and *B. variegata*) differ in their susceptibility to predation. *PLoS ONE*, vol. 15, no 12, article number: e0231804. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231804>
33. Spirina E.V. (2007). Amfibii kak bioindikacionnaya test-sistema dlya ekologicheskoy ocenki vodnoj sredy obitaniya [Amphibians as a bioindicative test system for ecological assessment of aquatic habitats]. *Abstract of PhD thesis*. Ulyanovsk. [In Russian].
34. Svinin A.O., Ermakov O.A., Litvinchuk S.N., Bashinskiy I.V. (2020). The anomaly P syndrome in green frogs: the history of discovery, morphological features and possible causes. *Proceedings of the Zoological Institute RAS*, vol. 324, no 1, pp. 108-123. [Russian with English summary]. <https://doi.org/10.31610/trudyzin/2020.324.1.108>
35. Ualiyeva D., Ermakov O. A., Litvinchuk S. N., Guo X., Ivanov A. Y., Xu R., Li J., Xu F., Arifulova I. I., Kaptyonkina A. G., Khromov V. A., Krainyuk V. N., Sarzhanov F., Dujsebayaeva T. N. (2022). Diversity, Phylogenetic Relationships and Distribution of Marsh Frogs (the *Pelophylax ridibundus* complex) from Kazakhstan and Northwest China. *Diversity*, vol. 14, article number: 869. <https://doi.org/10.3390/d14100869>
36. Vershinin V.L. (1989). Morfologicheskie anomalii amfibij gorodskoj cherty [Morphological anomalies of amphibians within the city limits]. *Ekologiya [Ecology]*, no 3, pp. 58-66. [Russian].
37. Vershinin V.L. (1995). Vidovoj kompleks amfibij v ekosistemah krupnogo goroda [Species complex of amphibians in the ecosystems of a large city]. *Ekologiya [Ecology]*, no 4, pp. 299-306. [Russian].
38. Vershinin V.L. (1997). Ekologicheskie osobennosti populacij amfibij urbanizirovannyh territorij [Ecological features of amphibian populations in urbanized areas]. *Doctor of Science' thesis*. Yekaterinburg. [Russian].
39. Vershinin V.L. (2007). Biota urbanizirovannyh territorij [Biota of urban areas]. Ekaterinburg. [Russian].
40. Vershinin V.L. (2015). Osnovy metodologii i metody issledovaniya anomalij i patologij amfibij [Fundamentals of methodology and methods for studying anomalies and pathologies of amphibians]. Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta.
41. Vojtkovich A.A. (1948). Fenomen nasledstvennogo izvrashcheniya realizacii formoobrazovatel'noj potentsii [Phenomenon of hereditary perversion of the realization of formative potential]. *Doklady Akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*, vol. LX, no 2, pp. 305-308. [Russian].
42. Vojtkovich A.A. (1955). Zakonomernosti v razvitii dopolnitel'nyh konechnostej u ozernoj lyagushki v estestvennyh usloviyah [Patterns in the development of additional limbs in the lake frog under natural conditions]. *Arhiv anatomii, gistologii i embriologii [Archives of Anatomy, Histology and Embryology]*, vol. 32, no 2, pp. 41-50. [Russian].
43. Vojtkovich A.A. (1965). Massovoe obrazovanie dopolnitel'nyh zadnih konechnostej u ozernoj lyagushki [Mass formation of additional hind limbs in the lake frog]. *Zhurnal obshchej biologii [Journal of General Biology]*, vol. 26, no 1, pp. 56-62. [Russian].
44. Vredenburg V.T., Summers A.P. (2001). Field identification of chytridiomycosis in *Rana muscosa* (Camp 1915). *Herpetological Review*, vol. 31, no 3, pp. 151-152.
45. Zaharov V.M., Baranov A.S., Borisov V.I., Valeckij A.V., Kryazheva N.G., Chistyakova E.K., Chubinishvili A.T. (2000). *Zdorov'e sredy: metodika ocenki [Environmental health: assessment methodology]*. M.: Center for Environmental Policy of Russia. [Russian].
46. Zaks M.M. (2008). On the morphological anomalies of green frogs (*Rana ridibunda*, *R. lessonae*) in Penza-city (Russia). *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni V.G. Belinskogo [News of the Penza State Pedagogical University named after V.G. Belinsky]*, no 10 (14), pp. 63-65. [Russian with English summary].

Сведения об авторах:

Арифүлова Ирина Исмаиловна (корреспондентный автор) – магистр биологии, научный сотрудник лаборатории орнитологии и герпетологии Института зоологии (Алматы, Казахстан, e-mail: irina.arifulova@zool.kz);

Чирикова Марина Александровна – кандидат биологических наук, заместитель директора по науке Института зоологии (Алматы, Казахстан, e-mail: marina.chirikova@zool.kz).

Information about authors:

Arifulova Irina Ismailovna (corresponding author) – Master of Biology, Researcher of the Laboratory of Ornithology and Herpetology at the Institute of Zoology (Almaty, Kazakhstan, e-mail: irina.arifulova@zool.kz)

Chirikova Marina Alexandrovna – Candidate of Biological Sciences, Deputy Director for Science at the Institute of Zoology (Almaty, Kazakhstan, e-mail: marina.chirikova@zool.kz)

Авторлар туралы мәлімет:

Ирина Исмаиловна Арифүлова (корреспондент-автор) – биология магистрі, Зоология институтының орнитология және герпетология зертханасының ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: irina.arifulova@zool.kz)

Марина Александровна Чирикова – биология ғылымдарының кандидаты, Зоология институтының ғылым жөніндегі директорының орынбасары (Алматы, Қазақстан, e-mail: marina.chirikova@zool.kz)

Поступило 7 октября, 2024 года

Принято 20 августа 2025 года

МРНТИ 34.35.33 + 34.33.33

<https://doi.org/10.26577/bb202510436>**Г.К. Хасенгазиева*** , **Н.Ш. Мамилев** 

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

*e-mail: g96-17@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПИТАНИЯ ГОЛОГО ОСМАНА *GYMNODIPTYCHUS DYBOWSKII* В РЕКАХ ШЕЛЕК И БОРОХУДЗИР (Балкашский бассейн, Республика Казахстан)

Изучение и сохранение пресноводных рыб необходимо для сохранения и устойчивости водных экосистем. Стремительное сокращение разнообразия аборигенных рыб является серьезной угрозой для во всем мире, поскольку приводит к нарушению пищевых цепей и баланса веществ в природных сообществах. Голый осман *Gymnodiptychus dybowskii* является одним из наиболее распространенных аборигенных обитателей предгорных и горных рек Центральной Азии. Целью проведенного исследования было сравнительное изучение питания голого османа в двух реках Балкашского бассейна, испытывающих различную антропогенную нагрузку. Для анализа рыб использовали традиционные ихтиологические методики отлова и обработки, морфологический анализ проведен по 21 пластическому признаку, связанному с питанием рыб. Статистическая обработка проведена унивариантным методом, для сравнения выборок использован метод главных компонент. В рационе голого османа выявлено 38 объектов: 37 компонентов в р. Шелек и 30 компонентов у рыб из реки Борохудзир. Объектами питания служат черви, ракообразные, личинки насекомых, водоросли, высшая водная растительность, детрит, песок, а также неопределенные объекты. В отличие от известных данных водоросли представлены большим разнообразием и являются важным компонентом питания. Между популяциями из сравниваемых рек существуют морфологические различия. Выявлена важная роль голого османа в регуляции потока биогенных элементов и сдерживании численности кровососущих двукрылых.

Ключевые слова: *Gymnodiptychus dybowskii*, голый осман, Балкашский бассейн, трофология, бентос, водоросли.

G.K. Khassengaziyeva, N.Sh. Mamilov

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: g96-17@mail.ru

Comparative analysis of the diet of naked Osman *Gymnodiptychus dybowskii* in the Shelek and Borokhudzir rivers (Balkhash basin, Republic of Kazakhstan)

The study and conservation of freshwater fishes is essential for the preservation and sustainability of aquatic ecosystems. The rapid decline in the diversity of native fishes is a serious threat worldwide, as it leads to the disruption of food chains and the balance of substances in natural communities. The naked osman *Gymnodiptychus dybowskii* is one of the most widespread native inhabitants of the foothill and mountain rivers of Central Asia. The purpose of the study was to comparatively study the nutrition of the naked osman in two rivers of the Balkhash basin experiencing different anthropogenic load. Traditional ichthyological techniques of catching and processing were used for fish analysis, morphological analysis was carried out for 21 plastic features related to fish nutrition. Statistical processing was carried out using the univariate method, and the principal component method was used to compare samples. 38 objects were identified in the diet of the naked osman: 37 components in the Shelek River and 30 components in fish from the Borokhudzir River. Feeding objects include worms, crustaceans, insect larvae, algae, higher aquatic vegetation, detritus, sand, and undefined objects. In contrast to known data, algae present a greater diversity and are an important component of the diet. Morphological differences exist between populations from the compared rivers. An important role of the naked osman in the regulation of nutrient fluxes and in restraining the abundance of bloodsucking dipterans was revealed.

Keywords: *Gymnodiptychus dybowskii*, naked osman, Balkhash basin, trophology, benthos, algae.

Г.К. Хасенгазиева, Н.Ш. Мамилов

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: g96-17@mail.ru

**Шелек және Борохудзир өзендеріндегі қабыршақсыз көкбас
Gymnodiptychus dybowskii балығының қоректенуін салыстырмалы талдау
(Балқаш бассейні, Қазақстан Республикасы)**

Тұщы су балықтарын зерттеу және сақтау су экожүйелерін тұрақтандыру мен сақтау үшін өте маңызды. Аборигенді балықтардың алуантүрлілігінің тез төмендеуі бүкіл әлемде үлкен қауіп болып табылады, өйткені бұл табиғи қауымдастықтардағы қоректік тізбектер мен заттардың тепе-теңдігінің бұзылуына әкеледі. Қабыршақсыз көкбас *Gymnodiptychus dybowskii* – Орталық Азияның тау бөктері мен таулы өзендерінің ең көп таралған түрлерінің бірі. Зерттеудің жұмыстарының мақсаты әртүрлі антропогендік әсерге ұшыраған Балқаш бассейнінің екі өзенінде қабыршақсыз көкбастың қоректенуін салыстырмалы түрде зерттеу болды. Балықты зерттеу үшін аулау мен өңдеудің дәстүрлі ихтиологиялық әдістері қолданылды, морфологиялық анализ балықтың қоректенуімен байланысты 21 пластикалық белгі негізде жүргізілді. Статистикалық өңдеу универсалды әдіспен жүзеге асырылады, үлгілерді салыстыру үшін негізгі компоненттер әдісі қолданылады.

Қабыршақсыз көкбастың рационында 38 объект анықталды: Шелек өзенінде 37 компонент және Борохудзир өзенінен шыққан балықтарда 30 компонент. Қоректік объектілері-құрттар, шаян тәрізділер, жәндіктердің личинкалары, балдырлар, жоғары су өсімдіктері, детрит, құм, сондай-ақ белгісіз заттар. Бізге белгілі мәліметтерден айырмашылығы, балдырлар алуан түрлілікпен ұсынылған және қоректенудің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Салыстырмалы өзендердің популяциялары арасында морфологиялық айырмашылықтар бар. Қабыршақсыз көкбастың биогендік элементтер ағынын реттеудегі және қансорғыш қосқанаттылардың санын тежеудегі маңызды рөлі анықталды.

Түйін сөздер: *Gymnodiptychus dybowskii*, жалаңаш осман, Балқаш бассейні, трофология, бентос, балдырлар

Введение

Рыбы являются самой разнообразной и многочисленной группой позвоночных животных [1,2]. В пресноводных водоемах сосредоточено огромное разнообразие костистых рыб [2-4]. В настоящее время рост численности населения и растущие потребности каждого человека оказывают большое влияние на биосферу [5]. Наибольшую антропогенную нагрузку испытывают именно пресноводные экосистемы, поскольку вода является жизненно необходимым ресурсом для большинства наземных организмов, а также используется человеком для бытовых, сельскохозяйственных и промышленных нужд, рыболовства, аквакультуры, а также отдыха [5-7]. Поэтому в настоящее время происходит стремительное сокращение разнообразия аборигенных видов рыб [8-11]. Это вызывает большую обеспокоенность в связи с экосистемными услугами, которые выполняют рыбы для поддержания благополучия пресноводных экосистем [12-14].

Республика Казахстан, несмотря на свое положение в центре Евразийского континента, обладает большими запасами пресной воды. Однако пресноводные водоемы распределены крайне

неравномерно: большая их часть находится на юго-востоке и востоке страны. Бассейн озера Балқаш является одним из наиболее крупных оазисов Центральной Азии, поэтому концентрация населения здесь намного больше, чем в других регионах. Это приводит к нарастанию экологических и социально-экономических проблем [15-18]. Поэтому всестороннее изучение рыб из различных водных экосистем Балқашского бассейна имеет большое научное значение для понимания их адаптационных возможностей и практический интерес для мониторинга экосистем.

Изучение питания и пищевых взаимоотношений организмов является одним из ключевых вопросов для понимания функционирования любых типов экосистем [19-21]. Голый осман *Gymnodiptychus dybowskii* (Kessler, 1874) – это один из наиболее распространенных обитателей рек предгорной и горной зон Центральной Азии [22,23]. Морфологической изменчивости и различным чертам биологии этого вида уделяется достаточно внимания [22,23], однако данные по питанию ограничены несколькими источниками. Известно, что молодь голого османа имеет значение в регуляции численности личинок кровососущих комаров, а более взрослые особи

предпочитают мелких рыб, бокоплавов и моллюсков [24,25].

Целью проведенного нами исследования являлось сравнительное изучение питания голого османа в двух реках Балкашского бассейна, испытывающих различную антропогенную нагрузку.

Материалы и методы исследования

Материалами для работы послужили сборы рыб из рек Борохудзир 2021 г. и р.Шелек 2022 г. (рисунок 1). Рыб отлавливали с помощью мальковой волокуши и фиксировали в 4% водном растворе формальдегида. Морфо-биологический анализ рыб проводили по стандартной методике [26,27]. Для обозначения признаков использованы следующие символы: абсолютная длина – L , стандартная длина (длина тела) – SL ,

полная масса – Q , масса тела без внутренностей – q , в г); s – длина головы, ao – длина рыла, o – диаметр глаза, or – заглазничное расстояние, l_{mx} – длина верхней челюсти, l_{md} – длина нижней челюсти, wm – ширина рта, h_{co} – высота головы на уровне глаза, h_c – высота головы у затылка, H – наибольшая высота тела, h_{ca} – высота хвостового стебля, h – наименьшая высота тела, io – межглазничное расстояние, tc – ширина головы за глазом, $ltmp$ – ширина головы у затылка, HTT – наибольшая ширина тела, htt – толщина хвостового стебля. Измерения проводились штангенциркулем (ЩЦ-1, Matrix, Ки-Matrix,) с точностью до 0,1 мм. Рыб взвешивали на электронных весах (Scout-Pro, OHUS,) с точностью до 0,1 г. Все промеры тела переводились в проценты от стандартной длины. Индекс упитанности по Фультону рассчитывали по формуле $Fulton = 100 \times Q/SL^3$ [28].



Рисунок 1 – Карта-схема района исследований с указанием мест отбора проб:
1 – р. Шелек, 2 – р. Борохудзир

Содержание жира и стадию зрелости половых продуктов определяли визуально [29]. Анализ питания проводился по методу индивидуального сбора и обработки желудочно-кишечного тракта [30-34]. При определении видов беспозвоночных использовали определители [35-37]. Для идентификаций низших растений были использованы определители [38]. Названия водо-

рослей приведены в соответствие с базами данных GBIF [39] и AlgaeBase [40]. Во всех случаях идентификацию объектов питания проводили до таксономического уровня, не вызывающего сомнений в точности определения. Всего из двух водоемов для трофологического анализа было взято 40 особей голого османа. Определялся степень наполнения пищей желудочно-кишечно-

го тракта по шести балльной шкале: 0 – пусто, 1 – единично, 2 – малое наполнение, 3 – среднее, 4 – много (полный желудок-кишечник), 5 – масса (растянутый) [29,33].

Первичная статистическая обработка проводилась унивариантным методом. Статистические показатели обозначены: min – минимальное значение, max – максимальное значение, M – среднее значение, $\pm s$ – стандартное отклонение, CV – коэффициент вариации. Уровень различий оценивали по подвидовому критерию CD, предложенному Э.Майром [41]:

$$CD = \frac{(M_b - M_a)}{(s_a + s_b)} \quad (1)$$

где:

M_b, M_a – средние значения признака;

s_a, s_b – стандартные отклонения для сравниваемых выборок.

Для оценки достоверности различий использовали критерий Стьюдента Tst и ранговый критерий Уилкоксона (Манна-Уитни) U

[42-44]. Многомерный анализ с помощью метода главных компонент (principal component analysis – PCA) использовали для оценки сходства-различий выборок из двух рек по совокупности всех признаков [45].

Результаты и их обсуждение

В период исследований голый осман являлся одним из обычных видов в обеих исследованных реках. Биологические показатели исследованных выборок представлены в таблице 1. Обе выборки представлены некрупными особями разного размера, вероятно, в возрасте от 1 до 4 полных лет. В сравнении с известными данными средняя упитанность голого османа в р.Шелек находится на хорошем уровне, в р.Борохудзир – высокая. В обеих выборках наблюдаются большие различия в индивидуальной упитанности не связанные с размерами рыб ($-0.25 < r < 0.25$), что может быть обусловлено внутривидовой конкуренцией.

Таблица 1 – Биологические показатели голого османа из р. Шелек и р. Борохудзир

Признаки	Р.Шелек, n= 11 экз.			Р.Борохудзир, n= 29 экз.			Tst	U
	min-max	M $\pm$ s	CV	min-max	M $\pm$ s	CV		
L, мм	51- 121	77.0 $\pm$ 21.9	28.5	70.8-141.3	100.4 $\pm$ 19.7	19.6	3.49	63
SL, мм	40 – 95	60.5 $\pm$ 17.3	28.6	59.3-120.0	82.8 $\pm$ 16.5	20.0	3.99	74
Q, г	1.04- 12.32	3.73 $\pm$ 3.99	106.9	3.38-25.58	10.30 $\pm$ 6.18	60.0	3.38	36
Fulton	1.08-1.61	1.32 $\pm$ 0.152	11.5	1.48-2.03	1.66 $\pm$ 0.161	9.7	6.04	36

В летний период все исследованные рыбы активно питались. В питании рыб из рек Шелек и Борохудзир были обнаружены представители разных биологических и таксономических групп (таблица 2): черви, ракообразные, личинки насекомых, водоросли, высшая водная растительность, детрит, песок, неопознанные объекты (части беспозвоночных на разных стадиях переваривания). Растительные объекты представлены большим разнообразием. Рацион голого османа из реки Шелек более разнообразен, чем в р.Борохудзир, и включают 37 таксона. В питании голого османа из р.Шелек отмечены *Cladophora sp.*, *Cosmarium sp.*, *Mougeotia sp.*, *Microcystis aeruginosa*, *Melosira sp.*, *Fragilaria crotonensis*, *Nematoda sp.*, *Ostracoda sp.*, не об-

наруженные у голого османа из р.Борохудзир. У османов из р.Борохудзир в питании отмечена водоросль *Diatoma vulgaris*, не представленная в питании османов из р.Шелек.

Наиболее распространенным компонентом питания в обеих реках оказались личинки двукрылых насекомых. Кроме того, в рационе рыб отмечены коловратки, олигохеты, веслоногие и ветвистоусые рачки, остракоды, водные личинки насекомых – в основном стрекоз, комаров и жуков. Спектр питания разноразмерных особей характеризуется значительным сходством. Личинки кровососущих комаров *Culex* отмечены у 100 % особей голого османа в обеих реках, что подтверждает важное значение этого вида как ларвифага [24].

Таблица 2 – Частота встречаемости различных объектов в питании голого османа

Объекты	Борохудзир n=11	Шелек n=29
Растительные объекты		
Chlorophyta- зеленые		
<i>Pediastrum boryanum</i>	0,273	0,103
<i>Cladophora sp.</i>	0,000	0,034
<i>Cosmarium sp.</i>	0,000	0,034
<i>Spirogyra sp.</i>	0,636	0,103
<i>Ulothrix sp.</i>	0,455	0,207
<i>Zygnema sp.</i>	0,455	0,138
<i>Mougeotia sp.</i>	0,000	0,138
<i>Hormidium sp.</i>	0,364	0,138
Cyanophyta- синезеленые		
<i>Microcystis aeruginosa</i>	0,000	0,931
Bacillariophyta - диатомовые		
<i>Melosira sp.</i>	0,000	0,034
<i>Diatoma vulgaris</i>	0,091	0,000
<i>Gomphonema sp.</i>	0,364	0,207
<i>Tabellaria</i>	0,273	0,207
<i>Synedra acus</i>	0,364	1,000
<i>Cymbella cymbiformis</i>	0,545	0,276
<i>Amphora sp.</i>	0,455	0,345
<i>Nitzschia sigmoidea</i>	0,455	1,000
<i>Navicula mutica</i>	0,455	1,000
<i>Pinnularia sp.</i>	0,545	0,138
<i>Phormidium sp.</i>	0,091	0,034
<i>Fragilaria crotonensis</i>	0,000	0,034
Other algae	0,182	0,276
Остатки высшей водной растительности	0,455	0,276
Животные объекты		
<i>Nematoda sp.</i>	0,000	0,103
<i>Rotifera sp.</i>	0,455	0,310
<i>Oligochaeta sp.</i>	0,545	0,310
<i>Cyclops sp.</i>	0,364	0,241
<i>Daphniidae sp.</i>	0,364	0,207
<i>Ostracoda sp.</i>	0,000	0,034
Личинки насекомых Insecta		
<i>larva Chironomidae</i>	0,273	1,000
<i>larva Culex</i>	1,000	1,000
<i>larva Coleoptera</i>	0,182	0,310
<i>larva Odonata</i>	0,455	0,690
<i>larva Ephemeroptera</i>	0,364	0,552
<i>Insecta sp.</i>	0,545	1,000
Другое		
детрит	1,000	0,103
песок и микролиты	1,000	0,103
неопознанные объекты	0,455	0,172

У рыб из реки Шелек были обнаружены паразитические плоские черви в брюшной полости и нематоды в кишечнике.

По типу питания голый осман считается бентофагом [22]. Известные данные по составу питания голого османа несколько различаются у разных авторов. Ранее считалось, что молодь голого османа питается в основном личинками насекомых, неполовозрелые рыбы также питаются водной растительностью, в меньшей степени моллюсками, крупные особи — преимущественно моллюсками, отчасти мелкой рыбой [46]. По другим данным, голый осман

питается обитающими на дне беспозвоночными (личинки и куколки насекомых, бокоплавы, моллюски), растительность составляет незначительную долю рациона [22]. По нашим данным, кроме организмов зообентоса, в пищевой спектр также входят макрофиты, детрит и фитопланктон. Крупные таксоны, обнаруженные в питании голого османа в бассейне р.Иле, совпадают с данными по всему ареалу [47]. В отличие от ранее полученных сведений, нам удалось уточнить и расширить список водорослей, присутствующих в питании голого османа (Таблица 3).

Таблица 3 – Пластические признаки голого османа

Показатели	Борохудзир. n=11		Шелек. n=31		Различия		
	M	s ²	M	s ²	Tst	CD	U
L	100.4	387.65	75.6	480.43	3.49	0.60	63
SL	82.8	273.79	59.4	298.80	3.99	0.69	74
Q	10.30	38.247	3.56	15.260	3.38	0.67	36
Fulton	1.66	0.026	1.33	0.023	6.04	1.08	36
B % от SL							
c	26.3	0.77	27.3	1.04	3.31	0.56	73
ao	9.3	0.33	8.7	0.75	2.71	0.44	83
o	5.2	0.24	7.0	1.15	7.58	1.18	20
op	13.5	0.43	13.3	1.17	0.72	0.11	143
lmx	7.7	0.38	8.4	0.16	3.52	0.69	55
lmd	6.3	0.34	7.2	0.26	4.28	0.78	55
wm	8.8	0.39	8.5	0.25	1.52	0.28	112
hco	12.1	1.43	11.7	0.74	1.03	0.20	108
hc	15.9	4.41	15.3	1.00	0.96	0.20	102
H	21.4	2.83	20.6	1.60	1.47	0.28	124
hca	10.3	0.23	10.2	0.28	1.06	0.18	163
h	8.0	0.45	7.7	0.30	1.73	0.32	163
io	8.8	0.44	9.7	0.45	4.08	0.71	163
tc	10.9	0.75	11.2	0.48	0.80	0.15	151
ltmp	13.9	2.15	14.2	0.40	0.56	0.12	162
HTT	14.6	0.88	15.2	0.83	1.56	0.28	128
htt	7.0	0.16	5.1	0.53	10.53	1.66	8
B % от c							
ao	35.4	4.07	31.7	8.69	4.57	0.74	42
o	19.6	2.65	25.5	11.89	7.52	1.17	21
op	51.5	2.23	48.8	12.46	3.51	0.54	63
lmx	29.1	2.45	30.6	2.22	2.78	0.49	83
lmd	24.0	3.10	26.2	2.43	3.67	0.66	58
wm	33.4	4.78	31.0	3.79	3.26	0.59	58
hco	46.0	14.87	42.8	7.03	2.57	0.50	78
hc	60.4	52.82	55.9	13.91	1.98	0.41	83

Продолжение таблицы

Показатели	Борохудзир. n=11		Шелек. n=31		Различия		
	M	s ²	M	s ²	Tst	CD	U
H	81.5	44.51	75.3	26.48	2.77	0.52	71
hca	39.4	4.96	37.2	4.59	2.84	0.50	84
h	30.7	8.22	28.0	3.26	2.86	0.57	70
io	33.3	5.41	35.5	3.76	2.78	0.51	80
tc	41.6	7.70	40.9	6.41	0.76	0.14	142
ltmp	53.0	23.02	52.0	6.11	0.68	0.14	115

Критическим значением для CD является 1.28. для Tst =2.04; U=237.2 при p<0.05

Выборка голого османа из р.Борохудзир представлена более крупными особями. Упитанность голого османа в этой реке также достоверно выше. Рыбы из сравниваемых популяций различаются по форме и пропорциям головы: у рыб из р.Борохудзир относительная длина головы больше; за счет меньшего диаметра глаза рыло длиннее; рот меньше; лоб уже. Также у рыб из р.Борохудзир хвостовой стебель значительно толще. Однако перечисленные различия не достигают условного подвидового уровня по критерию CD. По форме губ все исследованные особи голого османа принадлежали к типичной форме: губы умеренной толщины, нижний край ротовой пластинки без режущей пластинки.

Анализ главных компонент показал различие османов из двух сравниваемых рек по совокупности исследованных признаков: проведенные с доверительным интервалом 95% эллипсы для выборок из рек Шелек и Борохудзир явно расходились в пространстве 1-й и 2- главных компонент (рис. 2). Нагрузки 1-3 главных компонент представлены в таблице 4. На первую главную компоненту наибольшую положительную нагрузку оказывает высота головы, отрицательную – диаметр глаз. На вторую главную компоненту наибольшую отрицательную нагрузку дает длина рыла. На третью главную компоненту наибольшую отрицательную нагрузку дают ширина рта, наибольшую положительную – расстояние за глазом до жаберных крышек.

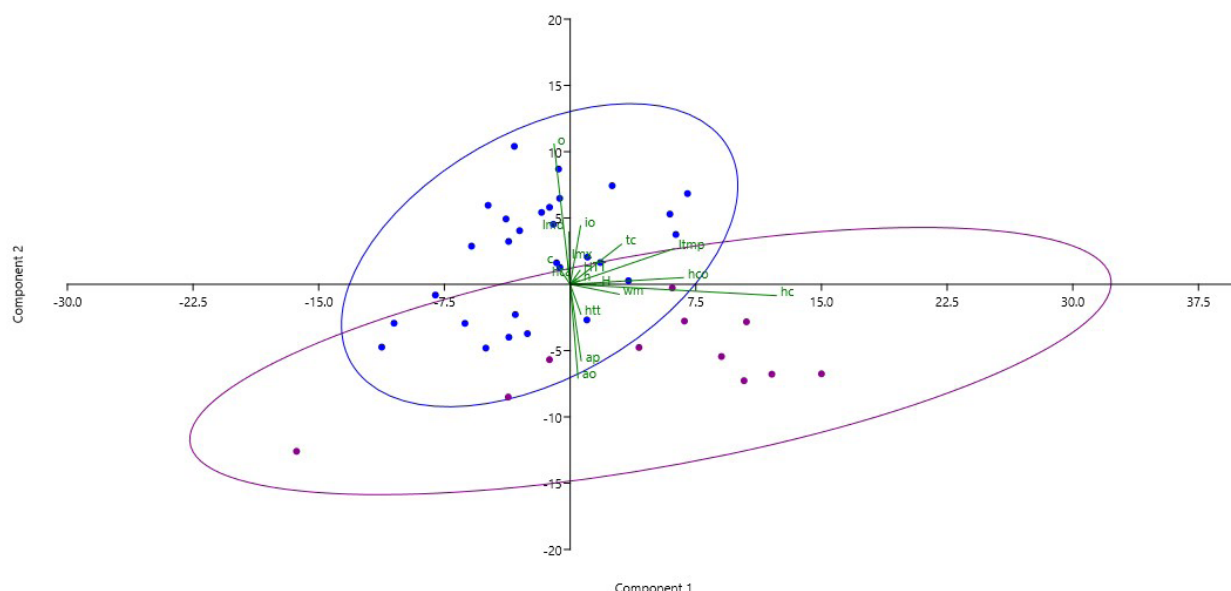


Рисунок 2 – Положение особей голого османа из рек Шелек (синие кружки и эллипс) и Борохудзир (фиолетовые кружки и эллипс) в пространстве 1-й и 2-й главных компонент, зеленым цветом показаны векторы признаков

Таблица 4 – Нагрузки 1-3 главной компонент на пластические признаки голого османа

Признаки	PC 1	PC 2	PC 3
ao	0.0292	-0.4390	-0.2735
o	-0.0596	0.6570	0.3218
op	0.0411	-0.3577	0.6845
lmx	-0.0091	0.1046	-0.0637
lmd	-0.0045	0.2454	-0.0668
wm	0.1818	-0.0464	-0.3576
hco	0.4197	0.0316	0.0721
hc	0.7637	-0.0529	0.2394
io	0.0388	0.2739	0.0176
tc	0.1903	0.1876	-0.2935
ltmp	0.3846	0.1667	-0.2157
c	-0.0452	0.0860	0.1092
H	0.0950	-0.0004	-0.0324
hca	0.0230	0.0250	0.0247
h	0.0331	0.0177	0.0111
НТТ	0.0363	0.0652	-0.0520

Полученные результаты выявили различия в питании, формах головы и ротового аппарата голого османа из двух сравниваемых рек. Подобные результаты были получены для некоторых других видов рыб [48-50]. На имеющемся материале невозможно установить причинно-следственную связь морфологии и особенностей питания. Нижний участок Шелек расположен в зоне интенсивной хозяйственной деятельности человека, что приводит к эвтрофикации водоема, в результате чего возрастает разнообразие водорослей и зараженность рыб паразитами. Плотность населения в исследованном участке р.Шелек гораздо выше, чем в бассейне р.Борохудзир [51]. Река Борохудзир испытывает меньшую антропогенную нагрузку. Таким образом, выявленные различия в питании и морфологии голого османа из двух рек отражают различия в условиях окружающей среды этих популяций.

Во всем мире наблюдается тенденция увеличения доли населения, добывающей рыбу в небольших внутренних водоемах. Это требует разностороннего изучения состояния и биологических особенностей рыб, являющихся объектами любительского рыболовства [7]. В бассейне озера Иссык-Куль голый осман является промысловым объектом, объектом аквакультуры и вылавливается в больших объемах [46, 52]. В Балкашском бассейне этот вид также высоко це-

нится рыбаками-любителями и широко используется в пищу местным населением [25], однако в настоящее время ему не уделяется достойного внимания. Полученные нами данные показали, что голый осман играет важную роль в системе самоочищения горных рек и регуляции численности кровососущих насекомых.

Заключение

В летний период голые османы в обеих исследованных реках активно питались и характеризовались хорошими показателями упитанности. Всего в рационе голого османа обнаружено 38 компонентов. Рацион рыб в р.Шелек состоял из 37 компонентов, в р.Борохудзир – из 30 компонентов. Наибольшим разнообразием представлены водоросли: диатомовые (*Bacillariophyta*), зеленые (*Chlorophyta*) и синезеленые (*Cyanophyta*). Основу питания голого османа в реках по видовому составу и частоте встречаемости составляет перифитон, однако доля личинок насекомых в пищевом спектре также существенна (*Odonata*, *Ephemeroptera*, *Coleoptera*, *Chironomidae*). Полученные данные выявили важную роль перифитона в рационе голого османа. Между двумя популяциями существуют явные различия в форме головы и строении ротового аппарата, что является результатом или следствием различий в питании.

Источник финансирования

Научно-исследовательская работа выполнена в рамках проекта AP26100721 «Исследование таксономического и функционального разнообразия

ихтиофауны Алатау» грантовом финансировании Комитет науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2025-2027 годы.

Литература

1. Nelson J. S., Grande T. C., Wilson M. V. H. *Fishes of the World*. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2016. P 752.
2. Fricke, R., Eschmeyer, W. N. & Van der Laan, R. (2020). Eschmeyer's catalog of fishes: genera, species, references. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. Electronic version accessed 29 May 2024.
3. Levêque, C., Oberdorff, T., PAUGy, D., Stiassny, M. L. J., Tedesco, P. A. Global diversity of fish (Pisces) in freshwater // *Freshwater animal diversity assessment*. – 2008. – С. 545-567.
4. Khatri, K., Jha, B. R., Gurung, S., Khadka, U. R. Freshwater fish diversity and IUCN Red List status of glacial-fed (Bheri) and spring-fed (Babai) rivers in the wake of inter-basin water transfer // *Journal of Threatened Taxa*. – 2024. – Т. 16. – №1. – С. 24535-24549. doi.org/10.11609/jott.8084.16.1.24535-24549
5. Smil, V. Harvesting the biosphere: The human impact // *Population and development review*. – 2011. – Т. 37. – №4. – С. 613-636. doi.org/10.1111/j.1728-4457.2011.00450.x
6. Dodds, W. K., Perkin, J. S., Gerken, J. E. Human impact on freshwater ecosystem services: a global perspective // *Environmental science & technology*. – 2013. – Т. 47. – №. 16. – С. 9061-9068. doi.org/10.1021/es4021052
7. Lynch, A. J., Cooke, S. J., Deines, A. M., Bower, S. D., Bunnell, D. B., Cowx, I. G., Beard Jr, T. D. The social, economic, and environmental importance of inland fish and fisheries // *Environmental reviews*. – 2016. – Т. 24. – №. 2. – С. 115-121. doi.org/10.1139/er-2015-0064
8. Darwall, W.R.T.; Freyhof, Y. Lost fishes, who is counting? The extent of the threat to freshwater fish diversity. In *Conservation of freshwater fishes*. Cambridge University press: Cambridge, 2016; pp.1-36.
9. Closs, G.P.; Angermeier, P.L.; Darwall, W.R.T.; Balcombe, S.R. Why are freshwater fish so threatened? In *Conservation of freshwater fishes*. Cambridge University press: Cambridge, – 2016. – Т. 37.
10. Reid, A.J., A.K. Carlson, I.F. Creed, E.J. Eliason, P.A. Gell, P.T. Johnson, K.A. Kidd, T.J. MacCormack. Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity // *Biological reviews*. – 2019. – Т. 94. – №. 3. – С. 849-873. doi.org/10.1111/brv.12480.
11. Su, G., Logez, M., Xu, J., Tao, S., Villéger, S., & Brosse, S. Human impacts on global freshwater fish biodiversity // *Science*. – 2021. – Т. 371. – №. 6531. – С. 835-838. doi.org/10.1126/science.abd3369.
12. Holmlund C. M., Hammer M. Ecosystem services generated by fish populations // *Ecological economics*. – 1999. – Т.29. – №2. – С. 253-268. doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00015-4.
13. Biswas S. R., Vogt R. J., Sharma S. Projected compositional shifts and loss of ecosystem services in freshwater fish communities under climate change scenarios // *Hydrobiologia*. – 2017. – Т. 799. – С. 135-149. DOI 10.1007/s10750-017-3208-1.
14. Pelicice, F. M., Agostinho, A. A., Azevedo-Santos, V. M., Bessa, E., Casatti, L., Garrone-Neto, D., ... & Zuanon, J. Ecosystem services generated by Neotropical freshwater fishes // *Hydrobiologia*. – 2023. – Т. 850. – №. 12. – С. 2903-2926. doi.org/10.1007/s10750-022-04986-7.
15. Sala, R., Deom, J. M., Aladin, N. V., Plotnikov, I. S., Nurtazin, S. Geological history and present conditions of Lake Balkhash // *Large Asian Lakes in a Changing World: Natural State and Human Impact*. – 2020. – С. 143-175. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-42254-7>.
16. Mischke S., Zhang C., Plessen B. Lake Balkhash (Kazakhstan): Recent human impact and natural variability in the last 2900 years // *Journal of Great Lakes Research*. – 2020. – Т. 46. – №. 2. – С. 267-276. doi.org/10.1016/j.jglr.2020.01.008.
17. Karazhanova A. B., Kerimbek, N. M., Lovinskaya, A. V., Kolumbayeva, S., & Abilev, S. Genotoxicity of Esentai and Ulken Almaty rivers water on animal test-systems // *European Journal of Entomology*. – 2021. – Т. 66. – С. 18-28. <https://doi.org/10.26577/EJE.2021.v66.i1.02>.
18. Lovinskaya A. V., Kolumbayeva, S. Z., Suvorova, M. A., Iliyassova, A. I., Biyasheva, Z. M., Abilev, S. K. Complex study of potential toxicity and genotoxicity of water samples from natural sources of the suburban zone of Almaty // *Ecological genetics*. – 2019. – Т. 17. – №. 2. – С. 69-81. doi.org/10.17816/ecogen17269-81.
19. Douglas M. E., Matthews W. J. Does morphology predict ecology? Hypothesis testing within a freshwater stream fish assemblage // *Oikos*. – 1992. – С. 213-224. doi.org/10.2307/3545012.
20. Braga R. R., Bornatowski H., Vitale J. R. S. Feeding ecology of fishes: an overview of worldwide publications // *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. – 2012. – Т. 22. – С. 915-929. DOI 10.1007/s11160-012-9273-7.
21. Hahn, N. S., Fugi, R., Cyrino, J. E. P., Bureau, D. P., & Kapoor, B. G. Environmental changes, habitat modifications and feeding ecology of freshwater fish // *Feeding and digestive functions of fishes*. Science, New Hampshire, USA. – 2008. – С. 35-65.
22. Митрофанов В.П., Дукравец Г.М., Мельников В.А., Баймбетов А.А., и др. Рыбы Казахстана. Алма-Ата: Наука, В 5-ти т. Т.3. 1988. 304 с, 93-105 с.
23. Тимирханов С. Р., Карабекова Д. У. Голый Осман (*Gymnoditychus Dybowskii* (Kessler, 1874)) Центральной Азии: Обзор И Систематическая Структура // *Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана*. – 2015. – №. 4. – С. 119-122.
24. Турдаков Ф. А. Рыбы Киргизии. – Ф.: АН КиргССР, 1963. – 284 с.

25. Амиргалиев Н. А., Тимирханов С. Р., Альпейсов Ш. А. Ихтиофауна и экология Алакольской системы озер. – Алматы: Бастау, 2007. – 367 с.
26. Правдин И.Ф. Руководство по изучению питания рыб – М.:Пищевая промышленность. 1966. – 376 с.
27. Kottelat M., Freyhof J. Handbook of European Freshwater Fishes. Kottelat, Cornol, Switzerland and Feyhof, Berlin, Germany. 2007. 646 p.
28. Caldarone E. M., MacLean S. A., Sharack B. Evaluation of bioelectrical impedance analysis and Fulton's condition factor as nonlethal techniques for estimating short-term responses in posts molt Atlantic salmon (*Salmo salar*) to food availability //Fishery Bulletin. – 2012. – Т. 110. – №. 2. P.257-270.
29. Richardson J. Fish health profile manual. NIWA Technical Report 38. 1998. 89 p.
30. Методическое пособие по изучению питания и пищевых взаимоотношений в естественных условиях/ отв. ред. Е.В. Боруцкий. М.: Наука, 1974. 254 с.
31. Hyslop E. J. Stomach contents analysis—a review of methods and their application// Journal of fish biology. 1980. V17. Issue 4. P.411-429 <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1980.tb02775.x>.
32. Бархалов Р.М. Методическое указание по сбору и обработке ихтиологического материала. Махачкала: Изд-во ДГПУ, 2014. 108 с.
33. Manko P. Stomach content analysis in freshwater fish feeding ecology. Vydavateľstvo: Vydavateľstvo Prešovskej univerzity, Prešov, – 2016. – Т. 116. – №. 5. – С. 1-25.
34. Amundsen P.A., Sánchez-Hernández J. Feeding studies take guts—critical review and recommendations of methods for stomach contents analysis in fish //Journal of Fish Biology. – 2019. – Т. 95. – №. 6. – С. 1364-1373. DOI: 10.1111/jfb.14151.
35. Бирштейна Я.А., Виноградова Л.Г., Кондакова Н.Н., Кун М.С., Астаховой Т.В., Романовой Н.Н. Атлас беспозвоночных Каспийского моря/под ред. М.: Пищевая промышленность, 1968. 416 с.
36. Полоскин А., Хаитов В. Полевой определитель пресноводных беспозвоночных – М., 2006. – 16 с.
37. Чертопруд М.В., Чертопруд Е.С. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра Европейской России. – 4-е изд., испр. и доп. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 219 с., ил.
38. Определитель пресноводных водорослей СССР. Том 1.2.4.5. Редкол.: профессора М. М. Голлербахз сл. деят. науки РСФСР В. П. Савич (отв. ред.) М.1951-1954 гг.
39. GBIF Secretariat (2023). GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/39omei> accessed via GBIF.org on 2024-06-12.
40. Guiry M.D. in Guiry, M.D. Guiry, G.M. 15 August 2023. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 12 June 2024.
41. Майр Э. Принципы зоологической систематики. – М.: Мир, 1971. 455 с. на с.217-219.
42. Dunstone T., Yager N. (ed.). Biometric system and data analysis: Design, evaluation, and data mining. – Boston, MA: Springer US, 2009. 268 p.
43. McDonald, J. H. Handbook of biological statistics. – Baltimore, MD: sparky house publishing, 2009. – Т. 2. – С. 6-59. 313 p.
44. Stumpf M., Balding D.J., Girolami M. Handbook of statistical systems biology. John Wiley & Sons.2011.530 p.
45. Legendre P., Legendre L. Numerical ecology. – Elsevier, 2012. – 852 p.
46. Лебедев В. Д., Спановская В. Д., Савваитова К. А., Соколов Л. И., Цепкин Е. А. Рыбы СССР. — М.: Мысль, 1969. – С. 191-192.
47. Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2024. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (02/2024). Accessed 31 May 2024.
48. Carroll, A. M., Wainwright, P. C., Huskey, S. H., Collar, D. C., & Turingan, R. G. Morphology predicts suction feeding performance in centrarchid fishes //Journal of Experimental Biology. – 2004. – Т. 207. – №. 22. – С. 3873-3881. doi.org/10.1242/jeb.01227.
49. Luczkovich, J. J., Motta, P. J., Norton, S. F., & Liem K. F. (Eds.). Ecomorphology of fishes. – Springer Science & Business Media, 2013. – Т. 16.
50. DeLaurier A. Evolution and development of the fish jaw skeleton //Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biology. – 2019. – Т. 8. – №. 2. – С. e337. doi.org/10.1002/wdev.337.
51. Население Республики Казахстан 1 том. – Астана: Агентство по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Бюро национальной статистики, 2023. – 217 с.
52. Kustareva L. A., Naseka A. M. Fish diversity in Kyrgyzstan: Species composition, fisheries and management problems // Aquatic Ecosystem Health & Management. – 2015. – Т. 18. – №. 2. – С. 149-159. doi.org/10.1080/14634988.2015.1028309.

References

1. Amirgaliev N. A., Timirhanov S. R., Alpejsov Sh. A.(2007). Ihtiofauna i ekologiya Alakolskoj sistemy ozer.[Ichthyofauna and ecology of the Alakol lake system]. – Алматы: Bastau, 367 s.
2. Amundsen P.A., Sánchez-Hernández J. (2019). Feeding studies take guts—critical review and recommendations of methods for stomach contents analysis in fish //Journal of Fish Biology.T. 95. – №. 6. – С. 1364-1373. DOI: 10.1111/jfb.14151.
3. Barhalov R.M.(2014). Metodicheskoe ukazanie po sboru i obrabotke ihtiologicheskogo materiala.[Methodological guidelines for the collection and processing of ichthyological material]. Mahachkala: Izd-vo DGPU, 108 s.
4. Birshtejna Ya.A., Vinogradova L.G., Kondakova N.N., Kun M.S., Astahovoj T.V., Romanovoj N.N.(1968). Atlas bespozvonochnyh Kaspijskogo morya.[Atlas of invertebrates of the Caspian Sea]./pod red. M.: Pishevaya promyshlennost. 416 s.

5. Biswas S. R., Vogt R. J., Sharma S. (2017). Projected compositional shifts and loss of ecosystem services in freshwater fish communities under climate change scenarios // *Hydrobiologia*. T. 799. – С. 135-149. DOI 10.1007/s10750-017-3208-1.
6. Braga R. R., Bornatowski H., Vitule J. R. S. (2012). Feeding ecology of fishes: an overview of worldwide publications // *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. T. 22. – С. 915-929. DOI 10.1007/s11160-012-9273-7.
7. Caldaroni E. M., MacLean S. A., Sharack B. (2012). Evaluation of bioelectrical impedance analysis and Fulton's condition factor as nonlethal techniques for estimating short-term responses in postsmolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) to food availability // *Fishery Bulletin*. T. 110. – №. 2. P. 257-270.
8. Carroll, A. M., Wainwright, P. C., Huskey, S. H., Collar, D. C., & Turingan, R. G. (2004). Morphology predicts suction feeding performance in centrarchid fishes // *Journal of Experimental Biology*. T. 207. – №. 22. – С. 3873-3881. doi.org/10.1242/jeb.01227.
9. Chertoprud M.V., Chertoprud E.S. (2011). *Kratkij opredelitel bespozvonochnyh presnyh vod centra Evropejskoj Rossii*. [A brief definition of invertebrates of fresh waters of the center of European Russia]. – 4-e izd., ispr. i dop. M.: Tovarishestvo nauchnyh izdanij KMK. 219 s., il.
10. Closs, G.P.; Angermeier, P.L.; Darwall, W.R.T.; Balcombe, S.R. (2016). Why are freshwater fish so threatened? In *Conservation of freshwater fishes*. Cambridge University press: Cambridge. pp. 37-75.
11. Darwall, W.R.T.; Freyhof, Y. (2016). Lost fishes, who is counting? The extent of the threat to freshwater fish diversity. In *Conservation of freshwater fishes*. Cambridge University press: Cambridge. pp. 1-36.
12. DeLaurier A. (2019). Evolution and development of the fish jaw skeleton // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biology*. T. 8. – №. 2. – С. e337. doi.org/10.1002/wdev.337.
13. Dodds, W. K., Perkin, J. S., Gerken, J. E. (2013). Human impact on freshwater ecosystem services: a global perspective // *Environmental science & technology*. T. 47. – №. 16. – С. 9061-9068. doi.org/10.1021/es4021052.
14. Douglas M. E., Matthews W. J. (1992). Does morphology predict ecology? Hypothesis testing within a freshwater stream fish assemblage // *Oikos*. C. 213-224. doi.org/10.2307/3545012.
15. Dunstone T., Yager N. (2009). *Biometric system and data analysis: Design, evaluation, and data mining*. – Boston, MA: Springer US. 268 p.
16. Fricke, R., Eschmeyer, W. N. & Van der Laan, R. (2020). Eschmeyer's catalog of fishes: genera, species, references. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> Electronic version accessed 29 May 2024.
17. Froese, R. and D. Pauly. Editors. (2024). FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (02/2024). Accessed 31 May 2024.
18. GBIF Secretariat (2023). GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/39omei> accessed via GBIF.org on 2024-06-12.
19. Guiry M.D. in Guiry, M.D. & Guiry, G.M. (15 August 2023). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 12 June 2024.
20. Hahn, N. S., Fugli, R., Cyrino, J. E. P., Bureau, D. P., & Kapoor, B. G. (2008). Environmental changes, habitat modifications and feeding ecology of freshwater fish // *Feeding and digestive functions of fishes*. Science, New Hampshire, USA. C. 35-65.
21. Holmlund C. M., Hammer M. (1999). Ecosystem services generated by fish populations // *Ecological economics*. T. 29. – №2. – С. 253-268. doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00015-4.
22. Hyslop E. J. (1980). Stomach contents analysis—a review of methods and their application // *Journal of fish biology*. V17. Issue 4. P. 411-429 <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1980.tb02775.x>
23. Karazhanova A. B., Kerimbek, N. M., Lovinskaya, A. V., Kolumbayeva, S., & Abilev, S. (2021). Genotoxicity of Esentai and Ulken Almaty rivers water on animal test-systems // *European Journal of Entomology*. T. 66. – С. 18-28. <https://doi.org/10.26577/EJE.2021.v66.i1.02>
24. Khatri, K., Jha, B. R., Gurung, S., & Khadka, U. R. (2024). Freshwater fish diversity and IUCN Red List status of glacial-fed (Bheri) and spring-fed (Babai) rivers in the wake of inter-basin water transfer // *Journal of Threatened Taxa*. T. 16. – №1. – С. 24535-24549. doi.org/10.11609/jott.8084.16.1.24535-24549.
25. Kottelat M., Freyhof J. (2007). *Handbook of European Freshwater Fishes*. Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany. 646 p.
26. Kustareva L. A., Naseka A. M. (2015). Fish diversity in Kyrgyzstan: Species composition, fisheries and management problems // *Aquatic Ecosystem Health & Management*. T. 18. – №. 2. – С. 149-159. doi.org/10.1080/14634988.2015.1028309.
27. Legendre P., Legendre L. (2012). *Numerical ecology*. – Elsevier, 852 p.
28. Lebedev V. D., Spanovskaya V. D., Savvaitova K. A., Sokolov L. I., Cepkin E. A. (1969). *Ryby SSSR*. [Pisces of the USSR]— M.: Mysl, S. 191-192.
29. Levêque, C., Oberdorff, T., PAUGy, D., Stiassny, M. L. J., & Tedesco, P. A. (2008). Global diversity of fish (Pisces) in freshwater // *Freshwater animal diversity assessment*. C. 545-567.
30. Lovinskaya A. V., Kolumbayeva, S. Z., Suvorova, M. A., Iliyassova, A. I., Biyasheva, Z. M., & Abilev, S. K. (2019). Complex study of potential toxicity and genotoxicity of water samples from natural sources of the suburban zone of Almaty // *Ecological genetics*. T. 17. – №. 2. – С. 69-81. doi.org/10.17816/ecogen17269-81.
31. Luczkovich, J. J., Motta, P. J., Norton, S. F., & Liem K. F. (2013). *Ecomorphology of fishes*. – Springer Science & Business Media, T. 16.
32. Lynch, A. J., Cooke, S. J., Deines, A. M., Bower, S. D., Bunnell, D. B., Cowx, I. G., Beard Jr, T. D. (2016). The social, economic, and environmental importance of inland fish and fisheries // *Environmental reviews*. T. 24. – №. 2. – С. 115-121. doi.org/10.1139/er-2015-0064.

33. Majr E. (1971). Principy zoologicheskoy sistematiki. [Principles of zoological systematics]. – M.: Mir., 455 s. na s.217-219.
34. Manko P.(2016). Stomach content analysis in freshwater fish feeding ecology. Vydavatel'stvo: Vydavatel'stvo Prešovskej univerzity, Prešov, T. 116. – №. 5. – C. 1-25.
35. McDonald, J. H. (2009). Handbook of biological statistics. – Baltimore, MD: sparky house publishing. T. 2. C. 6-59. 313 p.
36. Mischke S., Zhang C., Plessen B. (2020). Lake Balkhash (Kazakhstan): Recent human impact and natural variability in the last 2900 years //Journal of Great Lakes Research. T. 46. – №. 2. – C. 267-276. doi.org/10.1016/j.jglr.2020.01.008.
37. Mitrofanov V.P., Dukravec G.M., Melnikov V.A., Baimbetov A.A., (1988). Ryby Kazahstana. [Fishes of Kazakhstan] Alma-Ata: Nauka, V 5-ti t. T.3. 304 s, 93-105 c.
38. Metodicheskoe posobie po izucheniyu pitaniya i pishevyh vzaimootnoshenij v estestvennyh usloviyah. [Methodological guide to the study of nutrition and food relationships in natural conditions]. / otv. red. E. V. Boruckij. M.: Nauka, 1974. 254 s.
39. Naselenie Respubliki Kazahstan 1 tom.[Population of the Republic of Kazakhstan 1 volume] – Astana: Agentstvo po strategicheskemu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazahstan. Byuro nacionalnoj statistiki, 2023. – 217 s.
40. Nelson J. S., Grande T. C., Wilson M. V. H.(2016). Fishes of the World. – New Jersey: John Wiley & Sons, P 752.
41. Opredelitel presnovodnyh vodoroslej SSSR. [Determinant of freshwater algae of the USSR]. Tom 1.2.4.5. Redkol.: professora M. M. Gollerbahza sl. deyat. nauki RSFSR V. P. Savich (otv. red.) M.1951-1954 gg.
42. Pelicice, F. M., Agostinho, A. A., Azevedo-Santos, V. M., Bessa, E., Casatti, L., Garrone-Neto, D., Zuanon, J. (2023). Ecosystem services generated by Neotropical freshwater fishes //Hydrobiologia. T. 850. – №. 12. – C. 2903-2926. doi.org/10.1007/s10750-022-04986-7.
43. Poloskin A., Haitov V. (2006). Polevoj opredelitel presnovodnyh bespozvonochnyh. [Field determinant of freshwater invertebrates].– M., 16 s.
44. Pravdin I.F. (1966). Rukovodstvo po izucheniyu pitaniya ryb.[A guide to the study of fish nutrition].– M.: Pishevaya promyshlennost. 376 s.
45. Reid, A.J., A.K. Carlson, I.F. Creed, E.J. Eliason, P.A. Gell, P.T. Johnson, K.A. Kidd, T.J. MacCormack. (2019). Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity //Biological reviews. T. 94. – №. 3. – C. 849-873. doi.org/10.1111/brev.12480.
46. Richardson J.(1998). Fish health profile manual. NIWA Technical Report 38. 89 p.
47. Sala, R., Deom, J. M., Aladin, N. V., Plotnikov, I. S., & Nurtazin, S. (2020). Geological history and present conditions of Lake Balkhash //Large Asian Lakes in a Changing World: Natural State and Human Impact. C. 143-175. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42254-7
48. Smil, V. (2011). Harvesting the biosphere: The human impact //Population and development review. T. 37. – №4. – C. 613-636. doi.org/10.1111/j.1728-4457.2011.00450.x.
49. Stumpf M., Balding D. J., Girolami M. (2011). Handbook of statistical systems biology. John Wiley & Sons. 530 p.
50. Su, G., Logez, M., Xu, J., Tao, S., Villéger, S., Brosse, S. (2021). Human impacts on global freshwater fish biodiversity // Science. T. 371. – №. 6531. – C. 835-838. doi.org/10.1126/science.abd3369.
51. Timirhanov S. R., Karabekova D. U. (2015). Golyj Osman (Gymnoditychus Dybowskii (Kessler, 1874)) Centralnoj Azii: Obzor I Sistematicheskaya Struktura. [Naked Osman (Gymnoditychus Dybowskii (Kessler, 1874)) Of Central Asia: A Review And Systematic Structure]//Nauka, novye tehnologii i innovacii Kyrgyzstana. №. 4. – S. 119-122.
52. Turdakov F. A. (1963). Ryby Kirgizii.[Fish of Kyrgyzstan] – F.: AN KirgSSR, 284 s.

Сведения об авторах:

Хасенгазиева Гульнур Куанышовна – старший преподаватель КазНУ имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: g96-17@mail.ru);

Мамилов Надир Шамилович – кандидат биологических наук, асс. профессор, КазНУ имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: mamilov@gmail.com).

Information about authors:

Khassengazyeva Gulnur, Senior Lecturer at Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: g96-17@mail.ru)

Mamilov Nadir Shamilevich – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, (Almaty, Kazakhstan, e-mail: mamilov@gmail.com)

Авторлар туралы мәлімет:

Гүлнүр Қуанышқызы Хасенгазиева – Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің аға оқытушысы, (Алматы, Қазақстан, e-mail: g96-17@mail.ru)

Мамилов Нәдір Шамильевич – биология ғылымдарының кандидаты, доцент, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, (Алматы, Қазақстан, e-mail: mamilov@gmail.com)

Поступило 16 июня, 2024 года

Принято 20 августа 2025 года

3-бөлім
ЭКОЛОГИЯ

Section 3
ECOLOGY

Раздел 3
ЭКОЛОГИЯ

Г.А. Конарбаева¹ , З.М. Сергазинова^{2*} , В.В. Дёмин¹ 

¹Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

²НАО «Торайгыров университет», Павлодар, Казахстан

*e-mail: mszarinam@mail.ru

К ВОПРОСУ О ПОТЕРЯХ БРОМА В ПОЧВЕННЫХ ОБРАЗЦАХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ

В данной статье изучена проблема потерь брома при длительном хранении почвенных образцов. Для этого были исследованы почвенные образцы Кулундинской равнины. Основу почвенного покрова этой равнины составляют черноземы и каштановые почвы на водораздельных пространствах, развивающихся в отрыве от грунтовых вод. На склонах и в понижениях широко распространены полугидроморфные и гидроморфные солонцы и луговые почвы, часто засоленные. В почвенных образцах, отобранных по генетическим горизонтам, определены содержание гумуса, гранулометрический состав по Качинскому с пробоподготовкой пирофосфатом натрия, pH – потенциометрическим методом. Результаты исследования показали, что длительное хранение почвенных образцов приводит к очень значительным потерям валового брома, что может влиять на достоверность агроэкологических и эколого-геохимических оценок. Процент потерь брома в исследованных почвах варьирует в интервале от 86,36 % до 100 %. Это особенно важно при мониторинге состояния агроландшафтов, оценке биогеохимических циклов и планировании устойчивого землепользования. Наибольшие потери брома наблюдаются в горизонтах ВС (100 %) и С (100 %) луговой солончаковой слабогумусированной супесчаной почвы Кулундинской равнины, а также в горизонте В2 (100 %) каштановой легкосуглинистой почвы. Анализ почвенных образцов на содержание брома должен быть проведен сразу после их высушивания и растирки. Нами также изучены потери йода. Процент потерь йода варьирует в интервале 2-39,02 %. Строгой закономерности в потерях не обнаружено. Опубликованные исследования по потерям йода выполнены достаточно давно, о потерях брома вообще отсутствуют данные. Анализ потерь обоих галогенов за разные периоды хранения имеет высокую значимость для агроэкологии, особенно в зонах с интенсивным сельскохозяйственным использованием.

Ключевые слова: почва, бром, йод, потеря, летучесть.

G.A. Konarbaeva¹, Z.M. Sergazina^{2*}, V.V. Demin¹

¹Institute of soil science and agrochemistry Siberian Branch, Russian Academy of Science, Novosibirsk, Russia

²NJSC «Toraigrov University», Pavlodar, Kazakhstan

*e-mail: mszarinam@mail.ru

On the question of losses of bromine in soil samples as a result of long-term storage

In this article the problem of bromine losses during long-term storage of soil samples is studied. For this purpose, soil samples from the Kulunda Plain were studied. The soil cover of this plain is based on chernozems and chestnut soils on watershed areas developing in isolation from groundwater. Semi-hydromorphic and hydromorphic solonetz and meadow soils, often saline, are widespread on slopes and in depressions. In soil samples taken according to genetic horizons, humus content, granulometric composition according to Kachinsky method with sample preparation by sodium pyrophosphate, pH – by potentiometric method were determined. The results of the study showed that long-term storage of soil samples leads to very significant losses of gross bromine, the analysis of soil samples for bromine content should be carried out immediately after their drying and rubbing. We have also studied iodine losses. The percentage of iodine losses varies in the range of 2-39.02 %. No strict regularity in the losses was found. Published studies on iodine losses have been carried out quite a long time ago, there are no data on bromine losses at all. Analysis of losses of both halogens for the same soil sample for different storage periods would be very useful for making recommendations on storage periods.

Keywords: soil, bromine, iodine, storage losses, volatility.

Г.А.Конарбаева¹, З.М. Сергазинова^{2*}, В.В. Дёмин¹

¹РГА СБ Агрохимия және топырақтану институты, Новосибирск, Ресей

²«Торайғыров университеті» ҚАҚ, Павлодар, Қазақстан

*e-mail: mszarinam@mail.ru

Ұзақ мерзімді сақтау нәтижесінде топырақ үлгілеріндегі бромның жоғалуы

Бұл мақалада топырақ үлгілерін ұзақ уақыт сақтау кезінде бромның жойылу мәселесі зерттелген. Ол үшін Құлынды жазығының топырақ үлгілері зерттелді. Бұл жазықтың жер жамылғысының негізі жер асты суларынан бөлініп дамитын бөлінетін кеңістіктердегі қара топырақтар мен қызыл топырақтарынан тұрады. Беткейлерде және төмен жерлерде жартылай гидроморфты және гидроморфты сортаңдар мен көбінесе тұзды шалғынды топырақтар кең таралған. Генетикалық горизонттар бойынша іріктелген топырақ үлгілерінде қара шіріктің құрамы, натрий пирогосфатымен сынама дайындау Качинскийдің гранулометриялық құрамы, Ph – потенциометриялық әдісі анықталды. Зерттеу нәтижелері топырақ үлгілерін ұзақ уақыт сақтау агроэкологиялық және экологиялық пен геохимиялық бағалаулардың дұрыстығына әсер етуі мүмкіндігі жалпы бромның айтарлықтай жоғалуына әкелетінін көрсетті. Зерттелген топырақтағы бром шығынының пайызы 86,36%-дан 100%-ға дейін өзгереді. Бұл әсіресе ауылшаруашылық ландшафттарының жағдайын бақылау, биогеохимиялық циклдарды бағалау және жерді тұрақты пайдалануды жоспарлау кезінде өте маңызды. Бромның ең үлкен шығыны BC (100 %) және C (100 %) көкжиектерінде, сондай-ақ қызыл жеңіл сазды топырағының B2 (100 %) көкжиегінде байқалады. Бром құрамындағы топырақ үлгілерін талдау оларды кептіріп, сүрткеннен кейін бірден жүргізілуі керек. Сонымен бірге йодтың жоғалуын зерттелді. Йодтың жоғалу пайызы 2-39,02% аралығында өзгереді. Шығындардың қатаң заңдылықтары табылған жоқ. Йодтың жойылуы туралы жарияланған зерттеулер ұзақ уақыт бойы жүргізілді, бромның жойылуы туралы мәліметтер мүлдем жоқ. Әр түрлі сақтау кезеңдеріндегі екі галогеннің де жойылуын талдау агроэкология, әсіресе ауыл шаруашылығын көп пайдаланатын аймақтар үшін жоғары маңызға ие.

Түйін сөздер: топырақ, бром, йод, жоғалуы, ұшпалылық.

Введение

Согласно [1,2] бром – сильнолетучий элемент, а его соли легкорастворимы. Кроме того, по мнению этих же авторов вопреки наблюдаемой сорбции брома органическим веществом и глинами, он известен как легковыщелачиваемый элемент из почвенного профиля, что может свидетельствовать о его потерях в профиле почв. На летучесть брома указывает и ряд авторов. Бром – летучий, токсичный элемент [3-6]. В свободном состоянии бром имеет двухатомное строение Br₂ (в парах обнаружены молекулы Br₄) обусловленное высокой летучестью и низкой энтальпией испарения [7]. По мнению Перельмана [8] ввиду высокой химической активности, бром подвижен в любой геохимической обстановке, легко мигрирует в виде растворимых соединений, редко образуя твердые минеральные формы.

В то же время хотелось бы отметить, что в классических учебниках по неорганической химии нами не найдено, что бром – сильнолетучий элемент [9-10], но при этом Реми [9] подчеркнута значительно большая

летучесть галогеноводородов по сравнению с галогенидами щелочных металлов.

Так как в поведении брома и йода в почвах много одинаковых моментов, поэтому мы подумали, что в случае с бромом и его потери возможны в результате длительного хранения.

Анализ проб горных пород свидетельствует о существенном снижении концентрации йода в образцах в процессе их хранения. Валовое содержание йода после пятилетнего хранения проб горных пород снижалось в среднем в 3 раза, а в отдельных случаях - в 10-кратных размерах [11].

По данным Кашина [12] при хранении измельченных проб в бумажных пакетах в течение 5 месяцев из них улетучивалось до 80% (в среднем 30%) йода (подвижной формы). Так что по мнению исследователя, наилучшим способом предотвращения потерь йода является сокращение до минимума сроков хранения проб.

Нами также изучены потери йода. Почвенные образцы из шести разрезов, которые хранили упакованными в двойные полиэтиленовые пакеты, были проанализированы с интервалом в

шесть месяцев. Некоторые результаты анализа приведены в таблице 1. [13]. Процент потерь йода варьирует в интервале 2-39,02 %. Строгой закономерности в потерях не обнаружено, однако необходимо отметить, что больший процент потерь наблюдается в почвах легкого гранулометрического состава, это обусловлено

скорее всего тем, что в них меньше йода, химически связанного с компонентами почвы. Удерживаемость почвой йода, связанного по механизмам сорбции, которой соответствует десорбция, гораздо слабее, поэтому он из почв легкого гранулометрического состава, к тому же обедненных гумусом, теряется больше [14].

Таблица 1 – Изменение содержания йода в почвах в результате длительного хранения образцов

Почва	Глубина, см	I, мг/кг почвы		Снижение концентрации I, %
		Свежий образец	Через 6 мес. хранен.	
Подзол иллювиально-гумусово-железистый	6-12	0.16	0.12	25.00
	12-16	0.13	0.09	30.70
	16-22	0.48	0.32	33.33
	27-34	0.98	0.82	16.32
	39-50	0.25	0.20	20.00
	80-90	0.30	0.24	20.00
	100-110	0.36	0.28	22.22
Глубокодерновая глубокоподзолистая	4-9	1.98	1.88	5.05
	12-16	0.31	0.28	9.67
	20-25	0.83	0.76	8.43
	45-50	0.63	0.52	17.46
	50-58	0.72	0.56	22.22
	58-63	0.40	0.32	20.00
Подзол иллювиально-железистый	2-4	0.81	0.75	7.40
	21-27	0.009	0.06	33.30
	41-49	0.45	0.31	31.11
	57-64	0.69	0.55	20.28
	64-69	0.41	0.25	39.02
Солодь луговая	10-18	0.70	0.64	8.57
	23-30	1.17	1.08	7.69
	40-50	2.49	2.44	2.00
	67-77	4.51	4.28	5.09
	85-95	3.98	3.56	10.55
Дерново-подзолистая со вторым гумусовым горизонтом	6-9	1.72	1.60	6.97
	9-14	0.51	0.48	5.88
	14-23	0.44	0.32	27.27
	23-32	0.62	0.56	9.67
	33-43	0.27	0.19	29.62
	44-55	0.40	0.32	20.00
	72-82	0.48	0.40	16.67

Кроме того, потери брома и йода в результате длительного хранения почвенных образцов обусловлены процессами высушивания их, так как определение элементов в сырых пробах возможно лишь в очень редких случаях. При высушивании образцов происходит испарение содержащейся в ней влаги, а также потери легколетучих химических элементов, к которым относятся бром и йод, последний в большей степени. Потери брома, также как и йода, могут происходить в процессе растирки почвенных

образцов, когда становится возможным улетучивание брома и йода, если они находятся в составе химических соединений, способных к разрушению.

Потери брома и йода, обусловленные хранением образцов, имеют не только аналитическую, но и агроэкологическую значимость, так как могут влиять на результаты оценки почвенного плодородия, биодоступности микроэлементов, а также общего экологического состояния агроландшафтов. В условиях антропоген-

ной нагрузки точная оценка содержания элементов становится особенно важной для разработки мер по охране и восстановлению почв.

Материалы и методы исследования

Для данного исследования мы использовали почвенные образцы Кулундинской равнины. Основу почвенного покрова этой равнины составляют черноземы и каштановые почвы на водораздельных пространствах, развивающихся в отрыве от грунтовых вод. На склонах и в понижениях широко распространены полугидроморфные и гидроморфные солонцы и луговые почвы, часто засоленные.

Первый ключевой участок располагался на берегу реки Баган (Новосибирская область). В мезорельефе были выделены три позиции (элювиальная, транзитная и аккумулятивная). В элювиальной зоне расположен чернозем южный деформированный маломощный легкосуглинистый осолоделый (разрез 1). В транзитной зоне – луговая сильносолонцеватая маломощная почва малогумусная и легкосуглинистая (разрез 2). В аккумулятивной зоне – солонец черноземно-луговой мелкий среднесуглинистый (разрез 3).

Второй участок расположен на низменной равнине в излучине реки Бурла (рядом с селом Бурла Алтайского края). Также заложена почвенная catena из трех разрезов. В элювиальной зоне расположена каштановая осолодевшая среднемощная легкосуглинистая почва (разрез 6). В транзитной зоне – солонец черноземно-луговой солончаковый высокогипсовый мелкий легкосуглинистый (разрез 4) и в аккумулятивной – луговая солончаковая малогумусная легкосуглинистая почва (разрез 5).

Участок в долине реки Кулунда находится в ее среднем течении у с. Нижняя Чуманка Алтайского края. В элювиальной зоне расположена лугово-черноземная маломощная слабогумусированная супесчаная почва (разрез 7), в элювиально-аккумулятивной зоне – солонец черноземно-луговой солончаковый легкосуглинистый (разрез 8), в аккумулятивной – луговая солончаковая маломощная слабогумусированная супесчаная почва (разрез 9).

В таблице 2 приведены некоторые физико-химические показатели и изменение валового содержания брома до и после длительного хранения в почвенных образцах изученных caten. Средние потери Br (%): 97,53. Стандартное отклонение потерь Br (%): 2,59.

Таблица 2 – Некоторые физико-химические показатели и изменение валового содержания брома до и после длительного хранения в почвенных образцах изученных caten

Разрез	Почва	Горизонт*	Глубина, см	Гумус, %	Физ. глина, %	Ил, %	pH (водн.)	Br валовый, мг/кг	Br, мг/кг (после хранения)	Процент потерь, %
P1 Баган	Чернозем южный легкосуглинистый	A+AB	0-20	1,96	23,3	14,6	6,2	10,4	0,14	98,65
		B	30-40	0,14	24,4	16,7	6,6	4,8	0,37	92,29
		B _k	62-72	0,09	14,2	2,2	7,4	2,1	0,13	93,81
		BC	90-100	0,05	28,1	18,5	7,4	2,3	0,00	100,00
P2 Баган	Луговая маломощная легкосуглинистая	A	0-10	3,81	23,2	7,1	6,3	20,9	0,16	99,23
		A _{пах.}	14-24	1,94	26,0	12,0	6,2	-	0,35	-
		B _k	30-40	0,93	36,7	26,2	7,5	16,7	0,37	97,78
		B _c	45-55	0,59	47,0	33,3	7,8	12,5	0,21	98,32
P3 Баган	Солонец		80-90	0,34	63,4	35,8	8,4	10,2	0,11	98,92
		A	0-10	3,94	21,4	4,9	6,4	5,8	0,02	99,66
		B	10-20	2,18	34,6	21,7	7,6	9,2	0,05	99,46
		B _c	20-27	1,30	45,5	31,1	8,3	21,4	0,06	99,72
		B	29-39	0,77	40,5	27,7	8,8	-	0,14	-
		BC	45-65	0,44	50,6	34,3	9,2	14,1	0,23	98,37
P4 Бурла	Солонец черноземно-луговая солончаковая	C	90-100	0,22	44,4	27,7	9,2	7,4	0,13	98,24
		A	0-4	5,76	15,1	3,9	7,3	5,8	0,15	97,41
		B ₁	4-16	2,44	41,4	27,1	-	9,2	0,35	96,20

Продолжение таблицы

	легкосуглинистая почва	B ₂	23-33	0,71	40,9	28,4	8,7	21,4	0,18	99,16
		B ₃	38-48	0,54	44,8	31,3	8,2	14,1	0,29	97,94
		BC	50-60	0,48	49,2	32,0	8,0	7,4	0,42	94,32
		CD	75-85	0,23	21,4	15,2	8,1	5,1	0,21	95,88
			103-113	0,25	28,8	19,4	8,2	-	0,10	-
\	\	А _{дерн.}	0-7	4,34	25,0	8,8	7,5	23,9	0,11	99,54
		А	7-21	2,00	30,4	18,4	7,8	21,0	0,19	99,10
		AB	22-32	1,07	29,6	19,7	8,4	17,7	0,36	97,97
		В	50-60	0,54	35,4	24,0	8,3	12,5	0,46	96,32
		BC	80-90	0,27	26,0	18,3	7,9	-	0,32	-
		С	100-110	0,24	27,3	18,9	7,7	8,2	0,23	97,20
Р6	Бурла	А _{дерн.}	0-4	3,40	20,4	7,7	6,5	2,0	0,10	95,00
		А _{старпах.}	4-20	2,12	21,1	8,0	6,7	2,1	0,14	93,33
		В ₁	22-32	1,14	25,7	16,8	6,5	-	0,08	-
		В ₂	45-55	0,75	18,1	12,0	6,8	1,3	0,00	100,00
		BCA	65-75	0,61	21,6	14,1	7,6	2,4	0,24	90,00
			95-105	0,28	-	-	8,0	2,6	0,18	93,08
Р7	Кулунда	А _{пах.}	0-20	2,03	11,6	4,7	6,3	3,3	0,06	98,18
		А _{старпах.}	20-32	0,97	10,9	5,6	6,7	2,7	0,01	99,63
		AB	32-39	0,57	11,2	5,8	6,6	2,2	0,05	97,73
		В	47-57	0,25	11,2	8,4	6,7	1,7	0,16	90,59
		BC	85-95	0,19	14,7	10,6	6,9	2,2	0,30	86,36
Р8	Кулунда	А	0-11	3,61	16,0	4,3	6,7	6,0	0,05	99,17
		В ₁	11-24	2,09	44,2	29,2	8,3	10,4	0,08	99,23
		В ₂	40-50	0,40	32,0	21,7	8,9	14,1	0,09	99,36
		BC _g	65-75	0,30	36,4	26,6	8,9	23,7	0,21	99,11
		С	88-98	0,22	34,5	23,0	8,7	23,0	0,00	100,00
Р9	Кулунда	А _k	20-30	0,71	22,3	12,8	7,7	11,7	0,14	98,80
		В _k	43-53	0,25	23,5	17,3	8,1	9,5	0,04	99,58
		BC _k	70-80	0,13	18,6	13,4	8,4	8,2	0,00	100,00
		С _k	93-103	0,11	17,9	11,7	8,3	7,9	0,00	100,00

Индексы горизонтов: А_{пах.} – пахотный горизонт, изменённый вспашкой; А_{дерн.} – дерновый горизонт; А_{старпах.} – старопашотный горизонт; BC_g – горизонты с признаками оглеения; А_k – гумусовый горизонт с карбонатами; В_k – горизонт с накоплением карбонатов; BC_k – переходный горизонт от В к С с признаками накопления карбонатов; С_k – материнская порода с карбонатами.

Сушка образцов производилась при комнатной температуре в специально оборудованном помещении. Растирали образцы в фарфоровой ступке, и просеивали через сито 1 мм. Образцы хранились в двойных полиэтиленовых пакетах при комнатной температуре и без доступа света.

Определение брома проводилось йодометрическим методом, по методике Винклера. Предварительное озоление и перевод в раствор осуществлялся по методике В.Ф. Каменева [15].

В почвенных образцах, отобранных по генетическим горизонтам, определены содержание гумуса, гранулометрический состав по Качинскому с пробоподготовкой пирофосфатом натрия, pH – потенциометрическим методом.

Результаты исследования и их обсуждение

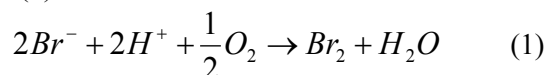
Преобладающие формы брома в разных почвах:

- в щелочных почвах (pH > 7) преобладают броматы (BrO₃⁻), которые обладают более высокой устойчивостью к потере через испарение или выщелачивание;

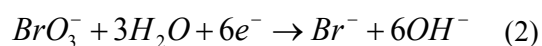
- в нейтральных и слабокислых почвах (pH 5,5–7) основными формами брома являются бромиды (Br⁻), которые могут окисляться или адсорбироваться на органическом веществе и минералах;

- в кислых почвах ($pH < 5,5$) потери брома наиболее значительны из-за возможного окисления бромидов до элементарного брома (Br_2), который легко улетучивается.

Согласно таблице 2, окисление бромидов в кислых почвах подтверждено высокой потерей брома (1):



Восстановление броматов в щелочных почвах, объясняет относительно низкие потери брома (2):



Исследование потерь брома в почвенных образцах показало значительное уменьшение его содержания в зависимости от условий хранения. Важными факторами, влияющими на потери, являются pH почвы, гранулометрический состав и содержание гумуса.

Зависимость потерь брома от pH почвы – потери брома выше в кислых почвах, но остаются значительными и в щелочных условиях (рисунок 1).

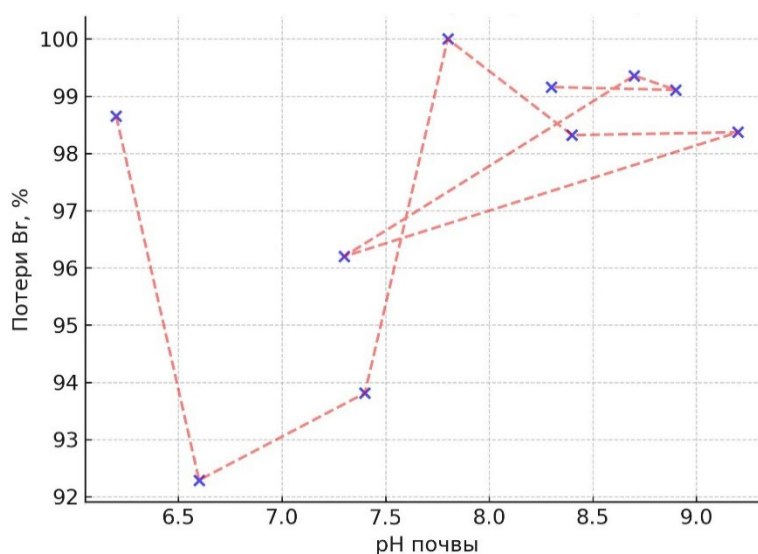


Рисунок 1 – Зависимость потерь брома от pH почвы

Зависимость потерь брома от содержания глины – потери брома снижаются при увеличении содержания глины (рисунок 2). Наиболее высокие потери наблюдаются в песчаных и супесчаных почвах.

Зависимость потерь брома от содержания гумуса – при увеличении гумуса потери брома уменьшаются (рисунок 3). Это связано с высокой сорбционной способностью органического вещества.

Установленные зависимости потерь брома от pH , гранулометрического состава и содер-

жания гумуса подчёркивают необходимость комплексного агроэкологического подхода к хранению и анализу почв. Это особенно актуально при агрохимическом мониторинге, разработке технологий устойчивого земледелия, а также при проектировании безопасного хранения образцов в рамках долгосрочных экологических наблюдений. Значительные потери брома могут исказить картину загрязнения почв, сделать недостоверными агрохимические карты и привести к ошибкам в интерпретации результатов экологического мониторинга.

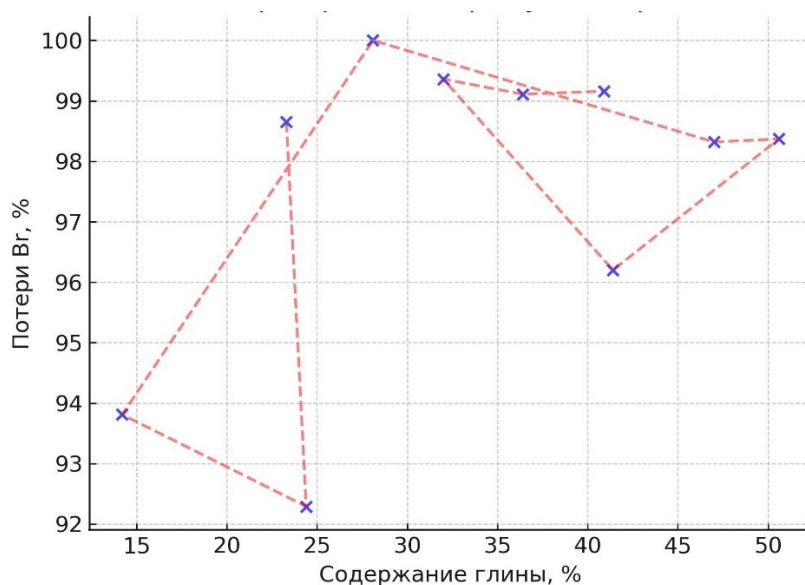


Рисунок 2 – Зависимость потерь брома от содержания глины

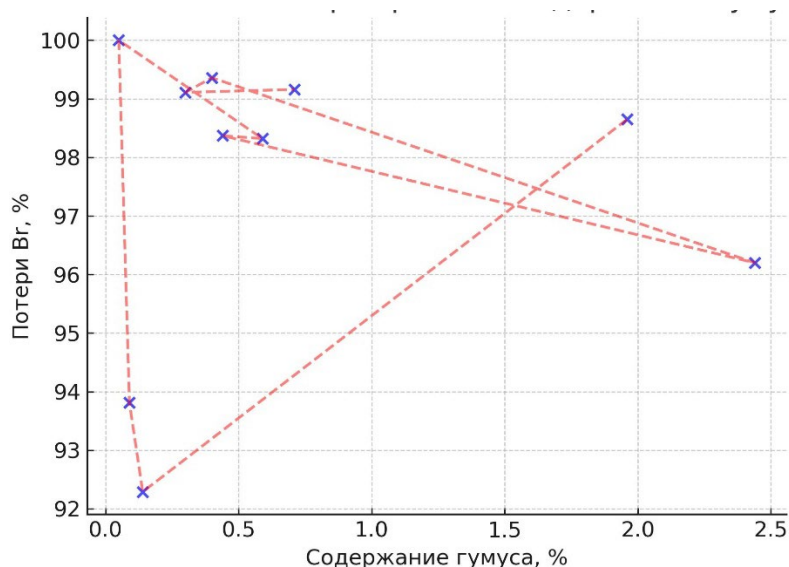
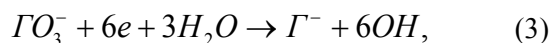


Рисунок 3 – Зависимость потерь брома от содержания гумуса

Кроме того, говоря о возможных потерях брома по аналогии с йодом, желательно сопоставить химические реакции, которые могут происходить с этими галогенами и способствовать их потерям. Вероятность осуществления этих реакций зависят от pH почвы. В щелочной среде бромат- и йодат-анионы более устойчивы, хотя возможно их восстановление до галогенид-анионов [10]. Уравнения, которые будут приведены ниже, характерны как для брома, так и йода, поэтому используем символ «Г» (3).



Возможна реакция (4) между этими галогенами и анионом гидроксила OH^- [9]



Что касается реакции (2), то термодинамическая неустойчивость аниона OG^- приводит его к реакции (5) диспропорционирования с

образованием устойчивых анионов в щелочной среде



скорость которой быстро возрастает при переходе от Br к I, а далее либо ион GO_3^- остается, либо по реакции (1) восстанавливается до галогенид-аниона G^- .

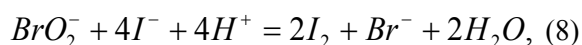
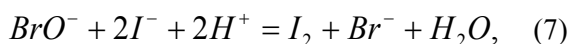
Помимо окислительного распада для бромноватистой (HOB_3) и иодноватистой (HOI) кислот характерны реакции по следующей схеме (6):



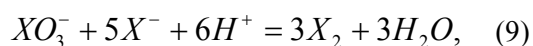
ведущие к образованию бромноватой (HBrO_3) или йодноватой (HIO_3) кислот.

Таким образом, реакции с участием различных анионов брома и йода, протекающие в почвах с нейтральной и слабокислой средой, приводят только к анионам Br^- и I^- , а в щелочной среде – к большему числу их наиболее устойчивых анионов. И чем прочнее они связаны, тем меньше вероятность их потерь.

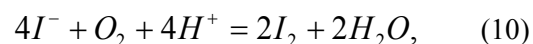
Поскольку нас интересуют потери брома по аналогии с йодом, то следует отметить, что в кислых почвах (например, дерново-подзолистые почвы) возможны реакции (7, 8) между ионами брома и йода с образованием свободного йода, в дальнейшем улетучивающегося [16]:



Наиболее осуществимой может быть реакция по уравнению (7), так как для протекания реакции по уравнению (8) требуется более высокая кислотность среды, почти не встречающаяся в почвах этого типа. Так что бром в какой-то мере способствует потерям йода. Для бромид- и йодид-анионов характерна в кислой среде еще одна реакция (9), но уже с потерей и брома и йода: бромиды количественно окисляются до брома, а йодиды – до йода, (где $\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$) но для осуществления этих реакций требуется сильноокислая среда [4]:



Существует и еще одно различие между бромом и йодом. Под действием солнечного света и кислой среды происходит окисление йода кислородом воздуха и возможны его потери с поверхности почвы (10):



Для брома такая реакция не характерна, и она позволяет нам предположить, что из-за этой реакции возможно увеличение вероятности потерь йода.

Теперь кратко обсудим прочность связи органического вещества с интересующими нас галогенами, другими словами проблему химического взаимодействия брома и йода с органическим веществом почвы, возможность реализации которых в почве достаточно много. Взаимодействие органических соединений с Br и I аналогично, но имеется одно различие. Большую склонность органических соединений к бромированию, нежели к йодированию, можно объяснить возможной реакцией для Cl, Br и I: $\text{G}_3^- = \text{G}_2 + \text{G}^-$ [10]. Устойчивость иона G_3^- зависит от природы галогена и характеризуется константой равновесия (10):

$$K = \frac{[\text{G}_3^-]}{[\text{G}_2][\text{G}^-]}, \quad (10)$$

равной соответственно для Cl^- , Br^- , I^- 0,2; 16,0 и 700, т. е. от Cl к I устойчивость иона G_3^- быстро возрастает, что способствует взаимодействию органических соединений только с Cl^- и Br^- . Из этого следует, что йод, взаимодействующий с органическим веществом, удерживается достаточно прочно, следовательно, в этом случае его потери должны быть меньше, чем брома.

Несмотря на значительное количество возможных реакций брома и йода с органическими соединениями, присутствующими в почве, что свидетельствует об активном их связывании, необходимо отметить, что связь эта временная и непрочная. При наличии благоприятных условий образовавшиеся по этим реакциям органические галоидпроизводные могут вступать в реакции с обменом галогена на

другие анионы или группы анионов, что может приводить при благоприятных условиях к потерям брома или йода, либо к их совместной потери.

Гидроксильная группа карбоновых кислот легко замещается анионами брома и йода с образованием галоидангидридов кислот типа $C_nH_{2n+1}COG$, а ненасыщенные карбоновые кислоты также легко взаимодействуют с галогенами и галогеноводородами, присоединение которых происходит по двойной связи [16]. Более того, как присоединение галоида по кратной связи, так и замещение им алкильного водорода в зависимости от природы галоида протекает с различным энергетическим эффектом: хлорирование и бромирование протекают с выделением, а йодирование – с поглощением тепла [10,17-19].

Фенол и его производные бромруются даже легче, чем ароматические углеводороды, так как водород гидроксильной группы, являясь заместителем первого рода, направляет вступающие атомы галогенов в орто- и пароположения, по аналогичной схеме происходит галоидирование ароматических аминов, в которых аминогруппа, также как гидроксильная в фенолах облегчает этот процесс [17]. Вообще при взаимодействии ароматических соединений с галогенами, последние связываются наиболее прочно именно при внедрении в бензольное кольцо, что давно установлено. Другими словами, если бром и йод внедрены в бензольное кольцо, то в этом случае их потери будут значительно меньше.

Чтобы говорить о возможных потерях брома, следует обсудить какие почвенные факторы могут влиять на механизмы взаимодействия брома и йода с компонентами почвы и насколько в этом случае в образующихся соединениях бром и йод будут прочно связаны.

По нашему мнению, к ним относятся процессы сорбции, обмена и комплексообразования.

Наиболее простой механизм связывания анионов брома и йода – физическая сорбция, в процессе которой осаждающимися объемными аморфными осадками оксидов и гидроксидов алюминия и железа происходит сорбция и окклюзия различных ионов брома и йода. Сорбция возможна за счет присутствия аморфных осадков оксидов и гидроксидов алюминия и железа, а также Na – монтмориллонита, однако

физическая сорбция сопровождается десорбцией, следовательно, в этом случае возможны потери как йода, так и брома. Если же имеет место окклюзия, при которой возможно внедрение брома и йода в пустоты, образующихся в окристаллизованных минералах под действием влаги и температуры, то в этом случае интересующие нас галогены должны удерживаться прочнее, что может в какой-то степени снизить их потери. К образованию комплексных ионов с избытком ионов брома и йода проявляют склонность алюминий и железо, что более выражено в интразональных почвах, обогащенных галогенами.

Вследствие летучести брома, о которых свидетельствуют ряд авторов [1,3,4, 20] возможны его потери и с поверхности почвы, при этом больший процент потерь должен быть в почвах легкого гранулометрического состава, в которых, может преобладать бром, связанный по механизмам сорбции и окклюзии, нежели за счет химических реакций. Помимо реакции почвенной среды и содержания гумуса на прочность связывания брома в почвенном профиле по аналогии с йодом влияют гранулометрический состав почв. Более значимое количество илистой фракции способно удерживать и большее количество галогена.

По нашему мнению, более нежелательным являются потери йода не только по причине его достаточно низких концентраций в почвах юга Западной Сибири [21], исключением являются интразональные почвы, но и по той роли, которую он играет в жизни живых организмов. Бром также необходим для живых организмов [22-25], хотя долгое время его эссенциальность не была точно подтверждена и только недавно ученые Вандербильского университета (США) установили, что без брома молекулы коллагена IV типа, играющие важную роль в сохранении эпителиальных и эндотелиальных клеточных оболочек, не могут связываться друг с другом должным образом для образования структурного белка соединительной ткани, что может привести к нарушению её развития [26].

Таким образом, высокая подвижность брома в различных геохимических условиях и его способность мигрировать в виде растворимых соединений могут объяснять зафиксированные в данном исследовании значительные потери элемента при длительном хранении образцов. В процессе хранения возможны процессы

испарения растворимых соединений брома, его десорбции с поверхности почвенных частиц и последующего вымывания, особенно в условиях изменения влажности образцов. Для оценки потерь брома в процессе хранения важно учитывать его исходное содержание в свежих образцах. Проведенный анализ показал, что концентрация брома в свежих образцах значительно выше, чем после длительного хранения, при этом потери достигают 86,36–100%. Это подтверждает, что немедленный анализ сразу после отбора проб позволяет получить наиболее точные данные о содержании брома, исключая влияние летучести и выщелачивания. Оптимальный период составляет не более 3–5 дней после высушивания и растирки, так как в этот интервал потери элемента минимальны. При необходимости более длительного хранения следует использовать герметичную упаковку, исключая контакт с воздухом и влагой, а также пониженную температуру, что замедлит испарение и десорбцию брома.

Заключение

Таким образом, проведенные нами исследования показали, что длительное хранение почвенных образцов (в нашем случае 3 года) приводит к крайне значительным потерям валового брома, что может исказить результаты почвенно-экологического анализа. Это имеет

важные экологические последствия, поскольку влияет на точность оценки содержания микроэлементов, необходимых для агроэкологических, биогеохимических и мониторинговых исследований. Потери йода также значительны, особенно в условиях почв с низким содержанием гумуса, что дополнительно усложняет агрохимическую интерпретацию данных. Для обеспечения достоверности экологических и агрохимических заключений анализ почвенных образцов на содержание брома и йода необходимо проводить в кратчайшие сроки после их высушивания и растирки. Значимость полученных данных возрастает на фоне вызовов, связанных с обеспечением продовольственной безопасности, охраной агроэкосистем и устойчивым землепользованием. Результаты данного исследования могут служить основой для разработки практических рекомендаций по агроэкологическому мониторингу, экологически ориентированному проектированию сельскохозяйственных систем и минимизации потерь летучих элементов в почвенной среде. С учётом того, что опубликованные исследования по потерям йода были выполнены достаточно давно, а данные о потерях брома практически отсутствуют, особенно в сопоставлении с йодом, актуальным и перспективным направлением представляется систематическое изучение динамики потерь обоих галогенов в зависимости от сроков и условий хранения.

Литература

1. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
2. Michael Olshansky, Tate Pumphrey, Nilank Shah. Bromine // *Encyclopedia of Toxicology*. – 4th ed. – Vol. 2. – 2024. – P. 287–294. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00248-7>
3. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов: в 6 кн. – М.: Недра, 1996. – Кн. 3. – 351 с.
4. Bratec T., Kirchhübel N., Baranovskaya N. et al. Towards integrating toxicity characterization into environmental studies: case study of bromine in soils // *Environ Sci Pollut Res*. – 2019. – Vol. 26. – P. 19814–19827. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05244-5>
5. D. Brown. Bromine // *Encyclopedia of Toxicology*. – 3rd ed. – 2014. – P. 557–558. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00256-6>
6. Flury M., Papritz A. Bromide in the natural environment: Occurrence and toxicity // *Journal of Environmental Quality*. – 1993. – Vol. 22, No. 4. – P. 747–758. <https://doi.org/10.2134/jeq1993.00472425002200040017x>
7. Гринвуд Н., Эрншо А. Химия элементов: в 2 т. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2008. – Т. 2. – 265 с.
8. Перельман А. И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.
9. Реми Г. Курс неорганической химии. – М.: Иностран. лит., 1963. – Т. 1. – 920 с.
10. Некрасов Б. В. Основы общей химии. – М.: Химия, 1973. – Т. 1. – С. 270–296.
11. Виноградов Б. П. Гипергенные ореолы йода на рудных месторождениях Атасуйского типа (Центральный Казахстан): Автореф. дис. ... канд. геол.-м. наук. – Л., 1982. – 27 с.
12. Кашин В. К. Биогеохимия, физиология, агрохимия йода. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1987. – 260 с.
13. Конарбаева Г. А. Валовое содержание и распределение йода в профиле некоторых почв Западной Сибири // *Агрохимия*. – 2003. – № 8. – С. 66–73.

14. Bosland L., Leroy O. Modeling of the decomposition of iodine oxides aerosols (IOx) in the containment – Consequences on the understanding of volatile iodine behaviour in the containment // *Progress in Nuclear Energy*. – 2025. – Vol. 180. – №105576. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2024.105576>
15. Уильямс У. Дж. Определение анионов. – М.: Химия, 1982. – 622 с.
16. Каменев В.Ф. Определение йода и брома в почве, воде и биологическом материале растительного и животного происхождения // *Химия в сельском хозяйстве*. – 1965. – №1 – С. 26–38.
17. Карпер П. Курс органической химии. – Л.: Госхимиздат, 1960. – 1216 с.
18. Anh Thu Nguyen, Houng Kang, Truong Giang Luu et al. Recent progress in visible light-driven halogenation: Chlorination, bromination, and iodination // *Bulletin of the Korean Chemical Society*. – 2024. – Vol. 45, No. 9. – P. 738–758. <https://doi.org/10.1002/bkcs.12896>
19. Yu-Ping Zhao, Jia-Lu Liao, Jiuzhong Huang et al. Iodine(iii)-mediated oxidative chlorination, bromination and iodination of chromone derivatives using alkyl halides as the solvent and halogen source // *Organic Chemistry Frontiers*. – 2024. – Issue 9. https://doi.org/10.1039/rsc_crossmark_policy
20. Ioannis Liagkouridis, Ian T. Cousins, Anna Palm Cousins. Emissions and fate of brominated flame retardants in the indoor environment: A critical review of modelling approaches // *Science of The Total Environment*. – 2014. – Vol. 491–492. – P. 87–99.
21. Конарбаева Г. А. Галогены в природных объектах юга Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Новосибирск, 2008. – 33 с.
22. Müller E., von Gunten U., Tolu J. et al. Reactions of hypobromous acid with dimethyl selenide, dimethyl diselenide and other organic selenium compounds: kinetics and product formation // *Environmental Science: Water Research and Technology*. – 2024. – Vol. 10, No. 3. – P. 620–630. <https://doi.org/10.1039/d3ew00787a>
23. Zhang D., Yang X., Wang T. et al. Advances in organic fluorescent probes for bromide ions, hypobromous acid and related eosinophil peroxidase: A review // *Analytica Chimica Acta*. – 2023. – Vol. 1244. – Article 340626. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2022.340626>
24. Remick K. A., Helmann J. D. The elements of life: A biocentric tour of the periodic table // *Advances in Microbial Physiology*. – 2023. – Vol. 82. – P. 1–127. <https://doi.org/10.1016/bs.ampbs.2022.11.001>
25. Valdecir F. Ximenes, Nelson H. Morgon, Aguinaldo R. de Souza. Hypobromous acid, a powerful endogenous electrophile: Experimental and theoretical studies // *Journal of Inorganic Biochemistry*. – 2015. – Vol. 146. – P. 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2015.02.014>
26. Bromine is an essential trace element for assembly of collagen IV scaffolds in tissue development and architecture // *Cell*. – 2014. – Vol. 157, No. 6. – P. 1380–1392.

References

1. Anh Thu Nguyen, Houng Kang, Truong Giang Luu, Sung-Eun Suh, Hee-Kwon Kim. (2024) Recent progress in visible light-driven halogenation: Chlorination, bromination, and iodination. *Bull. Korean Chem. Soc.*, vol. 45, no. 9, pp. 738–758. <https://doi.org/10.1002/bkcs.12896>
2. Bosland L., Leroy O. (2025) Modeling of the decomposition of iodine oxides aerosols (IOx) in the containment – Consequences on the understanding of volatile iodine behaviour in the containment. *Prog. Nucl. Energy*, vol. 180, no. 105576. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2024.105576>
3. Bratec T., Kirchhübel N., Baranovskaya N., et al. (2019) Towards integrating toxicity characterization into environmental studies: case study of bromine in soils. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 26, pp. 19814–19827. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05244-5>
4. Brown D. (2014) Bromine. *Encycl. Toxicol.*, 3rd ed., pp. 557–558. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00256-6>
5. Flury M., Papritz A. (1993) Bromide in the natural environment: Occurrence and toxicity. *J. Environ. Qual.*, vol. 22, no. 4, pp. 747–758. <https://doi.org/10.2134/jeq1993.00472425002200040017x>
6. Greenwood N., Earnshaw A. (2008) *Химия элементов: в 2 томах* [Chemistry of the Elements: In Two Volumes]. Moscow: Binom. Laboratoriya znaniy, vol. 2, 265 p.
7. Ioannis Liagkouridis, Ian T. Cousins, Anna Palm Cousins. Emissions and fate of brominated flame retardants in the indoor environment: A critical review of modelling approaches // *Science of The Total Environment*. – 2014. – Vol. 491–492. – P.87–99.
8. Ivanov V.V. (1996) *Экологическая геохимия элементов: в 6 кн.* [Ecological Geochemistry of Elements: In 6 Books]. Moscow: Nedra, book 3, 351 p.
9. Kabata-Pendias A., Pendias H. (1989) *Микроэлементы в почвах и растениях* [Trace Elements in Soils and Plants]. Moscow: Mir, 439 p.
10. Karrer P. (1960) *Курс органической химии* [Course of Organic Chemistry]. Leningrad: Goskhimizdat, 1216 p.
11. Kamenyev V.F. (1965) *Определение йода и брома в почве, воде и биологическом материале растительного и животного происхождения* [Determination of iodine and bromine in soil, water, and biological material of plant and animal origin]. *Химия в сельском хозяйстве*, no. 1, pp. 26–38.
12. Kashin V.K. (1987) *Биогеохимия, фитопизиология, агрохимия йода* [Biogeochemistry, Phytophysiology, Agrotechnology of Iodine]. Leningrad: Nauka. Leningrad. otd-nie, 260 p.
13. Konarbaeva G.A. (2003) *Валовое содержание и распределение йода в профиле некоторых почв Западной Сибири* [Total content and distribution of iodine in the profile of some soils of Western Siberia]. *Агрохимия*, no. 8, pp. 66–73.

14. Konarbaeva G.A. (2008) Galogeny v prirodnykh ob'ektakh yuga Zapadnoy Sibiri [Halogens in natural objects of southern Western Siberia]. Doct. Biol. Sci. diss. abstr. Novosibirsk, 33 p.
15. Liagkouridis I., Cousins I.T., Cousins A.P. (2014) Emissions and fate of brominated flame retardants in the indoor environment: A critical review of modelling approaches. Sci. Total Environ., vol. 491–492, pp. 87–99.
16. Müller E., von Gunten U., Tolu J., Bouchet S., Winkel L.H.E. (2024) Reactions of hypobromous acid with dimethyl selenide, dimethyl diselenide and other organic selenium compounds: kinetics and product formation. Environ. Sci. Water Res. Technol., vol. 10, no. 3, pp. 620–630. <https://doi.org/10.1039/d3ew00787a>
17. Nekrasov B.V. (1973) Osnovy obshchey khimii [Fundamentals of General Chemistry]. Moscow: Khimiya, vol. 1, pp.270–296.
18. Olshansky M., Pumphrey T., Shah N. (2024) Bromine. Encycl. Toxicol., 4th ed., vol. 2, pp. 287–294. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00248-7>
19. Perelman A.I. (1989) Geokhimiya [Geochemistry]. Moscow: Vysshaya shkola, 528 p.
20. Remick K.A., Helmann J.D. (2023) The elements of life: A biocentric tour of the periodic table. Adv. Microb. Physiol., vol. 82, pp. 1–127. <https://doi.org/10.1016/bs.ampbs.2022.11.001>
21. Remy G. (1963) Kurs neorganicheskoy khimii [Course of Inorganic Chemistry]. Moscow: Inostr. lit., vol. 1, 920 p.
22. Valdecir F.X., Nelson H.M., Aguinaldo R.S. (2015) Hypobromous acid, a powerful endogenous electrophile: Experimental and theoretical studies. J. Inorg. Biochem., vol. 146, pp. 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2015.02.014>
23. Vinogradov B.P. (1982) Gipergennyye oreoly yoda na rudnykh mestorozhdeniyakh Atasuyskogo tipa (Tsentral'nyy Kazakhstan) [Hypergenic halos of iodine in ore deposits of the Atasuy type (Central Kazakhstan)]. Cand. Geol.-Min. Sci. diss. abstr. Leningrad, 27 p.
24. Williams W.J. (1982) Opreделение anionov [Determination of Anions]. Moscow: Khimiya, 622 p.
25. Yu-Ping Zhao, Jia-Lu Liao, Jiuzhong Huang, Shi-Kai Xiang, Chen-Fu Liu. (2024) Iodine(iii)-mediated oxidative chlorination, bromination and iodination of chromone derivatives using alkyl halides as the solvent and halogen source. Org. Chem. Front., issue 9. https://doi.org/10.1039/rsc_crossmark_policy
26. Zhang D., Yang X., Wang T., Ji X., Wu X. (2023) Advances in organic fluorescent probes for bromide ions, hypobromous acid and related eosinophil peroxidase: A review. Anal. Chim. Acta, vol. 1244, article 340626. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2022.340626>

Сведения об авторах:

Конарбаева Галина Акмүлдиновна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия, e-mail: konarbaeva@issa-siberia.ru);

Сергазинова Зарина Мухтаровна – PhD, ассоц. профессор (доцент) НАО «Торайгыров университет» (Павлодар, Казахстан, e-mail: wwwszm@mail.ru);

Демин Вячеслав Владимирович – ведущий инженер Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия, e-mail: elf-86.5@mail.ru).

Information about authors:

Konarbayeva Galina Akmul'dinovna – PhD, Senior Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia, e-mail: konarbaeva@issa-siberia.ru).

Sergazinova Zarina Mukhtarovna – PhD, Associate Professor (Associate Professor) NAO 'Toraigrov University' (Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: wwwszm@mail.ru).

Vyacheslav Vladimirovich Dyomin – Leading Engineer, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia, e-mail: elf-86.5@mail.ru)

Авторлар туралы мәлімет:

Қонарбаева Галина Акмүлдиновна – биология ғылымдарының докторы, РҒА Топырақтану және агрохимия институтының жетекші ғылыми қызметкері (Новосибирск, Ресей, электрондық пошта: konarbaeva@issa-siberia.ru)

Сергазинова Зарина Мухтаровна – PhD, доцент (доцент) «Торайгыров университеті» КЕАҚ (Павлодар, Қазақстан, электрондық пошта: wwwszm@mail.ru)

Вячеслав Владимирович Демин – РҒА Топырақтану және агрохимия институтының жетекші инженері (Новосибирск, Ресей, электрондық пошта: elf-86.5@mail.ru)

Поступило 30 апреля 2024 года

Принято 20 августа 2025 года

G. Kairanova^{1*} , A. Mamurova¹ , G. Yeszhanova¹ ,
A. Rakhymzhan¹ , A. Beyatli² 

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²University of Health Sciences, Istanbul, Turkey

*e-mail: gulzat-amanzholova@mail.ru

ENVIRONMENTAL AND BIOLOGICAL FEATURES AND ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE OF *ZYGOPHYLLUM FABAGO* L. (*ZYGOPHYLLACEAE*) POPULATIONS IN THE ILE-BALKHASH REGION

The scientific article highlights the ecological and biological characteristics of populations of *Zygophyllum fabago* L. (*Zygophyllaceae*) growing in the Ile-Balkhash region of Almaty Region. The article analyzes the current state of *Zygophyllum fabago* L. cenopopulations, its morphological features, life forms, and ecological reactions in saline and semi-desert ecosystems of the Ile-Balkhash region. The flora of *Zygophyllum fabago* L. populations consists of 71 species from 47 genera and 20 families. The dominant ecological groups are xerophytes (42.25%), mesoxerophytes (28.17%), and mesophytes (14.08%). The leading families are *Chenopodiaceae* (21.13%), *Fabaceae* (16.90%), and *Asteraceae*, which together make up 60.56% of the total flora. The study revealed the high salt tolerance of *Zygophyllum fabago* L., which allows it to play an important role in soil stabilization and biodiversity conservation in the Ile-Balkhash region. In traditional medicine *Zygophyllum fabago* L. is widely used as an antiseptic, anti-inflammatory, and wound-healing agent. A taxonomic, ecological, and geographical analysis of the flora of *Zygophyllum fabago* L. populations emphasizes the uniqueness and biodiversity of the ecosystems in the Ile-Balkhash region. The data obtained emphasize the need to take measures to preserve this species and ensure the sustainable use of its resources.

Keywords: *Zygophyllum fabago* L.; *Zygophyllaceae*; coenopopulation; Ile-Balkhash region.

Г. Кайранова^{1*}, А. Мамурова¹, Г. Есжанова¹,
А. Рахымжан¹, А. Бейатлы²

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Әл-Фараби 71, Алматы, Қазақстан

²Медицина Ғылымдарының Университеті, Ыстамбұл, Түркия

*e-mail: gulzat-amanzholova@mail.ru

Іле-Балқаш өңіріндегі *Zygophyllum fabago* L. (*Zygophyllaceae*) популяцияларының экологиялық және биологиялық ерекшеліктері мен қазіргі жағдайын бағалау

Ғылыми мақалада Алматы облысының Іле-Балқаш өңірінде өсетін *Zygophyllum fabago* L. (*Zygophyllaceae*) популяцияларының экологиялық және биологиялық ерекшеліктері қарастырылған. Мақалада *Zygophyllum fabago* L. ценопопуляциясының қазіргі жағдайы, Іле-Балқаш өңірінің тұзды және шөлейтті экожүйелеріндегі морфологиялық ерекшеліктері, тіршілік формалары мен экологиялық реакциялары талданады. *Zygophyllum fabago* L. популяциясының флорасы 47 тұқымдас пен 20 тұқымдастың 71 түрінен тұрады. Басым экологиялық топтарға ксерофиттер (42,25%), мезоксерофиттер (28,17%) және мезофиттер (14,08%) жатады. Жетекші тұқымдастарға *Chenopodiaceae* (21,13%), *Fabaceae* (16,90%) және *Asteraceae* жатады, олар жалпы флораның 60,56% құрайды. Зерттеу нәтижелері *Zygophyllum fabago* L. өсімдігінің тұзды топыраққа жоғары төзімді екенін көрсетті. Бұл қасиет оған Іле-Балқаш аймағындағы топырақты тұрақтандыруға және биоалуантүрлілікті сақтауға елеулі үлес қосуға мүмкіндік береді. Халық медицинасында *Zygophyllum fabago* L. антисептикалық, қабынуға қарсы және жараларды емдейтін агент ретінде кеңінен қолданылады. *Zygophyllum fabago* L. популяцияларының флорасына таксономиялық, экологиялық және географиялық талдау Іле-Балқаш аймағының экожүйелерінің айрықшылығы мен биоалуантүрлілігін көрсетеді. Мақалада көрсетілген нәтижелер *Zygophyllum fabago* L. түрін сақтау және оның ресурстарын тұрақты пайдалануды қамтамасыз ету бойынша шаралардың қажеттілігін көрсетеді.

Түйін сөздер: *Zygophyllum fabago* L.; *Zygophyllaceae*; ценопопуляция; Іле-Балқаш өңірі.

Г. Кайранова^{1*}, А. Мамурова¹, Г. Есжанова¹,
А. Рахымжан¹, А. Бейатлы²

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Университет медицинских наук, Стамбул, Турция

*e-mail: gulzat-amanzholova@mail.ru

Экологические и биологические особенности и оценка текущего состояния популяций *Zygophyllum fabago* L. (Zygophyllaceae) в Иле-Балхашском регионе

В научной статье рассматриваются эколого-биологические особенности популяций парнолистника обыкновенного (*Zygophyllum fabago* L.) (Zygophyllaceae), произрастающего в Иле-Балхашском районе Алматинской области. Проведен анализ современного состояния ценопопуляций парнолистника бобового (*Zygophyllum fabago* L.), его морфологических особенностей, жизненных форм и экологических реакций в засоленных и полупустынных экосистемах Иле-Балхашского региона. Флора популяций парнолистника бобового (*Zygophyllum fabago* L.) представлена 71 видом из 47 родов и 20 семейств. Доминирующими экологическими группами являются ксерофиты (42,25%), мезоксерофиты (28,17%) и мезофиты (14,08%). Ведущими семействами являются *Chenopodiaceae* (21,13%), *Fabaceae* (16,90%) и *Asteraceae*, которые в совокупности составляют 60,56% от общей флоры. В результате исследования выявлена высокая солеустойчивость *Zygophyllum fabago* L., что позволяет ему играть важную роль в стабилизации почв и сохранении биоразнообразия в Иле-Балхашском регионе. В народной медицине *Zygophyllum fabago* L. широко используется как антисептическое, противовоспалительное и ранозаживляющее средство. Таксономический, эколого-географический анализ флоры популяций *Zygophyllum fabago* L. подчеркивает уникальность и биоразнообразие экосистем Иле-Балхашского региона. Полученные данные подчеркивают необходимость принятия мер по сохранению этого вида и обеспечению устойчивого использования его ресурсов.

Ключевые слова: *Zygophyllum fabago* L., Zygophyllaceae, ценопопуляция, Иле-Балхашский регион.

Introduction

The Ile-Balkhash region is located in the central part of Kazakhstan, covering an area of approximately 200,000 km². It includes the Ile River Basin and the northern shore of Lake Balkhash. The region encompasses semi-desert, steppe, and mountainous areas, highlighting its unique landscape. The climate in the Ile-Balkhash region is characterized by significant seasonal temperature variations. In summer, temperatures can rise to 40°C, while in winter, they drop below -30°C, with average annual temperatures ranging from 7°C to 12°C in some areas [1].

The Ile River is a vital water source for both humans and wildlife. Originating in the Tien Shan Mountains, it flows into Lake Balkhash. The region's topography is diverse: the northern part features flat terrain and gentle slopes near the Ile Basin, whereas the southern part is characterized by rising landscapes leading to the hills of the Alatau Mountains. Additionally, the Ile River delta contains wetland areas that serve as crucial stopover sites for migratory birds [2]. The region supports a wide range of biodiversity, including salt-tolerant plants and desert species. Many of the species inhabiting the area have developed adaptations to survive its harsh environmental conditions. Although agricultural ac-

tivities are present, the region faces challenges such as water scarcity, desertification, and pollution [3].

To protect the ecosystem of region, including its endangered species, and to maintain biodiversity, the Ile-Balkhash State Reserve was established. It is situated between 45° N latitude and 75°–80° E longitude, extending from the Ile River in the west to the eastern shores of Lake Balkhash. To the north, it is bordered by the Chu-Ili Mountains, while its southern boundary is adjacent to the Gobi Desert. In addition to its ecological significance, the reserve holds economic value in agriculture, wildlife conservation, and sustainable tourism [4].

The Ile-Balkhash region in the southeastern part of Kazakhstan is a part of the larger Ile River Basin. It has various desert, semi-desert landscapes, saline wetlands and river valley [5]. The structure of this environment makes the region suitable to study *Zygophyllum fabago* L., salt-tolerant plant species belongs to the family of Zygophyllaceae. It has ability to survive in saline soil conditions of Central Asia [6]. *Zygophyllum fabago* L., a perennial herbaceous plant normally found in solonchaks of Ile-Balkhash region, has developed adaptations to extremely salt environment and possesses the ability to store moisture during dry periods because of drought-resistant leaves. The plant typically reaches a height of 30-75 cm and

displays a branching growth form. Its capsule is cylindrical in shape, short or long, drooping or deflected downwards with a length of 15-40 mm. Flowering

occurs primarily between April and June months, with the species favoring desert steppe ecosystems, particularly in salty or sandy substrates [7-8].

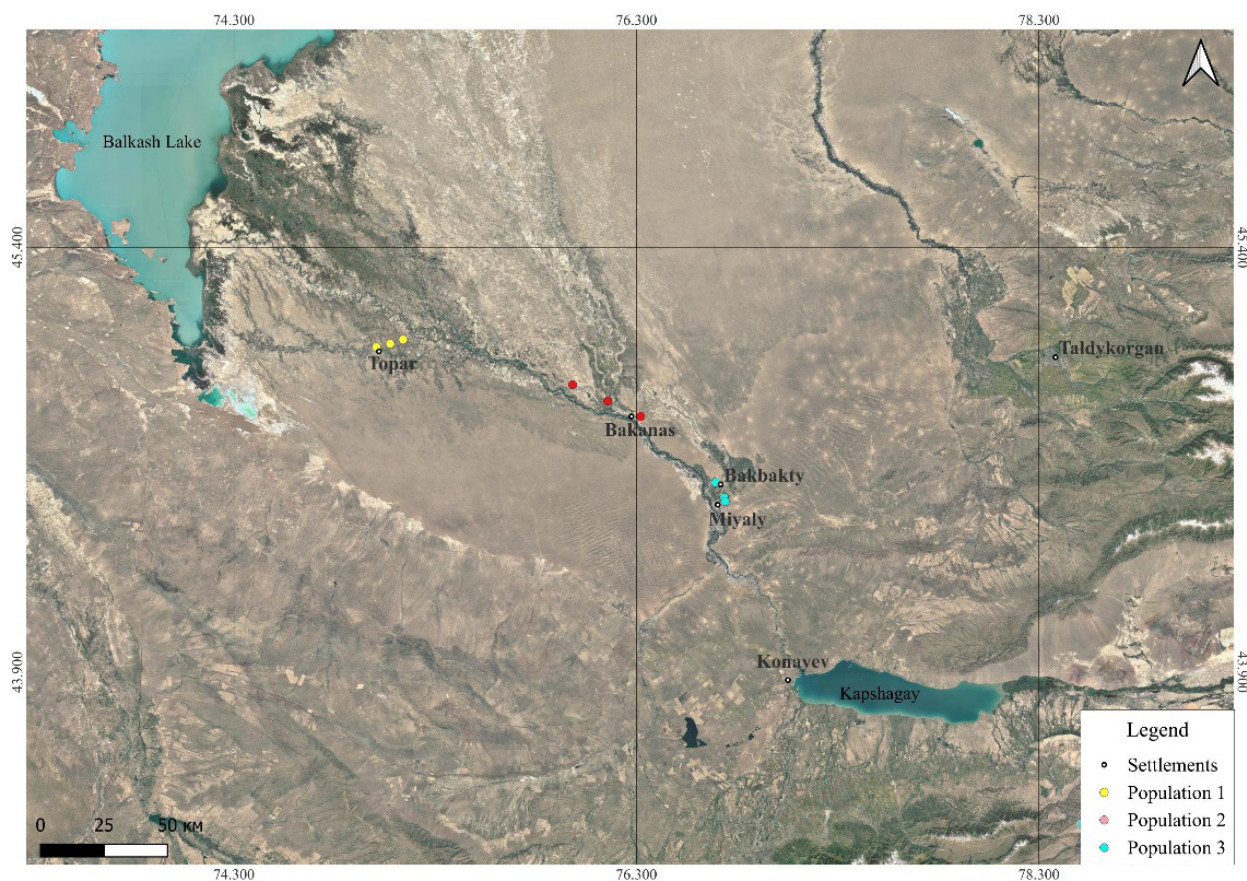


Figure 1 – Map of the Ile-Balkhash region, Almaty district

Zygophyllum fabago L. plays a crucial role in stabilizing erosive soils; this feature allows it to reduce the effects of wind and water degradation. It contributes to the long-term maintenance of soil structure and fertility. Additionally, this plant is an important component of the local food web, serving as a food resource for various desert-adapted herbivores and providing shelter for insects and other small animals. All these features make *Zygophyllum fabago* L. one of the major contributors to biodiversity conservation in the region's saline and semi-arid environments, further enhancing its ecological importance in this fragile habitat [9-10].

Studies on the distribution of *Zygophyllum fabago* L. within the Ile-Balkhash region demonstrate a strong correlation between its prevalence and the ecological conditions of solonchak habitats. The

species exhibits exceptional adaptability to high-salinity soils and is one of the few dominant plant species capable of thriving in such environments. Therefore, it plays an essential role in shaping the structure and composition of local plant communities.

Additionally, *Zygophyllum fabago* L. has economic significance. Its seeds have been used in medicine, and chemical analyses have been conducted to study its biological properties. This highlights its potential applications in the pharmaceutical and agricultural sectors [11].

Recent ecological surveys on *Zygophyllum fabago* L. populations in the Almaty region have revealed significant environmental pressures affecting the species. While the plant has developed a strong capacity for survival in saline and arid conditions, it

remains highly vulnerable to prolonged disturbances in the region's water balance. It also faces additional threats, such as overgrazing, agricultural expansion, and urban sprawl, which further endanger its habitat. Conservation initiatives have been undertaken to protect solonchak ecosystems, contributing to the persistence of this valuable species amid environmental changes [12–13].

Materials and methods

2.1. Research objects

Species Studied: *Zygophyllum fabago* L. from the family *Zygophyllaceae*. The studies were conducted in 2024 within the natural phytocenoses of the Ile-Balkhash region, Almaty region (Table 1).

Table 1 – Cenopopulations of the species *Zygophyllum fabago* L. were discovered during field studies

Species, P/CP number	Geographical distribution	GPS coordinates & elevation
<i>Z.Fabago</i> L. P1/CP1	Balkhash-Alakol Flora Reserve, Almaty Region, Balkhash District, Near the settlement of Topar. Delta of the Ili River.	N 45,05190519; E 75,00765995; h-362 m.
<i>Z.Fabago</i> L. P1/CP2	Balkhash-Alakol Flora Reserve, Almaty Region, Balkhash District, Near the settlement of Topar. Delta of the Ili River.	N 45,06234703; E 75,07622249; h-360 m.
<i>Z.Fabago</i> L. P1/CP3	Balkhash-Alakol Flora Reserve, Almaty Region, Balkhash District, Near the settlement of Topar. Delta of the Ili River.	N 45,07735082; E 75,14082324; h-355 m.
<i>Z.Fabago</i> L. P2/CP1	Balkhash-Alakol Flora Reserve, Almaty Region, Balkhash District, Near the settlement of Bakanas. Saryesik-Atyrau.	N 44,91989194; E 75,982814; h-389 m.
<i>Z.Fabago</i> L. P2/CP2	Balkhash-Alakol Flora Reserve, Almaty Region, Balkhash District, Near the settlement of Bakanas. Saryesik-Atyrau.	N 44,8617504; E 76,15751952; h-396 m.
<i>Z.Fabago</i> L. P2/CP3	Balkhash-Alakol Flora Reserve, Almaty Region, Balkhash District, Near the settlement of Bakanas. Saryesik-Atyrau.	N 44,80711172; E 76,32089236; h-400 m.
<i>Z.Fabago</i> L. P3/CP1	Balkhash-Alakol Flora Reserve, Almaty Region, Balkhash District, Near the settlement of Bakbakty. Saryesik-Atyrau.	N 44,57463061; E 76,69245509; h-415 m.
<i>Z.Fabago</i> L. P3/CP2	Balkhash-Alakol Flora Reserve, Almaty Region, Balkhash District, Near the settlement of Bakbakty. Saryesik-Atyrau.	N 44,52143244; E 76,73579867; h-415 m.
<i>Z.Fabago</i> L. P3/CP3	Balkhash-Alakol Flora Reserve, Almaty Region, Balkhash District, Near the settlement of Miyaly. Along the canal. Saryesik-Atyrau.	N 44.507513; E 76.740675; h-420 m.

Notes: P-populations; CP – coenopopulations; N – north, E – east; h – above sea level.

Research methods

The main methods used to study the morphological and biological characteristics of *Zygophyllum fabago* L. included observations of its morphological signs, biological characteristics, taxonomy, and floristics. Traditional geobotanical research methods were applied, focusing on the coenopopulations of *Zygophyllum fabago* L. and their interactions with the environment. The geobotanical characterization of the coenopopulations was conducted as extensively as possible, and their locations were recorded using GPS (Garmin eTrex 22x).

Fieldwork employed a route reconnaissance method, in which plants were identified and sampled while moving along predetermined routes. This ap-

proach allowed for the survey of large areas and the assessment of species diversity. Population studies were conducted using standard methods in modern plant population biology [14–19].

Herbarium samples were collected and processed following established procedures. *Zygophyllum fabago* L. specimens were placed in herbarium folders with detailed information on the collection locality, date, and collector. The material was dried and examined under binocular magnifying glasses after fieldwork. Herbarium sample collection and preparation adhered to traditional procedures [20].

Species identification and taxonomy were carried out in the laboratory using multi-volume reference books [21–23]. The species and generic classification of *Zygophyllum fabago* L. in the Ile-Balkhash

region was based on the classifications of Abdulina and Cherepanov [24, 25]. The analysis of life forms followed the classification system of Serebryakov [26]. To confirm species identification, a portion of the collected material was preserved and shipped to the Institute of Botany and Phytointroduction, Almaty, Kazakhstan, for herbarium storage (voucher no: 05/337).

During the field survey, three populations of *Zygophyllum fabago* L. were identified, each consisting of three coenopopulations, totaling nine coenopopulations. The morphological characteristics of the species were examined in both living plants and herbarium specimens.

Statistical review of measurement data in Microsoft Excel 2019. The methods of the described statistics were compared, including the calculation of mean values, standard deviations (SD). Statistical significance was assessed at a mean innovation level of $p < 0.05$.

Results and discussion

Plants population identification

To determine the natural habitats of *Zygophyllum fabago* L. around the Bakanas settlement area in the Ile-Balkhash and Almaty regions, expedition routes were mapped, flowering periods were recorded, and ecological niches were studied. This research was conducted through the examination of herbarium specimens from the central collection of the Institute of Botany and Phytointroduction.

The natural habitats of *Zygophyllum fabago* L. in these regions are characterized by yellowish, low-humus soils (Figure 2).

As a result, to the survey of expeditions, there were three large populations (each population has three coenopopulations) of *Zygophyllum fabago* L. recorded in varied phytocenotic and ecological habitats. They were found on parent rocks outcrops, low-humus sands, and loamy sandy soils (Fig. 2).



Figure 2 – Population of *Zygophyllum fabago* L. identified in the Ile-Balkhash, Almaty district

Ecological groups of populations

The flora of the studied populations of *Zygophyllum fabago* L. in the Ile-Balkhash region of the Almaty region comprises 71 species from 47 genera and 20 families. Key indicator species include *Sophora alopecuroides*, *Petrosimonia brachiata*, *Ceratocarpus arenarius*, *Krascheninnikovia cera-*

toides, *Climacoptera lanata*, *Ceratocarpus utriculosus*, *Acroptilon repens*, *Descurainia sophia*, and *Lepidium perfoliatum*. The primary factors limiting the distribution of these species are intense competition within phytocenoses, anthropogenic impact, and specific ecological requirements. The main ecological groups of plants in the populations of *Zygo-*

phyllum fabago L. are as follows: Mesophytes – 10 species (14.08%), Mesoxerophytes – 20 species (28.17%), Mesohygrophytes – 5 species (7.04%),

Xerophytes – 30 species (42.25%), Hemixerophytes – 2 species (2.82%), Hygrophytes – 2 species (2.82%), Euryhaline plants – 1 species (1.41%)

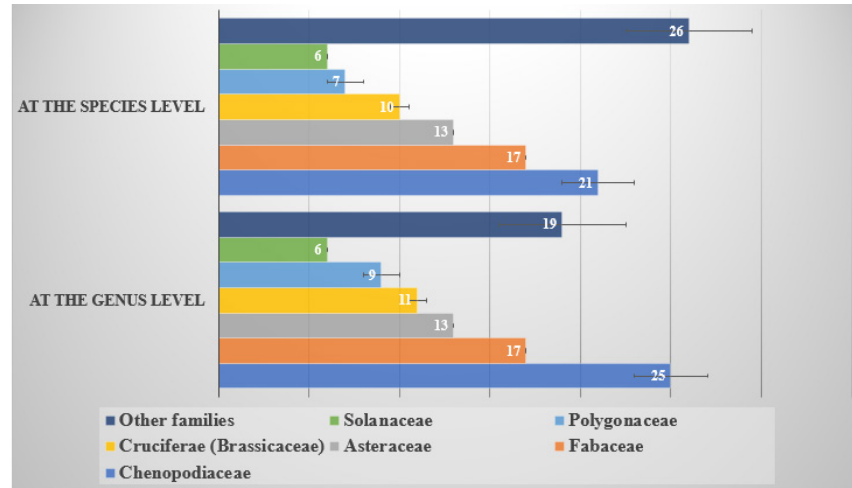


Figure 3 – Leading flora families of *Zygophyllum fabago* L. populations
a) At the Genus Level; b) At the Species Level

The results indicate that the dominant families in the flora of *Zygophyllum fabago* L. in the Ile-Balkhash area are *Chenopodiaceae* and *Fabaceae*, comprising 15 species (21.13%) and 12 species (16.90%), respectively. Along with *Asteraceae*, *Cruciferae*, and *Polygonaceae*, these families account for 43 species (60.56%) of the vegetation in these populations. In comparison, the remaining 15 families collectively represent 28 species (39.44%).

Floristic diversity typically depends on the ecological conditions such as soil salinity, low humus content, and periodic water scarcity. Regional heterogeneity and climate are also significant factors that affect the flora of *Zygophyllum fabago* L. populations in the Ile-Balkhash region. The life form analysis indicated that herbaceous plants, predominantly xerophytes, were the most frequent. These species are best adapted to the specific conditions of salt marshes and sandy soils, where high salt levels and low soil fertility set the terms for plant existence. Shrubs and semi-shrubs (hemicryptophytes and microphyllophytes) account for a smaller proportion of the flora (Table 2). This is due to the harsh conditions of salt marsh and sandy landscapes, where shrub growth is limited by high salinity and poor nutrients. Overall, the flora mainly consists of species typical for salt marshes and poor sandy habitats. As already stated, the most conspicuous life forms of this area are annuals and herbaceous perennials,

which have a wide ecological range and are salt-tolerant to thrive in salt soils. Shrubs, however, are least characterized by a life form since their growth is limited by salt marsh and sandy soil environments. Semi-shrubs are also not abundant and are mostly encountered in relatively more humid and less saline areas. This life pattern develops in the flora of *Zygophyllum fabago* L. and is a reflection of the climatic regime of the region, emphasizing its mesophytic and mesoxerophytic character, typical of arid and saline habitats where vegetation is adapted to conditions of extreme salinity and nutrient deficiency.

Table 2 – Spectrum of dominant life forms found in *Zygophyllum fabago* L. populations

Life forms	Species	%
Mesophytes	10	14.08%
Mesoxerophytes	20	28.17%
Mesohygrophytes	5	7.04%
Xerophytes	30	42.25%
Hemixerophytes	2	2.82%
Hygrophytes	2	2.82%
Euryhaline plants	1	1.41%
Total	71	100 %

Plants with economical or industrial importance.

The significance of plants growing in salt marshes and low-humus sand as a resource extends across multiple fields, such as animal husbandry, agriculture, and medicine. Species known as halophytes and xerophytes, which are adapted to the extreme characteristics of saline soils that are deficient in organic matter, hold great importance.

The Ile-Balkhash region of Almaty province contains a diverse plant collection of flora *Zygophyllum fabago* L., valued for their medical, ornamental, forage, honey-bearing, and technical properties. These species include: *Krascheninnikovia ceratoides* – a forage plant that is used as an effective tool for stabilizing sands and maintaining soil integrity; *Climacoptera lanata* – serves as a crucial part of the forage base for livestock; *Petrosimonia brachiata* – valued for its medical benefits and potential applications in herbal medicine; *Ceratocarpus arenarius* – utilized as animal feed for camels and small herds, predominantly in xeric ecosystems; *Suaeda salsa* – a salt-tolerant plant employed in tannin production and optimizing soil health.

Research on the advantageous characteristics of salt marsh flora underscores their economic and ecological significance while emphasizing the importance of their sustainable usage.

Table 3 – Plant groups with economic & industrial importance within the *Zygophyllum fabago* L. populations

Plant Group	Number of Species	% Contribution
Weed	25	10.96
Forage	80	35.09
Medicinal	25	10.96
Poisonous	5	2.19
Melliferous	35	15.35
Food (Edible)	18	7.89
Essential Oils	7	3.07
Ornamental	18	7.89
Dye	7	3.07
Industrial	8	3.51
Vitamin-bearing	3	1.32
Total	228	100.0

Flora of *Zygophyllum fabago* L. populations in Ile-Balkhash district of Almaty region:

Economic potential and environmental considerations.

The flora of the Ile-Balkhash region, particularly with *Zygophyllum fabago* L. ecological clusters, consists of diverse vegetation types that hold commercial and industrial value. These plants are crucial for various sectors, such as medicine, agriculture, and industry. Below is a categorized summary of plant groups based on their uses, along with the number of species and their percentage contribution to the total flora.

The plant diversity within *Zygophyllum fabago* L. populations in the Ile-Balkhash district of the Almaty region holds valuable prospects for the enhancement of key fields, including pharmaceuticals, forage plants, honey production, and economically valuable crops, with special attention given to the prominence of salt marshes and saline soils.

The region possesses a wide range of economically valuable species, many of which thrive in the saline conditions of the salt marshes that dominate the area and play a special role in shaping the regional flora. An important portion of this flora is salt-tolerant. *Zygophyllum fabago* L., along with species such as *Krascheninnikovia ceratoides*, *Alhagi pseudalhagi*, and *Artemisia terrae-albae* Krasch., are well adapted to the challenging conditions of saline soils. This adaptation highlights the potential use of these species in salt-tolerant agriculture, signifying their promise for future economic development in the region. In fact, the unique conditions of the Ile-Balkhash region highlight substantial capacity for sustainable progress in the healthcare, farming, and industrial sectors.

Based on Ilyin [27] and Pavlov [28, 29] classifications, the plant resources and floral heterogeneity in the area allow for the identification of 11 economically valuable plant groups (Table 3). *Forage plants*: 80 species (35.09%) – These are highly important financially, as they support pastoral activities. Species such as *Medicago falcata* [30], *Trifolium pratense* [31], and *Zygophyllum fabago* L., as well as grasses like *Elytrigia repens* [32], form an essential part of local livestock production and sustain forage for cattle and sheep. *Melliferous plants*: 35 species (15.35%) – The floral variety in the region supports the production of high-quality honey, which has medicinal and nutritional properties, increasing its value for both local and regional producers. *Medicinal plants*: 25 species (10.96%) – The region is home to plants with medicinal properties, such as *Zygophyllum fabago* L., *Descurainia sophia*, and *Peganum harmala* [33], which form a fertile field for the pharmaceutical industry. *Industrial plants*: 8 species (3.51%) – Industrial plants such as *Cera-*

tocarpus arenarius [34], *Petrosimonia brachiata*, and *Alhagi pseudalhagi* provide raw materials for the production of natural dyes, fibers, and medicinal compounds. Weeds: 25 species (10.96%) – Some weeds thrive in the region's disturbed soil, such as *Convolvulus arvensis* and *Chenopodium glaucum*. Food plants: 18 species (7.89%) – This group includes plants such as *Rosa alberti*, whose fruits are rich in vitamin C, as well as other berry plants utilized in the food and cosmetic industries. Dye plants: 7 species (3.07%) – Plants such as *Arnebia decumbens* [35] are valuable for their dyeing properties. Essential oil plants: 7 species (3.07%) – Includes species of the *Umbelliferae* family [36], such as *Daucus carota* and *Carum carvi*, used to produce essential oils. Ornamental plants: 18 species (7.89%) – Plants used for ornamental purposes in landscaping and floriculture. Vitamin plants: 3 species (1.32%) – This group encompasses species like *Rosa alberti*, which are high in vitamins and can be applied in nutrition-related aspects. Poisonous plants: 5 species (2.19%) – Some plants, such as *Peganum harmala*, depending on their usage, exhibit both toxic and therapeutic properties [37].

Conclusion

This study examines the eco-biological characteristics and present status of *Zygophyllum fabago* L. in the Ile-Balkhash region, emphasizing its contribution to the semi-desert and saline ecosystems of Kazakhstan. The field survey conducted in 2024 identified nine coenopopulations, assessing the plant's morphological and ecological adaptations, such as aridity resistance and salt tolerance. The associated flora, comprising 71 species from 47 genera, reflects the ecological specificity of the region, with dominant families such as *Chenopodiaceae* and *Fabaceae*. *Zygophyllum fabago* L. demonstrates high adaptability to the arid regions of southern Kazakhstan, allowing it to maintain stable populations in extreme environmental conditions and contribute to the stabilization of degraded soils. Its presence plays a crucial role in preserving local biodiversity and serves as a biological indicator of soil salinization. The findings highlight the importance of conserving this species and developing sustainable management strategies for the fragile ecosystems of the Ile-Balkhash region.

References

1. Куприянова Л.А. Флора СССР. Л.: Наука, 1955. Т. 22. 207 с.
2. Джусупбеков Д. Оценка влияния климата на изменение стока рек Иле-Балхашского бассейна // Гидрометеорология и экология. 2023. № 1. С. 143–154. URL: <https://journal.kazhydromet.kz/index.php/kazgidro/article/view/95>.
3. Приоритетные проблемы семи основных речных бассейнов Казахстана // Современные проблемы Балхаш-Алакольского бассейна. Алматы: КазНУ, 2007. С. 94–95.
4. Департамент охраны окружающей среды Казахстана. Экологическое состояние Иле-Балхашского региона и меры по его охране. Агентство охраны окружающей среды Казахстана, 2015. URL: <http://www.epa.kz/ili-balkhash>
5. Cherednichenko A.V., Storozhenko N.D. Dynamic of Balkhash lake level under climate change conditions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 321, No. 1. P. 012012. DOI: 10.1088/1755-1315/321/1/012012
6. Abdel-Hamid R.A., Abilov Zh.A., Sultanova N.A., Saitjanova Sh.B., Gemedzhieva N.G. Preliminary Phytochemical Screening of *Zygophyllum fabago* // International Journal of Biology and Chemistry. 2013. Vol. 6, No. 2. P. 60–64. URL: <https://ijbch.kaznu.kz/index.php/kaznu/article/view/101>
7. Культиясов И.М. Экология растений. М.: Московский университет, 1982. 348 с.
8. Gemejjeva N.G., Sitpayeva G.T., Karzhaubaeva Zh.Zh., Choi S.H., Paik J.H. Medical Plants of Kazakhstan. Vol. 1. Korea, 2022. P. 314–315.
9. Wungrampha S., Rawat N., Singla-Pareek S.L., Pareek A. Survival Strategies in Halophytes: Adaptation and Regulation // In: Grigore MN. (ed.) Handbook of Halophytes. Cham: Springer, 2020. P. 1–20. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-17854-3_56-1.
10. Нестерова С.Г., Инелова З.А., Чилдибаева А.Ж., Ерубеева Г.К., Коротков В.С. Эндемичные виды пустынь Иле-Балхашского региона // Вестник КазНУ. Серия Экологическая. 2016. Т. 31, № 2. URL: <https://bulletin-ecology.kaznu.kz/index.php/1-eco/article/view/86>.
11. Grudzinskaya L. M., Gemedzhieva N. G., Nelina N. V., and Karzhaubekova Z. Annotated List of Medicinal Plants in Kazakhstan. Almaty, Kazakhstan, vol. 20, no. 1, 2014. 200 p.
12. Национальный атлас Республики Казахстан. Почвы, земельные ресурсы. Алматы, 2006.
13. Министерство экологии Казахстана. Сохранение биоразнообразия в Иле-Балхашском регионе: проблемы и перспективы. Казахстанское государственное издание, 2022: <http://www.mec.kz/ili-balkhash>.
14. Байтенов М.С. Флора Казахстана (Родовой комплекс флоры). Алматы, 2001. Т. 2. 279 с.
15. Ohba H. Systematic problems of Asian sedoideae // Evol. Syst. Crassulaceae. Leiden: Backhuys Publishers, 1995. – P. 151–158.
16. Павлов Н.В. Флора Казахстана. Алма-Ата: Издательство Академии Наук Казахской ССР, 1961. Т. 4. 571 с.

17. Работнов Т.А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах // Труды БИН им. В.Л. Комарова. Серия 3 Геоботаника. 1950. Т. 6. С. 7–204.
18. Рубцов Н.И. Геоботаническое районирование Северного Тянь-Шаня // Известия АН КазССР. Серия биологическая. Алма-Ата, 1955. Т. 10. С. 3–27.
19. Уранов А.А., Смирнова О.В. Классификация и основные черты развития популяций многолетних растений // Вестник Московского общества испытателей природы. Отдел биологии. Москва: Издательство Московского государственного университета, 1969. Т. 74, № 1. С. 119–134.
20. Скворцов А.К. Гербарий. Москва, 1977. 199 с.
21. Академия Наук Казахской ССР, Институт ботаники. Иллюстрированный определитель растений Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1969. Т. 1–2.
22. Арыстангалиев С.А. Лекарственные растения Казахстана. Алматы: Наука, 1977. 67 с.
23. Бондаренко О.Н. Определитель растений Средней Азии. Ташкент: Фан, 1968.
24. Абдулина С.А. Сосудистые растения Казахстана. Алматы, 1998. 188 с.
25. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Санкт-Петербург, 1995. 990 с.
26. Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. Москва, 1962. 378 с.
27. Ильин М.М. Общие вопросы изучения сырьевых растений // Методика полевого исследования сырьевых растений. Москва, Ленинград: Издательство АН СССР, 1948. С. 7–24.
28. Павлов Н.С. Дикie полезные и технические растения СССР. Москва, 1947.
29. Павлов Н.С. Растительное сырье Казахстана. Ленинград, 1974. 552 с.
30. Garibli A.S., Suleymanov T.A., Ollivier E., et al. Flavonoids from *Medicago falcata* from the Flora of Azerbaijan // Chemistry of Natural Compounds. 2021. Vol. 57. P. 150–151. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10600-021-03302-4>
31. Albulescu L., Suciu A., Neagu M., Tanase C., Pop S. Differential biological effects of *Trifolium pratense* extracts—In vitro studies on breast cancer models // Antioxidants. 2024. Vol. 13, No. 12. P. 1435. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox13121435>
32. Ringselle B., De Cauwer B., Salonen J., Soukup J. A review of non-chemical management of couch grass (*Elymus repens*) // Agronomy. 2020. Vol. 10, No. 8. – P. 1178. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10081178>
33. Ayoob I., Hazari Y.M., Lone S.H., Shakeel-u-Rehman, Khuroo M.A., Fazili K.M., Bhat K.A. Phytochemical and cytotoxic evaluation of *Peganum harmala*: Structure-activity relationship studies of harmine // ChemistrySelect. 2017. Vol. 2, No. 12. P. 3472–3477. DOI: <https://doi.org/10.1002/slct.201700232>
34. Kantureyeva A., Ustenova G., Zvonar Pobirk A., Mombekov S., Koilybayeva M., Amirkhanova A., Gemejiyeva N., Mamurova A., Kočevár Glavač N. *Ceratocarpus arenarius*: Botanical characteristics, proximate, mineral composition, and cytotoxic activity // Molecules. 2024. Vol. 29, No. 2. P. 384. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules29020384>
35. Phytochemical constituents, distributions and traditional usages of *Arnebia euchroma*: A review // Journal of Ethnopharmacology. 2021. Vol. 271. P. 113896. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.113896>
36. Das G., Das S., Talukdar A.D., Venil C.K., Bose S., Banerjee S., Shin H.-S., Gutiérrez-Grijalva E.P., Heredia J.B., Patra J.K. Pharmacology and ethnomedicinal potential of selected plant species from Apiaceae (Umbelliferae) // Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening. 2023. Vol. 26, No. 2. P. 256–288. DOI: <https://doi.org/10.2174/1386207325666220406110404>
37. Бирюля Н.М., Богомолов К.В. Медоносные, лекарственные, декоративные растения естественной флоры Сибири, Урала и европейской части России: Справочное издание: В 2 т. Рязань: ГУП РО «Рязанская областная типография», 2017. 352 с.

References

1. Abdel-Hamid R.A., Abilov Zh.A., Sultanova N.A., Saitjanova Sh.B., Gemedzhieva N.G. (2013) Preliminary Phytochemical Screening of *Zygophyllum fabago*. Int. J. Biol. Chem., vol. 6, no. 2, pp. 60–64. Available from: <https://ijbch.kaznu.kz/index.php/kaznu/article/view/101>
2. Abdullina S.A. (1998) *Sosudistye rasteniya Kazakhstana* [Vascular plants of Kazakhstan]. Almaty, 188 p. (In Russian).
3. Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Institute of Botany (1969) *Illjustrirovannyi opredelitel rastenii Kazakhstana* [Illustrated guide to plants of Kazakhstan]. Alma-Ata: Nauka, vol. 1–2. (In Russian).
4. Albulescu L., Suciu A., Neagu M., Tanase C., Pop S. (2024) Differential biological effects of *Trifolium pratense* extracts—In vitro studies on breast cancer models. Antioxidants, vol. 13, no. 12, p. 1435. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox13121435>
5. Arystangaliyev S.A. (1977) *Lekarstvennye rasteniya Kazakhstana* [Medicinal plants of Kazakhstan]. Almaty: Nauka, 67 p. (In Russian).
6. Ayoob I., Hazari Y.M., Lone S.H., Shakeel-u-Rehman, Khuroo M.A., Fazili K.M., Bhat K.A. (2017) Phytochemical and cytotoxic evaluation of *Peganum harmala*: Structure-activity relationship studies of harmine. ChemistrySelect, vol. 2, no. 12, pp. 3472–3477. DOI: <https://doi.org/10.1002/slct.201700232>
7. Baitenov M.S. (2001) *Flora Kazakhstana (Rodovoi kompleks flory)* [Flora of Kazakhstan (Genus complex of flora)]. Almaty, vol. 2, 279 p. (In Russian).
8. Biryulya N.M., Bogomolov K.V. (2017) *Medonosnye, lekarstvennye, dekorativnye rasteniya estestvennoi flory Sibiri, Urala i evropeiskoi chasti Rossii* [Honey-bearing, medicinal, and ornamental plants of the natural flora of Siberia, the Urals, and the European part of Russia]. Ryazan: GUP RO “Ryazanskaya oblastnaya tipografiya”, 352 p. (In Russian).
9. Bondarenko O.N. (1968) *Opredelitel rastenii Srednei Azii* [Plant identification guide of Central Asia]. Tashkent: Fan. (In Russian).

10. Cherednichenko A.V., Storozhenko N.D. (2019) Dynamic of Balkhash lake level under climate change conditions. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., vol. 321, no. 1, p. 012012. DOI: 10.1088/1755-1315/321/1/012012.
11. Cherepanov S.K. (1995) *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredelnykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)* [Vascular plants of Russia and neighboring states (within the former USSR)]. St. Petersburg, 990 p. (In Russian).
12. Das G., Das S., Talukdar A.D., Venil C.K., Bose S., Banerjee S., Shin H.-S., Gutiérrez-Grijalva E.P., Heredia J.B., Patra J.K. (2023) Pharmacology and ethnomedicinal potential of selected plant species from *Apiaceae* (*Umbelliferae*). Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening, vol. 26, no. 2, pp. 256–288. DOI: <https://doi.org/10.2174/1386207325666220406110404>
13. Department of Environmental Protection of Kazakhstan. (2015) *Ekologicheskoe sostoyanie Ile-Balkhashskogo regiona i mery po ego ohrane* [Ecological state of the Ile-Balkhash region and measures for its protection]. Agency for Environmental Protection of Kazakhstan. Available from: <http://www.epa.kz/ili-balkhash>. (In Russian).
14. Dzhushupbekov D. (2023) Otsenka vliyaniya klimata na izmenenie stoka rek Ile-Balkhashskogo basseyna [Assessment of climate impact on river runoff changes in the Ile-Balkhash Basin]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, no. 1, pp. 143–154. Available from: <https://journal.kazhydromet.kz/index.php/kazgidro/article/view/95>. (In Russian).
15. Garibli A.S., Suleymanov T.A., Ollivier E., et al. (2021) Flavonoids from *Medicago falcata* from the flora of Azerbaijan. Chem. Nat. Compd., vol. 57, pp. 150–151. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10600-021-03302-4>.
16. Gemejyeva N.G., Sitpayeva G.T., Karzhaubaeva Zh.Zh., Choi S.H., Paik J.H. (2022) *Medical Plants of Kazakhstan*, vol. 1. Korea, pp. 314–315.
17. Grudinskaya L.M., Gemedzhieva N.G., Nelina N.V., Karzhaubekova Z. (2014) *Annotated List of Medicinal Plants in Kazakhstan*. Almaty, vol. 20, no. 1, 200 p.
18. Ilyin M.M. (1948) Obshchie voprosy izucheniya syrjevykh rastenii [General issues of the study of raw plants]. In: *Metodika polevogo issledovaniya syrjevykh rastenii* [Methodology of field research on raw plants]. Moscow, Leningrad: AN SSSR, pp. 7–24. (In Russian).
19. Kantureyeva A., Ustenova G., Zvonar Pobirk A., Mombekov S., Koilybayeva M., Amirkhanova A., Gemejyeva N., Mamurova A., Kočevár Glavač N. (2024) *Ceratocarpus arenarius*: Botanical characteristics, proximate, mineral composition, and cytotoxic activity. Molecules, vol. 29, no. 2, p. 384. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules29020384>
20. Kupreyanova L.A. (1955) *Flora SSSR* [Flora of the USSR]. Leningrad: Nauka, vol. 22, 207 p. (In Russian).
21. Kultiyasov I.M. (1982) *Ekologiya rastenii* [Plant Ecology]. Moscow: Moscow University, 348 p. (In Russian).
22. Ministry of Ecology of Kazakhstan. (2022) *Sokhraneniye bioraznoolbraziya v Ile-Balkhashskom regione: problemy i perspektivy* [Biodiversity conservation in the Ile-Balkhash region: problems and prospects]. Kazakhstan State Publishing. Available from: <http://www.mec.kz/ili-balkhash>. (In Russian).
23. National Atlas of the Republic of Kazakhstan. (2006) *Pochvy, zemelnye resursy* [Soils, land resources]. Almaty. (In Russian).
24. Nesterova S.G., Inelova Z.A., Childibayeva A.Zh., Yerubaeva G.K., Korotkov V.S. (2016) Endemichnye vidy pustyn Ile-Balkhashskogo regiona [Endemic species of the Ile-Balkhash region deserts]. Vestn. KazNU. Ser. Ekologicheskaya, vol. 31, no. 2. Available from: <https://bulletin-ecology.kaznu.kz/index.php/1-eco/article/view/86>. (In Russian)
25. Ohba H. (1995) Systematic problems of Asian sedoideae. In: *Evol. Syst. Crassulaceae*. Leiden: Backhuys Publishers, pp. 151–158.
26. Pavlov N.S. (1947) *Dikie poleznye i tekhnicheskie rasteniya SSSR* [Wild useful and technical plants of the USSR]. Moscow. (In Russian).
27. Pavlov N.S. (1961) *Flora Kazakhstana* [Flora of Kazakhstan]. Alma-Ata: Academy of Sciences of the Kazakh SSR, vol. 4, 571 p. (In Russian)
28. Pavlov N.S. (1974) *Rastitelnoe syr'e Kazakhstana* [Plant raw materials of Kazakhstan]. Leningrad, 552 p. (In Russian).
29. Phytochemical constituents, distributions and traditional usages of *Arnebia euchroma*: A review (2021). J. Ethnopharmacol., vol. 271, p. 113896. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.113896>
30. Prioritetnye problemy semi osnovnykh rechnykh basseynov Kazakhstana [Priority issues of the seven main river basins of Kazakhstan]. (2007) In: *Sovremennye problemy Balkhash-Alakolskogo basseyna* [Modern problems of the Balkhash-Alakol Basin]. Almaty: KazNU, pp. 94–95. (In Russian).
31. Rabotnov T.A. (1950) Zhiznennyi tsikl mnogoletnikh travyanistyykh rastenii v lugovykh tsenozakh [Life cycle of perennial herbaceous plants in meadow communities]. Tr. BIN im. V.L. Komarova. Ser. 3 Geobotanika, vol. 6, pp. 7–204. (In Russian).
32. Ringselle B., De Cauwer B., Salonen J., Soukup J. (2020) A review of non-chemical management of couch grass (*Elymus repens*). Agronomy, vol. 10, no. 8, p. 1178. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10081178>.
33. Rubtsov N.I. (1955) Geobotanicheskoe raionirovaniye Severnogo Tyan-Shanya [Geobotanical zoning of the Northern Tien Shan]. Izv. AN KazSSR. Ser. Biologicheskaya, vol. 10, pp. 3–27. (In Russian).
34. Serebryakov I.G. (1962) *Ekologicheskaya morfologiya rastenii* [Ecological morphology of plants]. Moscow, 378 p. (In Russian).
35. Skvortsov A.K. (1977) *Gerbarii* [Herbarium]. Moscow, 199 p. (In Russian)
36. Uranov A.A., Smirnova O.V. (1969) Klassifikatsiya i osnovnye cherty razvitiya populyatsiy mnogoletnikh rastenii [Classification and main features of the development of perennial plant populations]. Vestn. Moskovskogo ob-va ispytatelei prirody. Otdel biologii, vol. 74, no. 1, pp. 119–134. (In Russian).
37. Wungrampha S., Rawat N., Singla-Pareek S.L., Pareek A. (2020) Survival Strategies in Halophytes: Adaptation and Regulation. In: Grigore M.N. (ed.) *Handbook of Halophytes*. Cham: Springer, pp. 1–20. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-17854-3_56-1

Information about authors:

Gulzat Kairanova (corresponding author), PhD student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan (e-mail: gulzat-amanzholova@mail.ru; ORCID: 0009-0002-8063-5403).

Mamurova Asem, Associate Professor in the Department of Biodiversity and Bioresources at al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan (e-mail: amamurova81@mail.ru ; ORCID: 0000-0002-4676-9443).

Ahmet Beyatli, PhD, Professor in the Department of Medicinal and Aromatic Plants at the University of Health Science, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0001-5225-6217).

Gaukhar Yeszhanova, Senior teacher of the Department of Fundamental Medicine, Faculty of Medicine and Health Care, al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan (e-mail: g.yeszhanova@mail.ru ; ORCID: 0009-0002-1597-6092).

Asylkhan Rakhymzhan – Ph.D., Associate Professor, Department of Fundamental Medicine, Faculty of Medicine and Health Care, al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan (ORCID: 0000-0003-3152-1557).

Авторлар туралы мәлімет:

Гүлзат Қайранова (жауапты автор) – әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің PhD докторанты (эл. пошта: gulzat-amanzholova@mail.ru ; ORCID: 0009-0002-8063-5403).

Асем Мамурова – әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университетінің биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының қауымдастырылған профессоры (e-mail: amamurova81@mail.ru ; ORCID: 0000-0002-4676-9443).

Ахмет Бейатли – Стамбұл, Түркия, Медицина ғылымдарының университеті, дәрілік және хош иісті өсімдіктер кафедрасының PhD профессоры (ORCID: 0000-0001-5225-6217).

Гаухар Есжанова – Іргелі медицина кафедрасының аға оқытушысы, Медицина және денсаулық сақтау факультеті, әл Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан (e-mail: g.yeszhanova@mail.ru; ORCID: 0009-0002-1597-6092).

Асылхан Рахымжан – Іргелі медицина кафедрасының доцент м.а., Медицина және денсаулық сақтау факультеті, әл Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан (ORCID: 0000-0003-3152-1557).

Сведения об авторах:

Гүлзат Қайранова (автор-корреспондент) – PhD-докторант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: gulzat-amanzholova@mail.ru).

Асем Мамурова – ассоциированный профессор кафедры биоразнообразия и биоресурсов Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан e-mail: amamurova81@mail.ru);

Ахмет Бейатли – PhD, профессор кафедры лекарственных и ароматических растений Университета медицинских наук (Стамбул, Турция);

Гаухар Есжанова – старший преподаватель кафедры фундаментальной медицины, факультет медицины и здравоохранения, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: g.yeszhanova@mail.ru);

Асылхан Рахымжан – PhD, ассоциированный профессор кафедры фундаментальной медицины медицинского факультета Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан).

Received January 20, 2025

Accepted August 20, 2025

Z. Nurakyn¹ , B. Tynybekov¹ , A. Ydyrys² ,
M. Nurtayeva³ , N. Mamytova¹ ,
E. Turarova^{1,4} , M. Imanaliyeva^{2*} 

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Biomedical Research Centre, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

³Communal Government Agency “Specialized Lyceum №126”, Almaty, Kazakhstan

⁴Institute of Botany and Phytointroduction, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: moldirimanalieva19@gmail.com

ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL FEATURES OF ASTRAGALUS AMMODENDRON (FABACEAE) IN KAZAKHSTAN

The study examines the ecological and geographical characteristics of *Astragalus ammodendron*, a typical species of desert ecosystems in Central Asia. The species is distributed in Kazakhstan, Uzbekistan, Turkmenistan, and China, preferring sandy and clay deserts, where it forms stable phytocenoses. The aim of the study is to analyze the ecological and geographical plasticity of *A. ammodendron*, its adaptive mechanisms, and its role in ecosystem stabilization. The research employs route reconnaissance, ecological-systematic, and ecological-geographical methods. A comparative analysis of contemporary and historical herbarium data from collections in Kazakhstan, Russia, and Uzbekistan was conducted, along with cartographic modeling of the species' range using QGIS 3.34. The obtained data confirm the species' drought resistance, its ability to stabilize sandy substrates, and its formation of specific communities with *Haloxylon aphyllum*, *Calligonum leucocladum*, and *Artemisia terrae-albae*. In some areas, population fragmentation has been observed due to anthropogenic factors, including livestock grazing and changes in the hydrological regime. This study contributes to understanding the ecological and geographical patterns of desert plants and their phytocenotic role. The practical significance of the results lies in their potential application for monitoring, conservation, and restoration of ecosystems undergoing degradation due to climate change and anthropogenic impact.

Keywords: *Astragalus*, *Fabaceae*, ecology, geography, herbarium.

З. Нұрақын¹, Б. Тыныбеков¹, Ә. Ыдырыс², М. Нуртаева³,
Н. Мамытова¹, Е. Тұрарова^{1,4}, М. Иманалиева^{2*}

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Биомедициналық зерттеу орталығы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

³«Мамандандырылған лицей №126» коммуналдық мемлекеттік мекемесі, Алматы, Қазақстан

⁴Ботаника және фитоинтродукция институты, Алматы, Қазақстан

*e-mail: moldirimanalieva19@gmail.com

Astragalus ammodendron (fabaceae) түрінің Қазақстандағы экологиялық-географиялық ерекшеліктері

Бұл зерттеу *A. ammodendron* түрінің экологиялық-географиялық ерекшеліктерін қарастырады. *A. ammodendron* Қазақстан, Өзбекстан, Түрікменстан және Қытайдың шөлді аймақтарында таралған, негізінен құмды және сазды шөлдерді мекендейді, онда тұрақты фитоценоздар түзеді. Зерттеудің мақсаты – түрдің экологиялық икемділігін, бейімделу механизмдерін және шөл экожүйелерін тұрақтандырудағы рөлін зерттеу. Зерттеуде маршруттық-рекогносцировкалық, экологиялық-жүйелік және эколого-географиялық әдістер қолданылды. Қазақстан, Ресей және Өзбекстан гербарий қорларының қазіргі және тарихи мәліметтері салыстырылды, QGIS 3.34 көмегімен ареалдың картографиялық талдауы жүргізілді. Нәтижелер *A. ammodendron*-ның құрғақшылыққа төзімділігін, құмды субстраттарды тұрақтандыру қабілетін және *Haloxylon aphyllum*, *Calligonum leucocladum*, *Artemisia terrae-albae* сияқты өсімдіктермен тұрақты қауымдастықтар түзетінін көрсетеді. Кейбір аймақтарда антропогендік әсерлерге байланысты популяциялардың фрагментациясы байқалады, оған мал жаю және гидрологиялық режимнің өзгеруі ықпал етеді. Зерттеу шөл өсімдіктерінің таралу заңдылықтарын және олардың фитоценоздағы рөлін тереңірек түсінуге үлес қосады. Практикалық маңызы – климаттың өзгеруі мен антропогендік фактор-

лардың әсерінен деградацияға ұшыраған экожүйелерді мониторингтеу, қорғау және қалпына келтіру шараларын әзірлеуге негіз болуында.

Түйін сөздер: *Astragalus*, Fabaceae, экология, география, гербарий.

З. Нұрақын¹, Б. Тыныбеков¹, Ә. Ыдырыс², М. Нуртаева³,
Н. Мамытова¹, Е. Тұрарова^{1, 4}, М. Иманалиева^{2*}

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Центр биомедицинских исследований, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

³Коммунальное государственное учреждение «Специализированный лицей № 126», Алматы, Казахстан

⁴Институт ботаники и фитоинтродукции, Алматы, Казахстан

*e-mail: moldirimanalieva19@gmail.com

Эколого-географические особенности *Astragalus Ammodendron* (Fabaceae) в Казахстане

В исследовании рассматриваются эколого-географические характеристики *A. ammodendron* – типичного вида пустынных экосистем Центральной Азии. Вид распространен в Казахстане, Узбекистане, Туркменистане и Китае, предпочитая песчаные и глинистые пустыни, где формирует устойчивые фитоценозы. Цель исследования – проанализировать эколого-географическую пластичность *A. ammodendron*, его адаптационные механизмы и роль в стабилизации экосистем. В работе применены маршрутное рекогносцировочное, эколого-систематическое и эколого-географическое методы. Проведен сравнительный анализ современных и исторических гербарных данных из коллекций Казахстана, России и Узбекистана, а также картографическое моделирование ареала вида с использованием QGIS 3.34. Полученные данные подтверждают засухоустойчивость вида, его способность стабилизировать песчаные субстраты и формировать специфические сообщества с *Haloxylon aphyllum*, *Calligonum leucocladum* и *Artemisia terrae-albae*. В ряде районов отмечена фрагментация популяций из-за антропогенных факторов, включая выпас скота и изменения гидрологического режима. Данное исследование способствует пониманию эколого-географических закономерностей пустынных растений и их фитоценотической роли. Практическая значимость результатов заключается в их потенциальном применении для мониторинга, сохранения и восстановления экосистем, подвергающихся деградации в результате климатических изменений и антропогенного воздействия.

Ключевые слова: *Astragalus*, Fabaceae, экология, география, гербарий.

Introduction

The genus *Astragalus* L. is one of the most polymorphic taxa within the Fabaceae family, characterized by extensive species diversity and high ecological plasticity [1; 2]. The Fabaceae family includes woody, shrub, liana, and herbaceous life forms, demonstrating considerable morphological variability. A distinctive feature of many Fabaceae members is the formation of root nodules, resulting from the interaction between proliferating parenchymal tissue and nitrogen-fixing bacteria. Currently, the family comprises about 700 genera, with *Astragalus* being the largest, represented by approximately 2,200 species worldwide [1; 2; 4].

The study of *Astragalus* began with its first formal description by Carl Linnaeus, who classified its representatives into three morphological groups based on shoot architecture: (1) species with leafy, erect stems; (2) species with leafy, branched stems; and (3) species with bare, leafless stems [5].

In Central Asia, unique representatives of *Astragalus* occur, many of which form dense cushion-like dwarf shrubs adapted to arid environments. These species demonstrate a variety of anatomical and morphological adaptations, such as dense pubescence on leaves, calyxes, and petals, which reduces water loss and protects against overheating. The cushion growth form also minimizes excessive evaporation and helps withstand strong insolation, allowing these plants to dominate the vegetation structure of arid landscapes [6; 7].

Several *Astragalus* species are narrow-range endemics and are listed in the Red Data Book. At the same time, mesophilic species occur in more humid habitats, typically as perennial herbaceous plants with well-developed stems, larger leaves, and reduced pubescence [1; 8]. The polymorphism of the genus is expressed in the coexistence of various morphological forms—ranging from herbaceous types to dwarf shrubs—within limited geographical areas. Unlike some other representatives of Fabae-

ceae, *Astragalus* does not include tree-like or liana forms and does not develop specialized underground storage organs [7; 8].

Most representatives of the genus are light-loving and are widely distributed in steppes, deserts, tundras, and well-lit forest edges. Despite their dominance in arid regions, *Astragalus* species generally do not exhibit extreme xeromorphic specialization typical of some other Fabaceae taxa [9]. Annual species complete their active life cycle during wet seasons, whereas perennial species may shed leaves during drought. Only a small number exhibit succulent traits characteristic of gypsum-loving plants, and no hydrophilic forms are known within the genus [9; 10].

The arid ecosystems of Kazakhstan provide a unique setting for studying plant adaptations, as these environments promote the development of specific mechanisms of survival under limited water availability and high temperatures [11]. One of the key species in these ecosystems is *Astragalus ammodendron*, a dwarf shrub with high ecological plasticity that thrives under desert and semi-desert conditions [12].

Despite its wide distribution in Kazakhstan, the ecological and geographical characteristics of *A. ammodendron* remain insufficiently studied [13]. Comprehensive data on its spatial distribution, the influence of climatic factors, and adaptation mechanisms are currently lacking. Considering accelerating climate change and increasing anthropogenic pressure (overgrazing, habitat degradation), the study of this species has become particularly relevant [14; 15].

The relevance of this research lies in the need to conduct a systematic analysis of the ecological and geographical factors determining the distribution of *A. ammodendron* in Kazakhstan, its ecological preferences, and adaptive strategies. Such an analysis will help assess the resilience of the species to changing environmental conditions and contribute to the development of scientifically grounded conservation strategies [1; 2; 5; 16; 17].

The object of the study is the *A. ammodendron* populations in Kazakhstan, while the subject encompasses their ecological and geographical characteristics, including distribution patterns, habitat conditions, adaptive mechanisms, and ecological plasticity; the aim of the research is to determine the

ecological and geographical features of *A. ammodendron* and to identify its distribution patterns and adaptation strategies across natural zones, for which the study sets the following tasks: reviewing existing literature on the ecology and geography of the species, delineating its distribution in Kazakhstan using field records and cartographic data, assessing key ecological and physiological traits such as soil preferences, water and light requirements, and temperature tolerance, and evaluating its ecological role in desert and semi-desert ecosystems; the working hypothesis assumes that the distribution of *A. ammodendron* is shaped by ecological and climatic factors, with its adaptive mechanisms enhancing resilience to arid conditions and influencing population differentiation; the scientific significance lies in improving understanding of distribution patterns and adaptive potential of this ecologically important species, whereas the practical significance is reflected in the study's ability to support predictions of climate-driven range shifts and to provide guidance for ecosystem restoration and sustainable rangeland management.

Materials and methods

The object of the study is *A. ammodendron* (Fabaceae), growing within the territory of Kazakhstan (Figure 1).

In the course of the research, classical botanical methods were used, including route reconnaissance, ecological-systematic, and ecological-geographical approaches. Herbarium materials from the collection funds of the Institute of Botany and Phytointroduction (AA, Almaty, Kazakhstan), Lomonosov Moscow State University (MW, Moscow, Russia), Komarov Botanical Institute (LE, St. Petersburg, Russia), and the Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (TASH, Tashkent, Uzbekistan) were studied.

For the identification of collected material, fundamental references such as *Flora of Kazakhstan*, *The Plant Identifier of Central Asia and Kazakhstan*, and others were used. Latin and Russian names follow the nomenclature of the International Plant Names Index (IPNI, URL: <https://www.ipni.org/>) and Plants of the World Online (POWO, URL: <https://powo.science.kew.org/>). The map was created using the QGIS 3.34 software.



Figure 1 – *A. ammodendron* in nature

Results and discussion

The genus *Astragalus* is one of the largest and most polymorphic among the representatives of the Fabaceae family. The diversity of life forms within this family, including herbaceous plants, shrubs, and trees, is explained by their wide geographical distribution and adaptation to various ecological conditions. This genus demonstrates a high degree of ecological plasticity, which is expressed in the presence of both mesophilic and xerophilic species, as well as rare representatives included in the Red Data Book [21; 22].

Particular attention should be given to the morphological and anatomical characteristics of legumes, among which specific features of flower and fruit structure stand out [23]. The butterfly-shaped corolla, the presence of a staminal tube, and specialized pollination mechanisms make Fabaceae one of the most successful plant groups in co-evolution with insect pollinators. In some cases, self-pollination and cleistogamy mechanisms have been noted, contributing to successful reproduction even under limited pollinator access [24-26].

The study of the *Astragalus* genus dates back to ancient times when representatives of this genus were first described by early botanists. Over time, the systematics and classification of *Astragalus*

have undergone changes, and today, about 2,200 species are known. Herbarium collections and literature sources indicate their wide distribution, from the arid zones of Central Asia to the temperate latitudes of Europe and Siberia [1-5; 27; 28].

Studies on the Anatomy and Ecology of *Astragalus*

Anatomical studies of the *Astragalus* genus reveal adaptive features aimed at reducing moisture evaporation, protecting against high temperatures, and efficiently utilizing limited water resources [29]. Xerophytic species are particularly noteworthy, exhibiting dense leaf pubescence, modified leaf blades, and cushion-like structures that enhance survival in arid conditions. At the same time, some *Astragalus* species retain mesophilic characteristics, growing in regions with moderate humidity [30].

Geobotanical studies indicate that representatives of the *Astragalus* genus form plant communities in various ecosystems, including steppes, deserts, foothills, and mountain zones. A significant ecological feature of these species is their high photophilous nature, explaining their preference for open spaces, canyon slopes, and semi-desert areas [1-5; 21-25; 31].

During field research conducted in 2024, we recorded five populations of the studied species,

A. ammodendron, within Kazakhstan. Additionally, screening of literature sources and examination of available herbarium specimens from major collections—including the Institute of Botany and Phytointroduction (AA, Almaty, Kazakhstan), Lomonosov Moscow State University (MW, Moscow,

Russia), the Komarov Botanical Institute (LE, Saint Petersburg, Russia), and the Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (TASH, Tashkent, Uzbekistan)—enabled us to create a preliminary distribution map of the species within Kazakhstan (Figure 2).

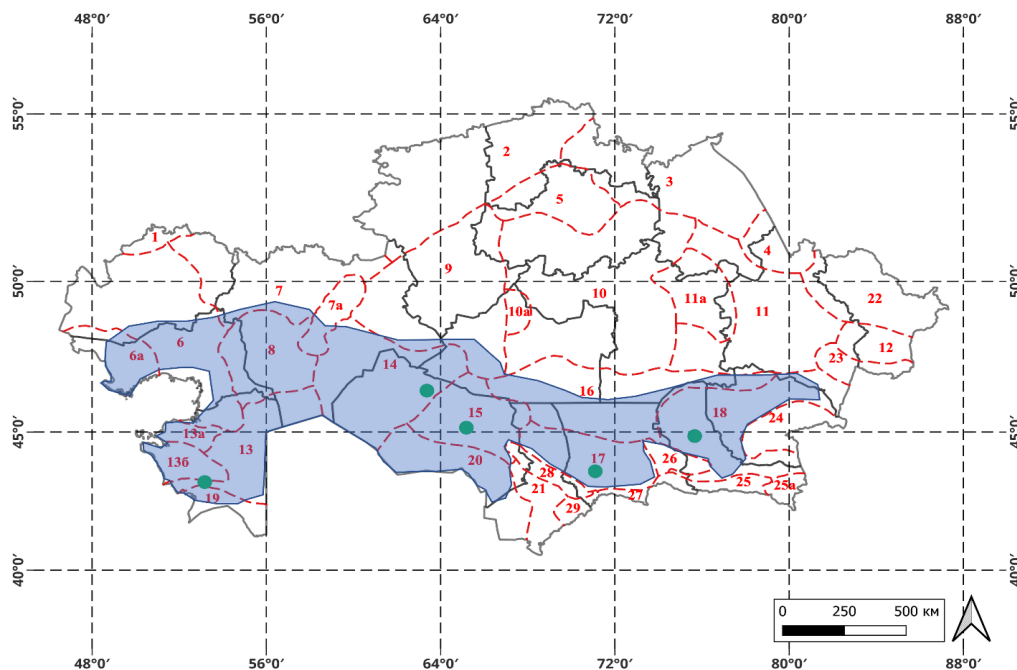


Figure 2 – Distribution map of *A. ammodendron* in Kazakhstan

The herbarium specimens (AA, LE, MW, TASH) of *A. ammodendron* (Figure 3) include records from various regions.

In the Pre-Caspian Flora Region, specimens were collected from Koilebay (hilly sands, T. Astapova, 31 May 1930, MW0844660), Western Kazakhstan (Urdinsky District, 30 km northwest of Ushtagan, Gilkomova, 24 May 1952, LE; Glike-mova, 30 May 1952, LE), and Guryev Region (Novobogashinsky District, 1 km east of Koilak, Shvyryaeva, 11 September 1957, MW0411700; Novobogatinsky District, 1 km east of Koshalak, clay hill, Shvyryaeva, 11 September 1957, MW0411703). Another specimen was recorded in Atyrau Region in a saline clay desert between Dossor and Kulsary (N47°24'19" E53°43'38", V. G. Onipchenko, 6 May 2011, MW0844659).

In the Aktobe Flora Region, specimens were collected from Tabak-Bulak (V. Pelts, E. Ispolatov,

12 March 1914, LE) and the Temir District of Akto-be Province (Martuk, in basin depressions, S. A. Nikitin, 11 June 1925, LE).

In the Mugodzhjar Flora Region, a specimen was recorded 10 km northeast of Karabau in Ural, Guryev, and Aktobe Regions (I. N. Safronova, M. P. Andreev, N. M. Kalibernova, A. P. Mishenkova, 24 May 1975, LE).

In the Emba Flora Region, collections include multiple records from the Bolshie Barsuki Sands near the Cheklkar railway station (N. V. Androsov, 25 May 1908, LE), the Kum-Kuduk Sands in the Temir District (D. N. Borodin, B. P. Uvarov, V. M. Shits, 30 May 1908, LE), and the Kuan-Kuduk Sands in the same district (D. N. Borodin, B. P. Uvarov, V. M. Shits, 30 May 1908, LE). Additional specimens were collected on the Aral Peninsula, Kos-Aral, on the sandy northeastern shore of the bay (M. Kuily-us, scattered, I. Raykova, M. G. Popov, 3 July 1921,

LE), and from the Emba River, Kum-Tugai basins in Ural Province (S. A. Nikitin, N. Bazevskaya, 21 June 1927, LE).

Herbarium specimens from the Turgay Flora Region were collected in the following locations: on the outskirts of the Air-Kyzyl Sands in the Turgay Region (V. Savich, S. Kuchеровskaya, 04 May 1909, LE) and 22 km downstream along the Turgay River from the village of Amangeldy and the town of Turgay, at the foot of hilly sands (Yu. D. Soskov, P. A. Lubenets, 17 July 1971, AA).

In the Northern Ustyurt Flora Region, specimens were collected in various locations, including the Kara-Kum Sands in the Ural Region (V. Dubyansky, 01 June 1904, LE), sands near the banks of the Emba River (V. Dubyansky, 08 June 1904, LE), the Aya-Daparbi Sands between the Emba River and Ustyurt in the Aday District (Bash-Ragbil, R. Rozhevits, M. Ilyin, M. Avramchik, 08 June 1926, LE), the eastern part of Ustyurt, south of Asmantay-Matay Lake (R. Yu. Rozhevits, A. O. Heinrichson, 08 October 1926, LE), and in the Turaumbet Tract, Mangystau District, Guryev Region (Vashchenok, 16 May 1956, LE).

Additional specimens from the Guryev Region in Kazakhstan were recorded at the northern outskirts of the Kara-Kum Sands, 20–25 km south of Kulsary village (I. I. Rusanovich, A. E. Matsenko, S. M. Udintseva, 06 May 1983, MHA0148606), as well as 70–75 km south of Kulsary, in dense turf-

covered sands (I. I. Rusanovich, A. E. Matsenko, S. M. Udintseva, 06 May 1983, MHA0148607).

Collected from various locations within the Mangyshlak floristic region, these specimens include those collected by A. Bekker in 1869 in *Mangyshlak* (MW0844664); K. Inuryushchenko on April 16, 1912, in the *Trans-Caspian region* (*Dzhebel Balla-Ishem*) on clay soils (LE); V. Drobov on April 24, 1916, in the *Dzhebel region* of the *Trans-Caspian region* (TASH00204258); M. D. Spiridonov on June 5, 1926, between the *Cham spring* and *Ayrakty tract* on loose gypsum-bearing clays (AA); F. N. Rusanov on June 7, 1926, on the northeastern slope of a cliff 3 versts east of the *Udyak colony* (AA); and A. D. Gozhev and N. N. Gratz-Guseva on June 7, 1937, on the coast of the *Kulandy Peninsula* in an area of hilly sands (LE).

Additionally, the figure includes specimens collected by U. K. Kisyakov on May 4, 1951, in the *Dzhelgimai tract* on sandy loam soils (AA); G. Cherkasova on July 21, 1973, in the *Northern Aktau Ridge*, near the village of *Tigen*, at the base of chalk slopes on sandy soil with chalk gravel (MW0844661); G. M. Kudabaeva on June 3, 1986, in the vicinity of *Aksu village* on sandy soils (AA); as well as specimens recorded in the *Munaily District of Aktau* on April 21, 2009(coordinates N43°27'41" E51°19'22", iNaturalist Observation) and in the *Mangystau region* on May 20, 2009(coordinates N43°27'56" E51°18'36", iNaturalist Observation).

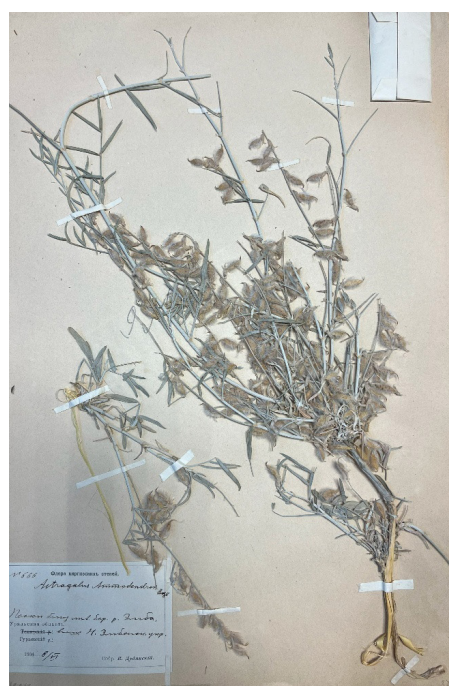


Figure 3 – Herbarium specimens stored at the Komarov Botanical Institute (LE, St. Petersburg, Russia)

Aral Sea region: "Turgay Province, Irgiz County, B. Baranki. V. Dubyansky. 27 IV 1904" (LE); "Turgay Province, Irgiz County, near the Aral Sea. V. Dubyansky. 04 V 1904" (LE); "Turgay Province, Irgiz County, S. part of B. Baranki. V. Dubyansky. 08 V 1904" (LE); "Turgay Province, Irgiz County, Kashkar-Ata. V. Dubyansky. 12 V 1904" (LE); "Turgay Province, Irgiz County. V. Dubyansky. 12 V 1904" (LE); "Turgay Province, Bolshie Barsuki Sands, Chelykar Station. N. V. Androsoy 21 V 1907" (LE); "Bolshie Barsuki Sands near Chelykar railway station. Androsoy N. V. 25 V 1908" (AA); "Kazakh SSR. Bolshie Barsuki Sands. Near Chelykar railway station. N. V. Androsoy 25 V 1908" (LE); "Kazakh SSR. Bolshie Barsuki Sands. Near Chelykar railway station. N. V. Androsoy. 25 V 1908" (LE); "Kazakh SSR. Bolshie Barsuki Sands. Near Chelykar railway station. N. V. Androsoy 25 V 1908 (MW0844665-1)"; "Kazakh SSR. Bolshie Barsuki Sands. Near Chelykar railway station. N. V. Androsoy 25 V 1908 (MW0844665-2)"; "Kazakh SSR. Bolshie Barsuki Sands. Near Chelykar railway station. N. V. Androsoy 25 V 1908 (MW0844666-1)"; "Kazakh SSR. Bolshie Barsuki Sands. Near Chelykar railway station. N. V. Androsoy 25 V 1908 (MW0844666-2)"; "Turgay Province, Irgiz County, Eastern part of Mal. Barsuki. Sand dunes. N. A. Desyatova. 04 V 1914" (LE); "Turgay Province, Irgiz County, Isen-Chagyl Sands. Mobile sand dunes. N. A. Desyatova. 15 V 1914" (AA); "Turgay Province, Irgiz County, Isen-Chagyl Sands. Mobile sand dunes. N. A. Desyatova. 15 V 1914" (LE); "Tashkent Railway, between Sapak and Chumysh Stations. V. Titov. 19 V 1914" (LE); "Turgay Province, Irgiz County, between Barbi Kum Sands and Nary Kyzyl. Sand dunes. Sary Bas depression. N. A. Desyatova. 14 VI 1914" (LE); "Between Aral Sea Station and Aralsk city. Slightly hilly sands. Malo. I. Raykova, M. G. Popov. 28 V 1921" (LE); "Between Aral Sea Station and Aralsk city. Slightly hilly sands. Malo. I. Raykova, M. G. Popov. 28 V 1921" (LE); "Between Aral Sea Station and Aralsk city. Slightly hilly sands. Malo. I. Rachkova, M. G. Popov. 29 V 1921" (TASH00204286); "Aktobe Province, Chelkar County, Muyn-Kumy Sands, top of a sand dune. M. D. Spiridonov. 11 VI 1927" (AA); "Aktobe Province, Chelkar County, Western spurs of the northwestern end of the sands. O. E. Knorring, N. P. Belov. 11 VI 1927" (LE); "Aktobe Province, Chelkar County, 7 versts to the east of Ak-Iin. O. E. Knorring, N. P. Belov. 16 VI 1927" (LE); "Aktobe Province, Chelkar County, Karatokay District, 22 km southeast from the shores of the Tshe-Zae Bay, re-blown sands of Karatyuben.

A. A. Sergeev. 04 VII 1927" (LE); "Aktobe Province, Chelkar County, Kashkar-Ata Sands. Lowlands between dunes. G. I. Rilenko. 28 VII 1927" (LE); "Aktobe Province, Chelkar County, west of Kurgan-Tuz. Plain terrace of a lake basin, sandy steppe. T. A. Spiridonov. 07 VIII 1927" (LE); "Near Aral Sea Station. Protected island on the Aral Sea. S. G. Gorshkova. 29 V 1930" (LE); "Near Aral Sea Station. Protected island on the Aral Sea. S. G. Gorshkova. 30 V 1930" (LE); "Malye Barsuki. Koilebay. Sand dunes. T. Astapova. 31 V 1930 (MW0844669)"; "Bolshie Barsuki. A. D. Gozhev, N. N. Gratz-Guseva, A. V. Mizerov. 02 VI 1930" (LE); "Malye Barsuki, small almost bare basin, N47°24'43" E60°50'30". E. Serova, N. Pavlov. 23 V 1931 (MW0844668)"; "Malye Barsuki, large basin. N47°24'43" E60°50'30". E. Serova, N. Pavlov. 29 V 1931 (MW0844662)"; "On a sand dune near the shore of Tamerlane. N47°25'58" E60°48'15". E. Serova, N. Pavlov. 07 VI 1931 (MW0844663)"; "Western Kazakhstan, Urdinsky District, 30 km northwest of Ushtagan. Gilkomova. 24 V 1952" (LE); "Western Kazakhstan, Urdinsky District, 30 km northwest of Ushtagan. Gilkomova. 30 V 1952" (LE); "Northern Aral Sea region, Aktobe Region, southeast of Chelkar, near Lake Jamankultuz. O. U. Lushpa. 07 V 1957" (AA); "Northern Aral Sea region. Kyzylorda Region, Aral Karakum Sands. O. U. Lushpa. 27 V 1957" (AA); "Kazakh SSR. Aktobe Region, Chelkar District. Isen-Chagyl Sands. Tas-Kura. Semi-fixed sand dunes. Nukhimovsky. 07 VI 1963 (MW0844667)"; "Northern Aral Sea region, Malye Barsuki Sands. B. A. Bykov. 11 V 1967" (AA); "Malye Barsuki Sands, Northern Aral Sea region. B. A. Bykov. 14 VII 1967" (AA); "Aral District, N46°24'16" E59°35'25" 13 V 2010. (<https://www.inaturalist.org/observations/98167829>)"

Kyzylorda floristic region: "Kazakhstan. Priaral Karakums. Sandy overgrown hills near Ashchesay. A. Yarmolenko, M. Mikulin. 23 VI 1930" (LE).

Betpak-Dala floristic region: "Island in the northern part of B. Chiganak, formed by station, settlement, and several unnamed bays. Scattered. I. Rachkova, M. G. Popov. 03 VI 1921" (TASH00204287).

Moyynkum floristic region: "Syr-Darya region. (Tian-Shan) Moyunkum. A. Golbek. 20 V 1910" (LE); "Syr-Darya region. (Tian-Shan) Moyunkum. A. Golbek. 20 V 1910" (LE); "Suzak district, N 44°31'15" E 68°38'23" 11 V 2010 (<https://www.inaturalist.org/observations/98168930>)".

Balkhash-Alakol floristic region: "Sands of the Lepsy River valley. K. N. Paraskiv. 14.06.1956" (AA); "Zhambyl district, N 44°19'52" E 75°33'07", 11 V 2021, A. Bazdyrev. (iNaturalist); "Zhambyl

district. N 44°25'46" E 75°29'52" B. B. Osmonali. 03 V 2024 (iNaturalist).

Southern Ustyurt floristic region: "Ustyurt, Kugusem tract. A. P. Gamayunova. 06 V 1965" (AA); "Southern Ustyurt. 50 km south of Sarykamys Lake, in saxaul groves. V. V. Fisyun. 04 V 1978" (AA); "Southern Ustyurt. Near the Tokhlenkum station, on overgrown sands, among fruiting juzguns. V. V. Fisyun. 13 V 1978" (AA); "Ustyurt. Vicinity of Aisu settlement. On sands. G. M. Kudabaeva. 03 VI 1986" (AA).

Kyzylkum floristic region: "Turkestan. Near Aral. Bulyuk-Kulk. L. Berg. 04 V 1900" (LE); "Turkestan. Near Aral. Bulyuk-Kulk. L. Berg. 04 V 1900" (LE); "Turkestan. Near Aral. Tuguñ. L. Berg. 08 V 1900" (LE); "Kyzyl-Kums. Soft deposits of the slopes of Altyn-Tau. F. N. Rusanov. 07 X 1928" (AA); "Turkestan. Near Aral. Barsa-Kelmes. L. Berg. 25 VI 1900" (LE); "Turkestan. Near the Aral Sea. L. Berg. 07 V 1902" (LE); "Amu-Darya district, Kuduk-Vansbay. N. I. Smirnov. 19 IV 1914" (LE); "Amu-Darya district, Kuduk-Vansbay. N. I. Smirnov. 19 IV 1914" (LE); "Amu-Darya district of the Syr-Darya region. Kyzyl-Kums between Sultan-Uiz-Beg and Talyk-Bay tract. I. Krasheninnikov. 01 IV 1915" (LE); "Amu-Darya district of the Syr-Darya region. Mount Kube-Tau, steppe dominated by Artemisia. I. Krasheninnikov. 18 IV 1915" (LE); "Bank of the Syr-Darya River; near Kanl-Oryn. On sandy hills near Karaul-Tyube, N 44°54'18" E 65°31'22" M. I. Nazarov. 12 V 1930 (MW0844658); "Aral Sea, Perovsky Bay, Sary-Basat tract, coastal sands. Astapova. 05 VI 1930. (MW0844657)".

The genus *Astragalus*, being one of the most polymorphic genera in the *Fabaceae* family, is represented by various life forms, ranging from herbaceous plants to shrubs. The study confirmed the widespread distribution of *A. ammodendron* Bunge in the arid and semi-arid zones of Kazakhstan, indicating the high ecological plasticity of the species [1-5; 21-28; 32-34].

Based on herbarium data and literature sources, *A. ammodendron* is found in various regions of Kazakhstan, including the Precaspian, Aktobe, Mugodzhaz, Embinsky, Turgay, and Ustyurt floristic regions. This indicates its ability to adapt to different conditions of arid ecosystems. In particular, the densest populations of this species have been recorded in the sands of Bolshie Barsuki, Karakum, and Malye Barsuki, as well as in the saline and clay deserts of the Atyrau region [1-5; 22; 25; 28; 35-37].

The ecological adaptation of *A. ammodendron* is expressed in its xerophytic traits—a deep

root system, a well-developed leaf surface covered with trichomes to reduce evaporation, and the ability to fix nitrogen symbiotically. These characteristics provide the plant with competitive advantages in sandy and semi-sandy soils [1-3; 25-28; 38; 39].

Additionally, herbarium specimens collected in the 20th century and in recent decades were analyzed, allowing an assessment of the distribution dynamics of *A. ammodendron* under anthropogenic impact and climate change. The data show that the species' range remains relatively stable; however, local populations may undergo fragmentation due to landscape changes and habitat degradation [1-5; 25; 28; 40-41].

A comparative analysis of herbarium data indicates the predominance of *A. ammodendron* in sandy and clay deserts, where competition from other species is low. Under these conditions, the plant forms stable phytocenoses, where it can act as a dominant or subordinate component within desert communities.

An interesting observation is the presence of *A. ammodendron* populations in Southern Ustyurt and Kyzylkum, which suggests its ability to survive in extremely arid climates. This may be attributed to its high degree of adaptation to sandy soils and its deep-rooting system, which allows access to moisture from deep soil horizons.

Thus, based on herbarium data and the analysis of phytocenotic conditions, it can be concluded that *A. ammodendron* is a resilient component of Kazakhstan's desert ecosystems. However, due to increasing anthropogenic pressure and climate change, further research is needed to monitor population status and develop conservation measures.

The results of the analysis of herbarium data and literature sources indicate that *A. ammodendron* has a broad distribution range covering various regions of Kazakhstan, including the Precaspian, Aktobe, Mugodzhaz, Embinsky, Turgay, North and South Ustyurt, Kyzylkum, Betpak-Dala, Moyynkum, and Balkhash-Alakol floristic regions.

The species' primary habitats are confined to arid, sandy, and semi-desert territories, highlighting its adaptation to extreme conditions. In particular, *A. ammodendron* prefers hummocky sands, stabilized dunes, and sandy plains with varying levels of salinity. In some locations, its populations have been recorded in clay and saline deserts, further demonstrating its high plasticity to different soil types.

The phytocenotic role of *A. ammodendron* varies depending on the region. In some areas, it acts as a dominant species in plant communities, form-

ing characteristic phytocenoses, while in other locations, it occurs in a scattered distribution. In Western Kazakhstan and the Mangyshlak region, it is more frequently found as isolated individuals on sandy and clay soils. In the Aral Sea region and Kyzylkum, it is more commonly found on shifting sands, indicating its role in substrate stabilization and erosion prevention.

A comparative analysis of historical herbarium data shows that *A. ammodendron* populations in some areas are subject to anthropogenic impact. For example, in Northern Priaralye, its populations may be declining due to intensive economic activity, grazing pressure, and changes in the hydrological regime. At the same time, in remote and hard-

to-access areas such as Ustyurt and Moyynkum, its population remains stable.

Thus, this species represents a key component of plant communities in the desert and semi-desert zones of Central Asia, demonstrating high adaptability to extreme conditions and a broad range of ecological strategies.

Phytocenoses involving *A. ammodendron* develop under arid conditions on sandy and sandy loam soils in Central Asia and Kazakhstan, most commonly within desert and semi-desert ecosystems. This species often plays the role of a subdominant or associated component in plant communities, forming stable groupings with other xerophytic and psammophytic species (Figure 4).



Kyzylorda Region, Kazaly District,
Priaralye Floristic Region



Almaty Region, Balkhash District,
Balkhash-Alakol Floristic Region

Figure 4 – Phytocenoses with the participation of *A. ammodendron*

A. ammodendron is most frequently found in association with *Haloxylon aphyllum*, a key woody component of desert communities, forming patchy woodlands with an open herbaceous layer. In sandy desert conditions, its constant companions include *Calligonum leucocladum* and *Atraphaxis replicata*, which form a shrub layer, as well as *Krascheninnikovia ceratoides* and *Artemisia terrae-albae*, which contribute to the stabilization of sandy substrates. *Bassia prostrata* is often present in the herbaceous cover, creating a mosaic phytocenotic structure.

In addition to these species, the phytocenoses involving *A. ammodendron* exhibit significant diversity of herbaceous and shrubby plants from various families. Among the shrubs and subshrubs, *Calligonum aphyllum* and *Ephedra intermedia* are present, demonstrating resilience to arid conditions.

Among grasses and sedges, *Carex physodes*, *Poa bulbosa*, *Eremopyrum orientale*, and *Eremopyrum distans* play a dominant role due to their high adaptation to sandy and saline soils.

Ephemeral and ephemeroid species exhibit different ecological strategies. For example, the spring ephemeroids *Eremurus inderiensis* and *Eremurus anisopterus* are essential components of the early spring vegetation aspect. Other typical elements of the ephemeral layer include *Descurainia sophia*, *Scorzonera sericeolanata*, *Heliotropium dasycarpum*, *Delphinium campitocarpum*, *Alyssum desertorum*, and *Erysimum siliculosum*, which contribute to a temporary increase in phytocenotic productivity during favorable seasons.

The herbaceous cover also frequently includes representatives of the Fabaceae family, such as *Astragalus flexus* and *Astragalus physocarpus*,

which, along with *Ceratocarpus arenarius*, are capable of nitrogen fixation, enriching the soil. Xerophilous and psammophilous species are often part of the plant communities, including *Erodium oxyrhinchum*, *Nonea caspica*, *Neotrinia splendens*, *Salsola tragus*, and *Lappula squarrosa*, which play a crucial role in forming stable sandy ecosystems.

Thus, *A. ammodendron* is a significant component of phytocenoses in sandy and semi-desert areas, forming complex interactions with xerophytic and psammophytic species. Its ability to fix nitrogen and stabilize the soil substrate contributes to maintaining biodiversity and ecosystem resilience under the extreme conditions of arid landscapes.

Conclusion

A. ammodendron has a vast range, encompassing sandy and semi-desert ecosystems of Kazakhstan, indicating its high ecological and geographical plasticity. The species prefers stabilized and shifting sands, as well as saline clay soils, playing a crucial role in landscape stabilization and erosion preven-

tion. In some regions (e.g., the Aral Sea region, Kyzylkum), it serves as a key component of plant communities, whereas in others (e.g., Mangyshlak, Northern Ustyurt), it occurs in a more scattered distribution.

Anthropogenic factors such as livestock grazing and changes in the hydrological regime may negatively impact *A. ammodendron* populations, particularly in Northern Priaralye. To ensure the conservation of this species, it is recommended to monitor its distribution, especially in areas with intensive economic activities, and to develop conservation measures.

Funding

This scientific research work was carried out with the financial support of the grant project “AP26100259” funded by the Scientific Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan. The authors express their gratitude to this institution and to the Faculty of Biology and Biotechnology of Al-Farabi Kazakh National University.

References

1. Belous V. N. Vidy roda Astragalus L. i ih rol v rastitel'nom pokrove Predkavkazya [Species of the genus Astragalus L. and their role in the vegetation cover of Ciscaucasia: Abstract for the scientific degree of Candidate of Biological Sciences]. Stavropol. – 2005. [in Russian]
2. Vasileva L. I. Rod 18. Astragal – Astragalus L. [Genus 18. Astragal – Astragalus L.]. Flora Evropeiskoi chasti SSSR. -1987. -Vol. 6. -P. 67. [in Russian]
3. Goncharov, N. F. (). Rod 809. Astragal – Astragalus L. [Genus 809. Astragal – Astragalus L.]. Flora SSSR: Izd-vo AN SSSR, -1946. -Vol.12, -P. 873. [in Russian]
4. Kamelin R. V. Astragalus L. – Astragal [Astragalus L. – Astragal]. Arealy: Nauka. -1986. -Vol.3, 182p. [in Russian]
5. Kamelin R. V. Astragalus L. – Astragal [Astragalus L. – Astragalus]. Opredelitel rastenii Srednei Azii, Tashkent: Izd-vo «Fan» UzSSR. -1981. -Vol.6, -P. 70–211. [in Russian]
6. Knyazev M. S., Kulikov P. V., Philippov, E. G. (2006). Sektsiya Helmia roda Astragalus (Fabaceae) vo flore Urala [Section Helmia of the genus Astragalus (Fabaceae) in the flora of the Urals]. Botanicheskii Zhurnal. -2006. -Vol.91. -No.2. -P. 278–290. [in Russian]
7. Kulikov P. V. Konspekt flory Chelyabinskoi oblasti (sosudistye rasteniya) [Abstract of the flora of the Chelyabinsk region (vascular plants)]. Ekaterinburg: Geotour. -2005. [in Russian]
8. Kulikov P. V. Opredelitel sosudistykh rastenii Chelyabinskoi oblasti [Key to vascular plants of the Chelyabinsk region]. Ekaterinburg: UrO RAN. -2010. [in Russian]
9. Kulikov P. V. Novyi vid Astragalus (Fabaceae) s plato Ustyurt (Kazakhstan) [New species of the genus Astragalus (Fabaceae) from the Ustyurt plateau (Kazakhstan)]. Botanicheskii Zhurnal. -2014. -Vol.99. -No.9. -P. 1056–1066. [in Russian]
10. Perezhogin Y. V., Borodulina O. V., Tarasov M. S. Reviziya rodov Astragalus L. Oxytropis DC. flory Kostanayskoi oblasti [Revision of the genera Astragalus L. and Oxytropis DC. flora of Kostanay region]. Vestnik Kostanayskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo instituta. -2021. [in Russian]
11. Flora Kazakhstana [Flora of Kazakhstan]. Almaty: Nauka. -1956. -Vol.1, 353 p. [in Russian]
12. Alami S., Lamin H., Bouhnik O., El Faik S., Filali-Maltouf A., Abdelmoumen H. Astragalus algarbiensis is nodulated by the genisteae symbiovar of Bradyrhizobium spp. in Morocco. Systematic and Applied Microbiology. – 2019. -Vol. 42.-No. 6. -P. 440–447. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2019.03.004>
13. Alaniya M. D., Kavtaradze N. Sh., Skhirtladze A. V., Aneli, J. N. Cyclotanoside, a new cycloartane glycoside from flowers of Astragalus tanae. Chemistry of Natural Compounds. -2017. -Vol.53. -P.682–686. <https://doi.org/10.1007/s10600-017-2186-1>

14. Aslanipour B., Gulcernal D., Nalbantsoy A., Yusufoglu H., Bedir E. Secondary metabolites from *Astragalus karjaginii* Boriss and the evaluation of their effects on cytokine release and hemolysis. *Fitoterapia*. -2017. -Vol.122. -P. 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2017.08.011>
15. Azani N., Bruneau A., Wojciechowski M. F., Zarre, S. Miocene climate change as a driving force for multiple origins of annual species in *Astragalus* (Fabaceae, Papilionoideae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. -2019. -Vol.137. -P. 210–221. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2019.05.008>
16. Bagheri A., Abbasi S., Mahmoodi M., Roofgar A. A., Blattner F. R. Genetic structure and conservation status of *Astragalus subrecognitus* (Fabaceae): A very rare and narrow endemic species. *Plant Ecology and Evolution*. -2020. -Vol.153. -No.1. -P.101–107. <https://doi.org/10.5091/plecevo.2020.1632>
17. Bagheri A., Ghahremaninejad F., Maassoumi A. A., Rahiminejad M. R., Blattner F. R. Nine new species of the species-rich genus *Astragalus* (Leguminosae). *Novon*. -2017. -Vol.25. -P.266–281. <https://doi.org/10.3417/2016010>
18. Bagheri A., Rahiminejad M. R., Maassoumi, A. A. A new species of the genus *Astragalus* (Leguminosae-Papilionoideae) from Iran. *Phytotaxa*. -2014. -Vol.178. -P.38–42. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.178.1.4>
19. Bagheri A., Mahmoodi M., Maassoumi A. A. The distribution patterns of *Astragalus* sect. *Hypoglottidei* DC. (Fabaceae) in Iran. *Nova Biologica Reperta*. -2019. -Vol.6. -P.320–325. <https://doi.org/10.29252/nbr.6.3.320>
20. Bidarlord M., Ghahremaninejad, F., Maassoumi, A. A. A new species of the genus *Astragalus* (Leguminosae) from north-west Iran. *Phytotaxa*. -2016. -Vol.252. -P.280–284. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.178.1.4>
21. Choi I. S., Kim J. H., Choi B. H. Complete plastid genome of *Astragalus mongholicus* var. *nakaianus* (Fabaceae). *Mitochondrial DNA Part A*. -2016. -Vol.27. -P.2838–2839. <https://doi.org/10.3109/19401736.2015.1053118>
22. Cook D., Gardner D. R., Martinez A., Robles C. A., Pfister J. A. Screening for swainsonine among South American *Astragalus* species. *Toxicon*. -2017. -Vol.139, 54–57. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2017.09.014>
23. Cook D., Gardner D. R., Pfister J. A., Lee S. T., Welch K. D., Welsh, S. L. A screen for swainsonine in select North American *Astragalus* species. *Chemistry & Biodiversity*. -2017. -Vol.14. e1600364. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201600364>
24. Imanaliyeva M. T., Tynybekov B. M., Parmanbekova M. K., Imanova E. M., Kyrbasova E. A., Kabylbek K., Kurmanbay U. K. Anatomical studies of vegetative organs in two *Gentiana* species (Gentianaceae). *Eurasian Journal of Ecology*. -2024. -Vol.80. -No.3. <https://doi.org/10.26577/eje.2024.v80.i3-09>
25. Ydyrys A., Mukhitdinov N., Ivashchenko A., Ashirova Z., Massimzhan M., Imanova E., Parmanbekova M., Toktar M., Yeszhanov B., Ilesbek M., Askerbay G., Kaparbay R. Methodological guide for geobotanical research on rare, endemic, and medicinal plants: a case study of the Ranunculaceae family. *ES Food & Agroforestry*. -2024. -Vol.18. <https://doi.org/10.30919/esfaf1340>
26. Costa I. M., Lima F. O. V., Fernandes L. C. B., Norrara B., Neta F. I., Alves D., Cavalcanti J., Lucena E. E. S., Cavalcante J. S., Rego A. C. M., Filho I. A., Queiroz D. B., Freire M. A. M., Guzen F. P. Astragaloside IV supplementation promotes a neuroprotective effect in experimental models of neurological disorders: A systematic review. *Current Neuropharmacology*. – 2018. <https://doi.org/10.2174/1570159X16666180911123341>
27. IPNI. The International Plant Name Index. -2025. <http://www.ipni.org/>
28. Liu Y., Chen Y., Fu, X. The complete chloroplast genome sequence of medicinal plant: *Astragalus laxmannii* (Fabaceae). *Mitochondrial DNA B Resources*. -2020. -Vol.5. -P.3661–3662. <https://doi.org/10.1080/23802359.2020.1829122>
29. Lei W., Ni D., Wang Y., Shao J., Wang X., Yang D. Intraspecific and heteroplasmic variations, gene losses and inversions in the chloroplast genome of *Astragalus membranaceus*. *Scientific Reports*. -2016. -Vol.6. -P.21669. <https://doi.org/10.1038/srep21669>
30. Li X., Qu, L., Dong Y., Han L., Liu E., Fang S. A review of recent research progress on the *Astragalus* genus. *Molecules*. -2014. -Vol.19. -P.18850–18880. <https://doi.org/10.3390/molecules191118850>
31. Tynybekov B., et al. Adaptation features of *Gentiana tianschanica* Rupr. populations to environmental factors in Kazakhstan. *ES Energy & Environment*. -2024. -Vol.26. -P.1361.
32. Massatti R., Belus M. T., Dowlatshahi S., Allan G.J. Genetic analyses of *Astragalus* sect. *Humillimi* (Fabaceae) resolve taxonomy and enable effective conservation. *American Journal of Botany*. -2018. -Vol.105. -P.1703–1711. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1157>
33. POWO. Plants of the World Online. -2025. <http://powo.science.kew.org/taxon>
34. Su C., Duan L., Liu P., Liu J., Chang Z., Wen, J. Chloroplast phylogenomics and character evolution of eastern Asian *Astragalus* (Leguminosae): Tackling the phylogenetic structure of the largest genus of flowering plants in Asia. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. -2025. -Vol.156. -P.107025. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.107025>
35. Thiers B. M. Index Herbariorum: A global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. -2025. <http://sweetgum.nybg.org/science/ih>
36. Tunckol B., Aytay Z., Aksoy N., Fisne, A. *Astragalus bartinense* (Fabaceae), a new species from Turkey. *Acta Botanica Croatica*. -2020. -Vol.79. -P.131–136. <https://doi.org/10.37427/botcro-2020-023>
37. Ydyrys A., Zhamanbayeva G., Zhaparkulova N., Aralbaeva A., Askerbay G., Kenzheyeva Z., Tussupbekova, G., Syraiyl S., Kaparbay R., Murzakhmetova M. The systematic assessment of the membrane-stabilizing and antioxidant activities of several Kazakhstani plants in the Asteraceae family. *Plants*. -2023. -Vol.13. -No.96. <https://doi.org/10.3390/plants13010096>
38. Wang B., Chen H., Ma H., Zhang H., Lei W., Wu W. Complete plastid genome of *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge var. *membranaceus*. *Mitochondrial DNA B Resources*. -2016. -Vol.1. -P.517–519. <https://doi.org/10.1080/23802359.2016.1197057>

39. Ydyrys A., Mukhitdinov N., Ametov A., Tynybekov B. The states of coenpopulations of endemic, relict, and rare species of plant *Limonium michelsonii* and their protection. *World Applied Sciences Journal*. -2023. -Vol.26. -P.934–940. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.26.07.13525>
40. Willig M. R., Presley S. J. Latitudinal gradients of biodiversity: Theory and empirical patterns. In A. Dellasala & M. I. Goldstein (Eds.), *Encyclopedia of the Anthropocene*. -2018. -Vol. 3. -P. 13–19. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09809-8>
41. Zhang D., Jiang B. Species identification in complex groups of medicinal plants based on DNA barcoding: A case study on *Astragalus* spp. (Fabaceae) from southwest China. *Conservation Genetics Resources*. -2020. -Vol.12. -P.469–478. <https://doi.org/10.1007/s12686-020-01138-9>

References

1. Alami, S., Lamin, H., Bouhnik, O., El Faik, S., Filali-Maltouf, A., Abdelmoumen, H., et al. (2019). *Astragalus algarbiensis* is nodulated by the genistearum symbiovar of *Bradyrhizobium* spp. in Morocco. *Systematic and Applied Microbiology*, vol. 42, no.6, pp. 440–447. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2019.03.004>
2. Alaniya, M. D., Kavtaradze, N. Sh., Skhirtladze, A. V., & Aneli, J. N. (2017). Cyclotanoside, a new cycloartane glycoside from flowers of *Astragalus tanae*. *Chemistry of Natural Compounds*, vol. 53, pp. 682–686. <https://doi.org/10.1007/s10600-017-2186-1>
3. Aslanipour, B., Gulcemal, D., Nalbantsoy, A., Yusufoglu, H., & Bedir, E. (2017). Secondary metabolites from *Astragalus karjaginii* Boris and the evaluation of their effects on cytokine release and hemolysis. *Fitoterapia*, vol. 122, pp. 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2017.08.011>
4. Azani, N., Bruneau, A., Wojciechowski, M. F., & Zarre, S. (2019). Miocene climate change as a driving force for multiple origins of annual species in *Astragalus*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, vol. 137, pp. 210–221. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2019.05.008>
5. Bagheri, A., Abbasi, S., Mahmoodi, M., Roofgar, A. A., & Blattner, F. R. (2020). Genetic structure and conservation status of *Astragalus subrecognitus*. *Plant Ecology and Evolution*, vol. 153, no.1, pp. 101–107. <https://doi.org/10.5091/plecevo.2020.1632>
6. Bagheri, A., Ghahremaninejad, F., Maassoumi, A. A., Rahiminejad, M. R., & Blattner, F. R. (2017). Nine new species of *Astragalus*. *Novon*, vol. 25, pp. 266–281. <https://doi.org/10.3417/2016010>
7. Bagheri, A., Rahiminejad, M. R., & Maassoumi, A. A. (2014). A new species of *Astragalus*. *Phytotaxa*, vol. 178, pp.38–42. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.178.1.4>
8. Bagheri, A., Mahmoodi, M., & Maassoumi, A. A. (2019). The distribution patterns of *Astragalus* sect. *Hypoglottidei* DC. *Nova Biologica Reperta*, vol. 6, no.3, 3 pp. 20–325. <https://doi.org/10.29252/nbr.6.3.320>
9. Belous, V. N. (2005). *Vidy roda Astragalus L....* Stavropol. [in Russian]
10. Bidarlord, M., Ghahremaninejad, F., & Maassoumi, A. A. (2016). A new species of *Astragalus*. *Phytotaxa*, vol. 252, pp. 280–284. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.178.1.4>
11. Choi, I. S., Kim, J. H., & Choi, B. H. (2016). Complete plastid genome of *Astragalus mongholicus* var. *nakaianus*. *Mitochondrial DNA A*, vol. 27, pp. 2838–2839. <https://doi.org/10.3109/19401736.2015.1053118>
12. Cook, D., Gardner, D. R., Martinez, A., Robles, C. A., & Pfister, J. A. (2017a). Screening for swainsonine among South American *Astragalus* species. *Toxicon*, vol.139, pp.54–57. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2017.09.014>
13. Cook, D., Gardner, D. R., Pfister, J. A., Lee, S. T., Welch, K. D., & Welsh, S. L. (2017). A screen for swainsonine... North American *Astragalus*. *Chemistry & Biodiversity*, vol. 14, e1600364. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201600364>
14. Costa, I. M., Lima, F. O. V., Fernandes, L. C. B., et al. (2018). Astragaloside IV supplementation... *Current Neuropharmacology*. <https://doi.org/10.2174/1570159X16666180911123341>
15. Flora Kazakhstana (1956). *Nauka*, vol. 1, 353 p.
16. Goncharov, N. F. (1946). *Rod 809. Astragalus L.* Flora SSSR, vol. 12, 873 p. [in Russian]
17. Imanaliyeva, M. T., Tynybekov, B. M., ... (2024). Anatomical studies of vegetative organs in two *Gentiana* species. *Eurasian Journal of Ecology*, vol. 80, no.3. <https://doi.org/10.26577/eje.2024.v80.i3-09>
18. IPNI (2025). The International Plant Name Index. <http://www.ipni.org/>
19. Kamelin, R. V. (1981). *Astragalus L.* Opredelitel rastenii Srednei Azii, vol. 6, 7 pp. 0–211.
20. Kamelin, R. V. (1986). *Astragalus L. – Astragal. Arealy*, vol. 3, 182p.
21. Knyazev, M. S., Kulikov, P. V., & Philippov, E. G. (2006). Section *Helmia* of *Astragalus*. *Botanicheskii Zhurnal*, vol. 91, no. 2, pp. 278–290.
22. Kulikov, P. V. (2005). *Konspekt flory Chelyabinskoi oblasti*. Ekaterinburg: Geotour.
23. Kulikov, P. V. (2010). *Opredelitel sosudistyh rastenii Chelyabinskoi oblasti*. Ekaterinburg: UrO RAN.
24. Kulikov, P. V. (2014). New *Astragalus* species from Ustyurt. *Botanicheskii Zhurnal*, vol. 99, no.9, pp. 1056–1066.
25. Lei, W., Ni, D., Wang, Y., Shao, J., Wang, X., Yang, D., et al. (2016). Chloroplast genome variation in *A. membranaceus*. *Scientific Reports*, vol. 6, pp. 21669. <https://doi.org/10.1038/srep21669>
26. Li, X., Qu, L., Dong, Y., Han, L., Liu, E., Fang, S., et al. (2014). A review of *Astragalus* research. *Molecules*, vol. 19, pp. 18850–18880. <https://doi.org/10.3390/molecules191118850>
27. Liu, Y., Chen, Y., & Fu, X. (2020). Chloroplast genome of *Astragalus laxmannii*. *Mitochondrial DNA B*, vol. 5, pp. 3661–3662. <https://doi.org/10.1080/23802359.2020.1829122>

28. Massatti, R., Belus, M. T., Dowlatshahi, S., & Allan, G. J. (2018). Genetic analyses of *Astragalus* sect. *Humillimi*. *American Journal of Botany*, vol. 105, pp. 1703–1711. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1157>
29. Perezhogin, Y. V., Borodulina, O. V., & Tarasov, M. S. (2021). Revision of *Astragalus* and *Oxytropis*. *Vestnik Kostanayskogo...*
30. POWO (2025). *Plants of the World Online*. <http://powo.science.kew.org/taxon>
31. Su, C., Duan, L., Liu, P., Liu, J., Chang, Z., & Wen, J. (2025). Chloroplast phylogenomics of eastern Asian *Astragalus*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, vol. 156, pp. 107025. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.107025>
32. Thiers, B. M. (2025). *Index Herbariorum*. <http://sweetgum.nybg.org/science/ih>
33. Tunckol, B., Ayta, Z., Aksoy, N., & Fisne, A. (2020). *Astragalus bartinense* from Turkey. *Acta Botanica Croatica*, vol. 79, pp. 131–136. <https://doi.org/10.37427/botcro-2020-023>
34. Tynybekov, B., et al. (2024). Adaptation of *Gentiana tianschanica*. *ES Energy & Environment*, 26, 1361.
35. Vasileva, L. I. (1987). *Rod 18. Astragalus L.* Flora Evropeiskoi chasti SSSR, vol. 6, 67p.
36. Wang, B., Chen, H., Ma, H., Zhang, H., Lei, W., Wu, W., et al. (2016). Plastid genome of *A. membranaceus*. *Mitochondrial DNA B*, vol. 1, pp. 517–519. <https://doi.org/10.1080/23802359.2016.1197057>
37. Willig, M. R., & Presley, S. J. (2018). Latitudinal gradients of biodiversity. *Encyclopedia of the Anthropocene*, vol. 3, pp. 13–19. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09809-8>
38. Ydyrys, A., Zhamanbayeva, G., Zhaparkulova, N., et al. (2023). Antioxidant activities of Asteraceae plants. *Plants*, vol. 13, pp. 96. <https://doi.org/10.3390/plants13010096>
39. Ydyrys, A., Mukhitdinov, N., Ametov, A., & Tynybekov, B. (2023). Coenopopulations of *Limonium michelsonii*. *World Applied Sciences Journal*, 26, pp. 934–940. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.26.07.13525>
40. Ydyrys, N., Mukhitdinov, A., Ivashchenko, Z., Ashirova, M., Massimzhan, E., Imanova, M. M., Parmanbekova, M., Toktar, B., Yeszhanov, M., Ilesbek, G., Askerbay, R., Kaparbay. (2024). Methodological guide for geobotanical research. *ES Food & Agroforestry*. vol.18, pp.1340. <https://doi.org/10.30919/esfaf1340>
41. Zhang, D., & Jiang, B. (2020). Species identification in *Astragalus* spp. *Conservation Genetics Resources*, vol. 12, pp. 469–478. <https://doi.org/10.1007/s12686-020-01138-9>

Авторлар туралы мәлімет:

Нұрақын Зинат Бекболатқызы – ботаника және агроэкология кафедрасының докторанты, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, (Астана, Қазақстан, e-mail: nurakyn.zinnat@bk.ru)

Тыныбеков Бекзат Мақұлбайұлы (жауапты автор) – ботаника және агроэкология кафедрасының профессоры, б.ғ.к., Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: bekzat.Tynybekov@kaznu.edu.kz)

Әлібек Ыдырыс – Биомедицина ғылыми-зерттеу орталығының директоры, профессор, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: ydrys.alibek@gmail.com)

Нуртаева Макпал Алтысбайқызы – биология пәні мұғалімі, «Мамандандырылған лицей №126» КМ, Әуезов ауданы (Алматы, Қазақстан, e-mail: makpal_asil@mail.ru)

Мамытова Нұргүл Сабазбековна – PhD, аға оқытушы, биотехнология кафедрасы, Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: mamytovanur@gmail.com)

Турарова Еркежан Мурзабекқызы – Өсімдіктер әлемі Кадастры зертханасының аға лаборанты, Ботаника және фитointродукция институты (Алматы, Қазақстан, e-mail: turarova-erkejan@mail.ru)

Иманалиева Мәлдір Тамдыбекқызы – Биомедицина ғылыми-зерттеу орталығының ғылыми қызметкері, Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: moldirimanalieva19@gmail.com)

Information about the authors:

Nurakyn Zinat Bekbolatkyzy – PhD student at the Department of Botany and Agroecology, Faculty of Biology and Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University (Astana, Kazakhstan). e-mail: nurakyn.zinnat@bk.ru

Tynybekov Bekzat Maqulbayuly (corresponding author) – Professor, PhD, Department of Biodiversity and Bioresources, Faculty of Biology and Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan). e-mail: bekzat.Tynybekov@kaznu.edu.kz

Ydyrys Alibek – Director of the Research Center for Biomedicine, Al-Farabi Kazakh National University, Professor (Almaty, Kazakhstan). e-mail: ydrys.alibek@gmail.com

Nurtayeva Makpal – Biology teacher, Auezov district, “Specialized Lyceum №126” Communal State Institution (Almaty, Kazakhstan). e-mail: makpal_asil@mail.ru

Mamytova Nurgul Sabazbekovna – PhD, Senior Lecturer, Department of Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan). e-mail: mamytovanur@gmail.com

Turarova Yerkezhan Murzabekkyzy – Senior Lab Assistant of the Plant World Cadastre Laboratory, Institute of Botany and Phytointroduction (Almaty, Kazakhstan) e-mail: turarova-erkejan@mail.ru

Moldir Imanaliyeva – Researcher at the Research Center for Biomedicine, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) e-mail: moldirimanalieva19@gmail.com

Сведения об авторах:

Нұрақын Зинат Бекболатқызы – докторант кафедры ботаники и агроэкологии факультета биологии и биотехнологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: nurakyn.zinnat@bk.ru);

Тыныбеков Бекзат Мақұлбайұлы (автор-корреспондент) – к. б. н., профессор кафедры биоразнообразия и биоресурсов, факультет биологии и биотехнологии, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: bekzat.Tynybekov@kaznu.edu.kz);

Әлібек Ыдырыс – директор Центра биомедицинских исследований, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, профессор (Алматы, Казахстан, e-mail: udyrys.alibek@gmail.com);

Нуртаева Макпал Алпысбайқызы – учитель биологии, коммунальное государственное учреждение «Специализированный лицей № 126» (Алматы, Казахстан, e-mail: makpal_asil@mail.ru);

Мамытова Нургуль Сабазбековна – PhD, старший преподаватель кафедры биотехнологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: mamytovanur@gmail.com);

Турарова Еркежан Мурзабекқызы – старший лаборант лаборатории кадастра растительного мира, Институт ботаники и фитоинтродукции (Алматы, Казахстан, e-mail: turarova-erkejan@mail.ru);

Иманалиева Мөлдір Тамдыбекқызы – научный сотрудник Центра биомедицинских исследований Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: moldirimanalieva19@gmail.com).

Received February 24, 2025

Accepted August 20, 2025

P.V. Vesselova , G.M. Kudabayeva ,
D.Sh. Abdildanov , S. Ussen 

Institute of botany and phytointroduction, Almaty, Kazakhstan\

*e-mail: abdildanov00@mail.ru

INFLUENCE OF DISTURBANCE FACTORS ON THE COMPOSITION AND STRUCTURE OF VEGETATION IN THE DESERT PART OF THE SYRDARYA RIVER VALLEY (KYZYLORDA REGION)

The article examines in detail the impact of various natural and anthropogenic disturbance factors on the composition, structure, and spatial organisation of vegetation in the desert part of the Syrdarya River valley within the Kyzylorda region. Field studies carried out during 2015–2023 indicate widespread and progressive degradation of vegetation cover, resulting primarily from intensive year-round grazing, unsustainable rice cultivation practices, expansion of irrigated agriculture, and the growing influence of transport and industrial infrastructure. These pressures lead to the simplification of plant communities, reduction of phytocoenotic stability, and fragmentation of habitats. The most heavily transformed areas are marked by a sharp decline in species richness and the displacement of fodder and ecologically significant taxa by weedy, ruderal, and often toxic species such as *Peganum harmala* L., *Zygophyllum fabago* L., and *Pseudosophora alopecuroides* (L.) Sweet, which form persistent secondary communities. The study also highlights the role of soil salinisation, periodic droughts, and microrelief changes in accelerating vegetation degradation under arid-climatic conditions. The conclusions underline the importance of integrating disturbance assessment into regional land-use planning and developing evidence-based programmes for the rehabilitation, conservation, and sustainable management of degraded desert ecosystems.

Keywords: anthropogenic impact; degradation; Kyzylorda region; Syrdarya river valley; vegetation.

П.В. Веселова, Г.М. Кудабаяева, Д.Ш. Абдилданов*, С. Үсен

Ботаника және фитоинтродукция институты, Алматы, Қазақстан

*e-mail: abdildanov00@mail.ru

Сырдария өзені аңғарының шөлейт бөлігіндегі (Қызылорда облысы) өсімдіктердің құрамы мен құрылымына бұзылу факторларының әсері

Мақала Қызылорда облысы аумағындағы Сырдария өзенінің шөлейт бөлігіндегі өсімдік жамылғысының құрамына, құрылымына және кеңістіктік ұйымдасуына әртүрлі табиғи және антропогендік бұлдіру факторларының әсерін жан-жақты қарастырады. 2015–2023 жылдары жүргізілген далалық зерттеулер өсімдік жамылғысының кең таралған және үдемелі деградациясын анықтады. Оның негізгі себептері – жыл бойы қарқынды мал жаю, күріш өсірудің тиімсіз әдістері, суармалы егіншіліктің кеңеюі, сондай-ақ көлік және өнеркәсіп инфрақұрылымының күшейіп келе жатқан ықпалы. Бұл қысымдар өсімдік қауымдастықтарының қарапайымдануына, фитоценоздардың тұрақтылығының төмендеуіне және мекендеу ортасының фрагментациясына әкеледі. Ең көп өзгеріске ұшыраған учаскелерде түрлік алуандықтың күрт азаюы және *Peganum harmala* L., *Zygophyllum fabago* L., *Pseudosophora alopecuroides* (L.) Sweet сынды арамшөптік әрі жиі ұятты өсімдіктердің басым болуы нәтижесінде құнды мал азықтық және экологиялық маңызды түрлер ығыстырылған. Зерттеу сондай-ақ топырақтың тұздануы, мерзімді қуаңшылықтар және микрорельефтің өзгеруі сияқты факторлардың құрғақ климат жағдайында деградацияны жеделдететінін атап өтеді. Қорытындылар бүліну деңгейін өңірлік жерді пайдалану жоспарлауына енгізудің, сондай-ақ шөлейттенген экожүйелерді қалпына келтіру, сақтау және тұрақты басқаруға бағытталған ғылыми негізделген бағдарламалар әзірлеудің маңыздылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: антропогендік әсер ету, тозу; Сырдария алқабы; өсімдік жамылғысы; Қызылорда облысы.

П.В. Веселова, Г.М. Кудабая, Д.Ш. Абдилданов*, С. Үсен

Институт ботаники и фитоинтродукции, Алматы, Казахстан

*e-mail: abdildanov00@mail.ru

Влияние факторов нарушенности на состав и структуру растительности в пустынной части долины реки Сырдарья (Кызылординской области)

Статья подробно рассматривает влияние различных природных и антропогенных факторов нарушенности на состав, структуру и пространственную организацию растительности в пустынной части долины реки Сырдарья в пределах Кызылординской области. Полевые исследования, проведённые в 2015–2023 гг., свидетельствуют о широком распространении и прогрессирующем характере деградации растительного покрова, обусловленной прежде всего интенсивным круглогодичным выпасом скота, неустойчивыми методами возделывания риса, расширением площадей орошаемого земледелия, а также возрастающим влиянием транспортной и промышленной инфраструктуры. Эти факторы приводят к упрощению растительных сообществ, снижению фитоценотической устойчивости и фрагментации местообитаний. Наиболее трансформированные участки характеризуются резким сокращением видового богатства и вытеснением кормовых и экологически значимых таксонов сорными, рудеральными и нередко токсичными видами, такими как *Peganum harmala* L., *Zygophyllum fabago* L. и *Pseudosophora alopecuroides* (L.) Sweet, формирующими устойчивые вторичные сообщества. В исследовании также подчёркивается роль засоления почв, периодических засух и изменений микрорельефа, ускоряющих деградацию растительности в аридных климатических условиях. В выводах акцентируется необходимость учёта степени нарушенности при планировании регионального землепользования и разработке научно обоснованных программ по восстановлению, охране и устойчивому управлению деградированными пустынными экосистемами.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, деградация, долина Сырдарья, растительность, Кызылординская область.

Introduction

The desert part of the Syrdarya river valley, covering a vast territory located within the West-North Turan subprovince of the North Turan subprovince of the North Turan province of the Iran-Turan subregion of the Sahara-Gobi desert area in accordance with the modern botanical and geographical zoning [1]. The considerable length of the river causes its crossing of different types of desert landscapes, including the entire subzone of medium (perennial saltwort) deserts, stretching from south-east to north-west. At the same time, in the delta area, near the Small Aral, the vegetation cover is influenced by the northern desert subzone, where wormwood-type plant communities dominate.

In accordance with the modern scheme of soil zoning of Kazakhstan, the study area belongs to the subzone of typical deserts, characterised by grey-brown, light-brown and associated soils [2-4]. The Syrdarya river valley in this region is a complex natural complex, where soil-forming processes take place in conditions of both zonal and intrazonal character. Within the river valley and delta intrazonal soils are formed on layered mottled alluvial sediments developing under conditions of additional groundwater moistening. These soils are characterised by a high degree of salinity, presence of carbon-

ates and water-soluble salts of different chemical composition [5-7].

A special place is occupied by alluvial-meadow and riparian soils formed in the floodplain and delta part of the Syr Darya. They serve as a basis for meadows and riparian forests, and areas with the most fertile soils are actively used for rice cultivation. Along with this, solonchaks, takyrs and takyrlike soils, formed in various hydrothermal conditions, are widespread in the territory. Along the right bank of the river, west of Kyzylorda city, as well as in the adjacent areas of Northern Kyzylkum along the left bank of the Syr Darya, aeolian sands prevail [8-10].

It should be noted that there is a considerable diversity of hydrological conditions in the valley, determined both by the water content of the river and the degree of distance of the floodplain areas from the channel. This affects the depth of groundwater table and, consequently, the type of soils. In the areas of irrigated agriculture, on the sites of ancient deltas and in the zones of artificial watering hydromorphic soils of swamp-meadow series prevail, which when drying up transform into meadow-meadow, deserted soils. Such diversity of natural conditions makes the region an important object for complex ecological and geobotanical studies. The floristic diversity of the desert part of the Syrdarya

river valley reflects the complex nature of its formation due to the action of many interrelated natural and anthropogenic factors [11-15]. The composition of the flora of this territory includes both species inherent in intrazonal floodplain vegetation and a wide range of representatives of placustrine communities, in particular, psammophytic flora of Kyzylkum, penetrating into the valley from the south through sand massifs formed here in the course of long-term natural processes [16]. Human activity also has a significant impact on the formation of the floristic appearance of the region – high density of settlements, intensive land use and various forms of interference in the natural environment significantly transform the vegetation cover, giving the flora additional complexity and mosaic.

Materials and methods

Classical botanical methods, including route-reconnaissance, ecological-systematic, ecological-geographical and phytocenotic approaches, were applied during the study [17]. These methods allowed a comprehensive characterisation of the flora and vegetation of the study area.

Collection of herbarium material was carried out according to the classical method of A.K. Skvortsov [18], which ensured the accuracy of species identification and reliability of the obtained data. Determination of plant species was carried out according to floristic summaries: «Flora of Kazakhstan» [19], «Illustrated flora of Kazakhstan» [19], «Illustrated identifier...», «Identifier of plants of Central Asia» [20, 21].

The taxonomy of species was brought in accordance with the Internet resource Plantarium [22]. The available materials of herbarium collections

were also studied: Herbarium (AA) of the Institute of Botany and Phytointroduction (Almaty, Kazakhstan), Herbarium (MW) of the Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia; <https://plant.depo.msu.ru/>), as well as scientific papers devoted to the study of the flora of the Syr Darya River valley [23-25].

Results and discussion

As a result of field studies conducted in 2021-2023 covering the arid part of the Syrdarya river valley and adjacent territories, the presence of a set of factors that have a negative impact on the state of the vegetation cover of the region was established. Among the most significant anthropogenic impacts due to the area coverage of degraded lands, intensive grazing and ploughing of soil massifs for crops, in particular rice, prevail.

In this regard, grazing farm animals is the dominant form of landscape use in the Syrdarya valley. In the surveyed areas, especially near rural settlements (Figure 1A, B), a high level of vegetation disturbance was recorded. In such areas, vegetation is degraded to remnants of rare shrubs and single individuals of weedy and toxic plant species, including *Pseudosophora alopecuroides*, *Peganum harmala*, *Zygophyllum fabago* and *Karelinia caspia*.

As one moves away from residential settlements towards more remote areas, a gradual change in vegetation composition is observed: at the first stage, the proportion of weed species increases, but as one moves further away, their abundance tends to decrease. This distribution reflects the gradient of anthropogenic load and the degree of vegetation recovery depending on the distance from the sources of destructive impact.



Figure 1 – Landscape use near rural settlements

A–Start of the cattle route (100-150 m from the edge of the settlement),

B–Continuation of the cattle route (500-700 m) from the edge of the settlement)

Rice cultivation in the study region is geographically conditioned by biological peculiarities of rice crop, which require abundant and stable water supply. In this regard, its cultivation is concentrated exclusively within the Syrdarya river valley. However, long-term extensive use of agricultural land without observing agrotechnical norms, especially crop rotation rules, has led to a significant deterioration of soil conditions. The most pronounced negative consequence of this approach was secondary salinisation of soil horizons, which, in turn, caused a decrease in land productivity and their subsequent exclusion from agricultural turnover.

Assessment of the current state of unused land within the study area indicates a significant spread of degradation processes. According to statistical data of 2001, under the influence of cumulative negative factors, including mismanagement of land (21,159 ha), secondary salinisation (19,320 ha) and waterlogging (22,296 ha), 62,775 ha were taken out of agricultural turnover, which constituted 21.83% of the total area of irrigated land. To date, including arid areas of the Syrdarya river valley, the area of abandoned and fallow lands in Kyzylorda province is 54,008 ha, which is equivalent to 18.78% of the total irrigated land fund (287,525 ha).

Field surveys and results of geobotanical monitoring confirm that a significant share of previously actively used land for rice cultivation is currently in fallow condition. The main reasons for this state are intensive processes of secondary salinisation, as well as limited and unstable water supply, preventing sustainable agrotechnical use of these territories.

The following agricultural lands are indicative examples of degraded plots:

- plot 3, 6th check, 3rd crop rotation (coordinates: N 45°48'739", E 61°52'488"; absolute height – 51 m, farm 'Syr-Marzhany' LLP), which has been in fallow condition for more than 10 years. The main degradation factor – pronounced secondary salinisation of soil profile;

- plot No.1, 5th crop rotation, located on the left bank terrace of the Syrdarya river (coordinates: N 45°34'356", E 61°50'313"; altitude – 76 m, 'Syr-Marzhany' LLP), not used for farmland since the termination of irrigation more than 6 years ago. The main limiting factor is the high hypsometric position, which prevents the provision of a stable water regime.

These examples illustrate the systemic nature of degradation of reclamation lands in the Syrdarya river valley, caused both by unfavourable natural and climatic conditions and the lack of effective

management in the sphere of agrarian policy, especially about the regulation of water resources and sustainable land use.

Among additional factors influencing the state of vegetation within the study area, anthropogenic and transport impacts are of particular importance.

Technogenic interference is of a local-planar nature and is associated with the construction and operation of economic, industrial and infrastructural facilities, including hydraulic structures aimed at regulating the flow of the Syrdarya River and the construction of irrigation canals. Such activities lead to the transformation of natural landscapes and disturbance of the hydrological regime of ecosystems.

Transport impacts, primarily road degradation, represent linear and localised forms of disturbance. In zones of constant transport pressure, complete or partial destruction of vegetation cover is recorded, accompanied by mechanical damage to the soil horizon and accelerated erosion.

Additional destabilising factors affecting the structure and stability of vegetation cover in the arid zone of the Syrdarya valley include: Cutting of tree and shrub vegetation used to be a significant factor in the destruction of phytocenoses. However, in recent years, due to the implementation of gasification programmes for settlements, its impact has significantly decreased and does not pose such a threat as it did 10-15 years ago. Pyrogenic impacts (natural and anthropogenic fires) have a local-area character and lead to complete degradation of vegetation cover in the affected areas, disrupting succession processes and ecosystem stability. Recreational pressure, especially near settlements and along motorway arteries, contributes to soil compaction, displacement of native species and formation of disturbed communities dominated by weedy flora. Bank erosion as a result of the unstable hydrological regime of the Syrdarya River also has a negative impact on coastal ecosystems, leading to mechanical destruction of the soil profile and loss of vegetation cover in erosion-prone areas (Figure 2 A, B).

Based on the generalisation of materials obtained in the course of research work conducted both under the current project and in the course of implementation of previous grants – 'Monitoring of vegetation composition of livestock rangelands: scientific approach to sustainable use of desert pastures of Kazakhstan (on the example of Kyzylorda oblast)' (2015-2017) and 'Monitoring studies of restoration of natural vegetation on abandoned rice fields in Kyzylorda oblast'.



Figure 2 – Bank scour as a result of the hydrological regime of the river
 A – Burnt trunks of turanga trees, B – Tributary of the main channel of the Syrdarya river
 with coastal woody vegetation

Species composition of lands used for pastures

The updated list includes 90 species of vascular plants regularly occurring on degraded pastures located in the arid zone of the Syrdarya valley. This list reflects the diversity of life forms and taxonomic breadth of the flora formed under the influence of pasture degradation and related environmental changes: Alliaceae: *Allium sabulosum*; Apiaceae: *Ferula capsica*; Asclepiadaceae: *Cynanchum sibiricum*; Asparagaceae: *Asparagus brachyphyllus*; Asteraceae: *Acroptilon repens*, *Artemisia terraealbae*, *Cancrinia* sp., *Cousinia microcarpa*, *Hyalea* sp., *Karelinia caspica*, *Kochia iranica*, *Koelpinia linearis*, *Lactuca tatarica*, *Scorsonera* sp., *Senecio jacobaea* (в соответствии с рисунком 3А), *Taraxacum officinale*, *Xanthium strumarium*; Boraginaceae: *Arnebia decumbens*, *Lappula patula*, *Lappula semiglabra*, *Lappula spinocarpus*, *Nonnea caspica*; Brassicaceae: *Arabidopsis* sp., *Descurainie sophia*, *Isatis* sp., *Lepidium obtusum*, *Leptaleum filifolium*, *Meniocus linifolius*, *Srtigozella brevipes*, *Strigosella circinata*, *Tauscheria desertorum*, *Tetracme recurvata*; Caryophyllaceae: *Acanthophyllum pungens*, *Silene nana*; Chenopodiaceae: *Atriplex tatarica*, *Bassia eriophora*, *Bassia prostrata*, *Ceratocarpus arenarius*, *Ceratocephala falcata*, *Ceratocephala testiculata*, *Climacoptera lanata*, *Climacoptera brachiata*, *Corispermum declinatum*, *Halostachys belangeriana*, *Haloxylon aphyllum*, *Krascheninnikovia ceratoides*, *Krascheninnikovia ewersmanniana*, *Petrosimonia sibirica*, *Salsola arbuscula*, *Salsola arbusculiformis*, *Salsola nitraria*, *Salsola orientalis*, *Salsola tragus*, *Suaeda linifolia*; Convolvulaceae: *Convolvulus arvensis*; Cyperaceae: *Carex pachysty-*

lis, *Carex physodes*; Euphorbiaceae: *Euphorbia* sp.; Fabaceae: *Alchage kirgisorum*, *Alhagi pseudoalhagi*, *Ammodendron bifolium*, *Pseudosophora alopecuroides* (в соответствии с рисунком 3В), *Glycyrrhiza uralensis*, *Halimodendron halodendron*; Fumariaceae: *Fumaria officinalis*; Geraniaceae: *Erodium oxyrhynchum*; Hypecoaceae: *Hypecoum parviflorum*;

Lamiaceae: *Lallemantia royleana*, *Salvia* sp.; Papaveraceae: *Roemeria refracta*; Peganaceae: *Peganum harmala*; Scrophulariaceae: *Veronica* sp.; Plumbaginaceae: *Limonium otolepis*; Poaceae: *Aeluropus litalis*, *Anisantha tectorum*, *Bromus squarrosus*, *Eremopurum Poacynum*, *Eremopyrum orientalis*, *Eremopyrum triticeum*, *Leymus multicaulis*, *Phragmites australis*; Polygonaceae: *Calligonum aphyllum*; Ranunculaceae: *Clematis orientalis*, *Delphinium leptocarpum*; Rosaceae: *Rosa persica*; Scrophulariaceae: *Dodartia orientalis*; Solanaceae: *Hyoscyamus niger*, *Hyoscyamus pusilla*, *Lycium turkomanicum*; Tamaricaceae: *Tamarix elongate*; Zygophyllaceae: *Zygophyllum fabago* (в соответствии с рисунком 3С).

Considering that the composite list includes species growing on different edaphic types of territories disturbed as a result of grazing, the general structure of the family spectrum reflects the hierarchy of the leading taxa characteristic of the flora of the desert part of the Syrdarya river valley (in accordance with Figure 4).

The graph illustrates changes in the species composition of vegetation on degraded lands depending on the degree of their disturbance is presented in Figure 5.



Figure 3 – Plants found in degraded pastures
(A– *Senecio jacobaea*, B– *Pseudosophora alopecuroides*, C– *Zygophyllum fabago*)

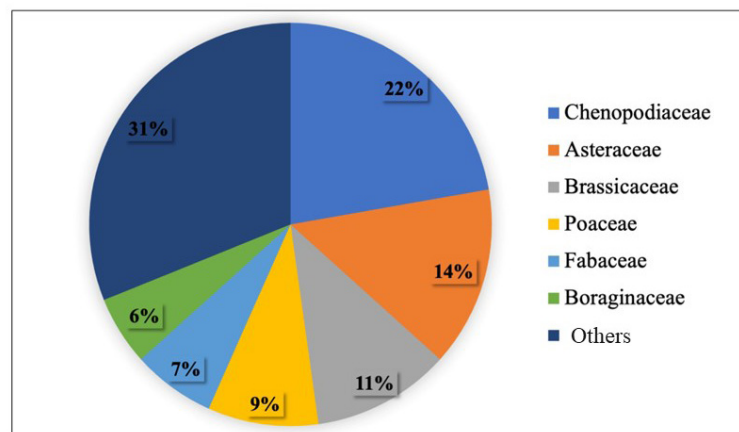


Figure 4 – Distribution of species by families

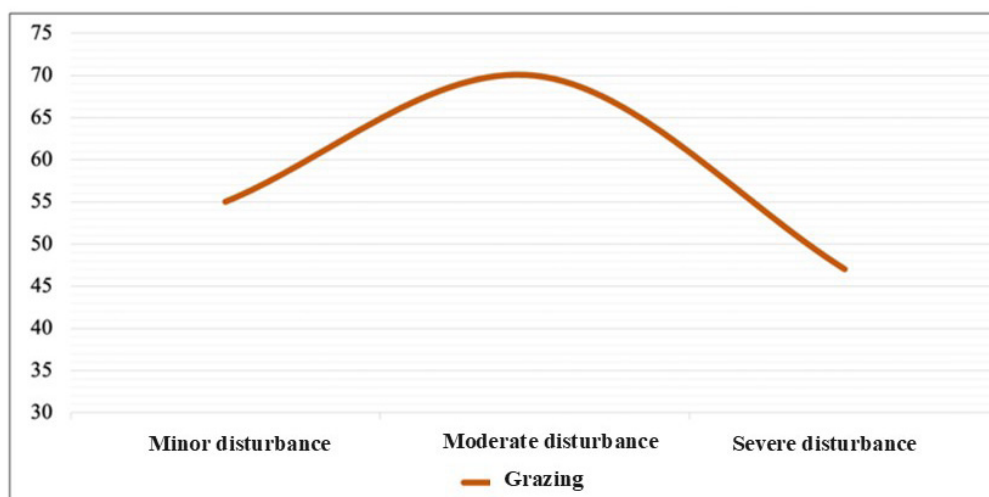


Figure 5 – Changes in vegetation species composition of pastures about the degree of site disturbance

Within the framework of the grant project «Monitoring studies of revegetation of abandoned rice fields in Kyzylorda oblast: prospects for their use» (2018-2020), a list of characteristic species of the flora of fallow lands in the region was compiled. The above list included 81 species belonging to 63 genera and 27 families. The taxonomic structure indicates the dominance of the families Chenopodiaceae (22 species), Asteraceae (13 species), Fabaceae (9 species) and Poaceae (5 species), which reflects the typical spectrum of desert and semi-desert flora of the region.

In the framework of the current stage of the study, the work on the study of vegetation of fallow lands was continued and expanded by surveying abandoned rice and melon lands in other administrative districts of Kyzylorda oblast. This made it possible to supplement and update the existing list of species characteristic of fallow lands of former agricultural lands and to identify regional features of their floristic composition.

On 22 May 2023, 6 km south of Zhanakorgan towards Shieli (coordinates: N 43°59'56"; E 67°12'32"; absolute altitude – 70 m), a geobotanical description of the site of an old deposit, which is more than 30 years old, was carried out. In the surveyed area, a secondary phytocoenosis community of licorice-briar type has formed, dominated by *Rosa persica* Michx. ex Juss. and *Glycyrrhiza glabra* L., and *Halimodendron halodendron* (Pall.) Voss is also present. The community contains 27 vascular plant species, and the total projective cover is 60-65%, indicating a fairly high degree of revegetation.

In contrast to the floristic composition of perennial deposits of rice fields of the Kazalinsk massif, only one species of the Chenopodiaceae family – *Ceratocarpus utriculosus* Bluket ex Krylov – was recorded at this site. The greatest species diversity is represented by the family Brassicaceae, including 8 species, including *Tauscheria lasiocarpa*, *Chorispora tenella*, *Camelina* sp., *Cardaria* sp., *Descurainia sophia*, *Diptichocarpus strictus*, *Litwinowia tenuissima*, and *Goldbachia* sp. The families Poaceae (*Aeluropus littoralis*, *Eremopyrum bonaepartis*, *Eragrostis minor*) and Ranunculaceae (*Ceratocephala*, *Consolida*, *Ranunculus*) are represented by three species each. Other families have 1-2 species, which reflects the specificity of phytocenotic diversity at the site with a long fallow period and slightly saline soils.

Notable differences in the floristic composition of fallow lands located in different areas of the Syrdarya valley are due not only to the significant

geographical distance between the sites, but also to the peculiarities of soil-edaphic conditions, primarily the degree of soil salinity. Thus, the above-analysed site near the town of Zhanakorgan, characterised by the dominance of representatives of the Brassicaceae family and the presence of species typical of slightly saline soils, geobotanically belongs to the Turkestan floristic region. This is explained by its relative proximity to the foothills of the Syrdarya Karatau and the absence of pronounced salinisation, in contrast to most of the surveyed areas belonging to the Kyzylorda floristic region, where saline and saline soils prevail.

It should be noted that in previous periods the main focus was on the study of vegetation of fallow rice fields in Kazaly district. However, under the current grant, geobotanical surveys were expanded to include new sites in other administrative districts of Kyzylorda region. Despite the limited scope of field surveys due to the broad focus of the project, the previously identified trends in the hierarchy of the leading families were confirmed, as presented in the summarised analysis (Figure 6).

Thus, a total of 77 species of higher vascular plants were identified during the grant, which surveyed abandoned rice fields of varying degrees and durations of fallow: – Asclepiadaceae: *Cynanchum sibiricum*; Asteraceae: *Artemisia terrae-albae*, *Acroptilon repens*, *Cirsium arvense*, *Inula britannica*, *Karelinia caspia*, *Lactuca tatarica*, *Saussurea salsa*, *Senecio jacobaea*, *Xanthium strumarium*; Boraginaceae: *Argusia sibirica*; Brassicaceae: *Descurainia sophia*, *Cardaria draba*, *Chorispora tenella*, *Lepidium obtusum*, *Strigosella circinata*; Capparaceae: *Capparis herbacea*; Chenopodiaceae: *Atriplex tatarica*, *Climacoptera aralensis*, *Climacoptera brachiata*, *Climacoptera lanata*, *Halocnemum strobilaceum*, *Halostachys belangeriana*, *Kalidium caspicum*, *Kalidium foliatum*, *Petrosimonia sibirica*, *Pyankovia brachiata*, *Suaeda altissima*, *Suaeda crassifolia*, *Suaeda linifolia*, *Suaeda microphylla*, *Atriplex sagittata*, *Kochia iranica*, *Climacoptera lanata*, *Kochia prostrate*; Convolvulaceae: *Convolvulus arvensis*; Cyperaceae: *Bolboschoenus maritimus*, *Bolboschoenus maritimus* var. *compactus*; Cuscutaceae: *Cuscuta campestris*; Elaeagnaceae: *Elaeagnus oxycarpa*, *Elaeagnus angustifolia*; Euphorbiaceae: *Euphorbia jaxartica*; Fabaceae: *Alhagi pseudalhagi*, *Glycyrrhiza glabra*, *Goebelia pachycarpa*, *Lotus corniculatus*, *Medicago sativa*, *Sphaerophysa salsula*, *Halimodendron halodendron*, *Melilotus albus*; Frankeniaceae: *Frankenia hirsuta*; Hypocoaceae: *Hypocoum parviflorum*; Iridaceae: *Iris tenuifolia*; Juncaceae: *Juncus jaxarticus*; Lythraceae: *Lythrum*

salicaria; Nitrariaceae: *Nitraria schoberi*; Plumbaginaceae: *Limonium otolepis*; Poaceae: *Aeluropus littoralis*, *Calamagrostis pseudophragmites*, *Cryptis aculeata*, *Eremopyrum bonaepartis*, *Eremopyrum orientale*, *Lasiagrostis splendens*, *Phragmites australis*; Polygonaceae: *Polygonum arenarium*, *Polygonum aviculare*, *Polygonum patulum*; Scroph-

ulariaceae: *Dodartia orientalis*; Solanaceae: *Lycium dasystemum*, *Lycium ruthenicum*; Tamaricaceae: *Tamarix hispida*, *Tamarix ramosissima*, *Tamarix elongata*; Zygophyllaceae: *Zygophyllum fabago*, *Zygophyllum oxianum*. Variation of quantitative composition depending on the terms of fallow is shown in Figure 7.

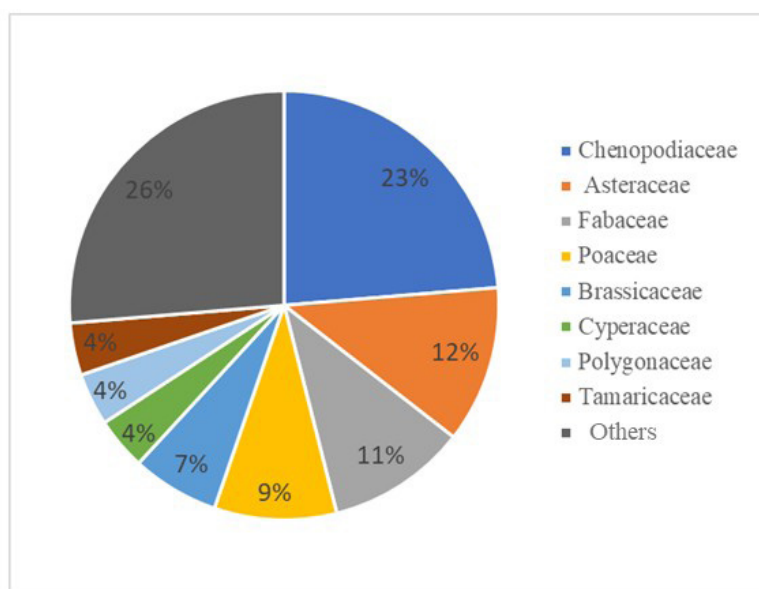


Figure 6 – Taxonomic composition of vegetation families of the studied rice deposits (2021-2023)

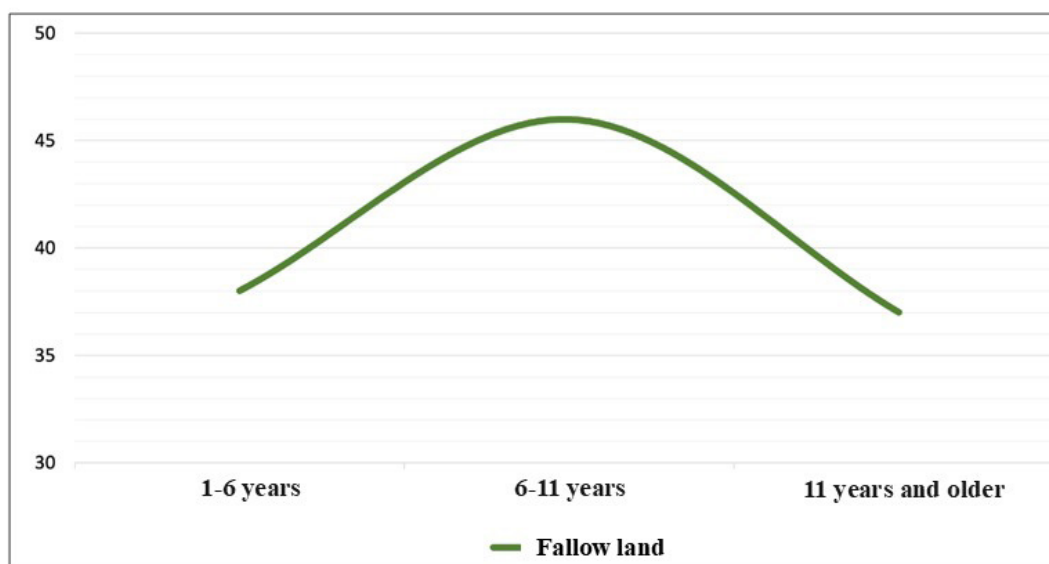


Figure 7 – Dynamics of vegetation species composition of abandoned rice fields depending on fallow dates

Thus, the dynamics of vegetation species composition on rice paddies depending on the duration of their non-use demonstrates parabolic dependence, which allows us to consider this regularity as a potential basis for the construction of predictive models and scales for assessing the state of vegetation at specific sites.

Since during the project implementation the data on rice deposits were mainly clarified and supplemented based on previously obtained results, the main focus of the present stage of research work was on studying the floristic composition of abandoned cucurbits. The table presents the species composition of vegetation of cucurbits located in the desert part of the Syrdarya river valley, established during the field surveys in 2021-2023.

Analysis of the obtained data showed that the floristic composition of the vegetation of abandoned melon lands includes 47 species belonging to 20 botanical families. The highest species diversity (Figure

8) was observed in the Chenopodiaceae family (19%), followed by Brassicaceae and Fabaceae (10% each), Asteraceae (8%) and Poaceae (6%). The remaining families are represented by 2-3% of the total number of species. In terms of life forms, perennial plants predominate – 45% (21 species), while the share of annuals is 32% (15 species), which reflects the characteristic features of phytocenoses of disturbed desert agro-landscapes. In general, the taxonomic structure of the leading families of cucurbits is like the family spectrum of the flora of the floodplain zone of the Syrdarya River. In both cases, the Chenopodiaceae family retains the leading position, but there are differences in the hierarchy of other taxa. Thus, in the studied deposits, Brassicaceae and Fabaceae occupy the second and third places by the number of species, which is explained by the abundance of weed forms, whereas in floodplain communities they correspond to Asteraceae and Poaceae, typical for most arid regions of Kazakhstan.

Table 1 – Species composition of abandoned gourds in the desert part of the Syrdarya river valley

№	Species	Life form	Economic significance
1	2	3	4
1. Asclepiadaceae			
1	<i>Cynanchum sibiricum</i> Willd.	Perennial	Weedy
2. Asteraceae			
2	<i>Acroptilon repens</i> (L.) DC.	Perennial	Weedy, poisonous
3	<i>Artemisia terrae-albae</i> Krasch.	Small subshrub	Forage
4	<i>Karelinia caspia</i> (Pall.) Less	Perennial	Medicinal
5	<i>Lactuca tatarica</i> (L.) C.A. Mey.	Perennial	Weedy
3. Boraginaceae			
6	<i>Arnebia decumbens</i> (Vent.) Coss. & Kralik	Annual	
7	<i>Nonea caspica</i> (Willd.) G. Don	Annual	
4. Brassicaceae			
8	<i>Cardaria pubescens</i> (C.A. Mey.) Jarm.	Perennial	Weedy
9	<i>Chorispora tenella</i> (Pall.) DC.	Annual	Weedy
10	<i>Lepidium obtusum</i> Basiner	Perennial	
11	<i>Strigosella circinata</i> (Bunge) Botsch.	Annual	
12	<i>Strigosella trichocarpa</i> (Boiss.et Buhse) Botsch.	Annual	Weedy
5. Capparaceae			
13	<i>Capparis herbacea</i> Willd.	Subshrub	Edible
6. Chenopodiaceae			
14	<i>Atriplex sagittata</i> Borkh.	Annual	
15	<i>Climacoptera brachiata</i> (Pall.) Botsh.	Annual	Forage
16	<i>Climacoptera lanata</i> (Pall.) Botsch.	Annual	
17	<i>Kalidium caspicum</i> (L.) Ung.-Sternb.	Shrub	Forage
18	<i>Bassia odontoptera</i> (Schrenk) Freitag & G. Kadereit	Annual	

Continuation table

№	Species	Life form	Economic significance
1	2	3	4
19	<i>Petrosimonia sibirica</i> (Pall.) Bunge	Annual	Forage
20	<i>Salsola nitraria</i> Pall.	Annual	
21	<i>Salsola tragus</i> L.	Annual	Forage
22	<i>Suaeda microphylla</i> Pall.	Subshrub	
7. Convolvulaceae			
23	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Perennial	Weedy
8. Cuscutaceae			
24	<i>Cuscuta lupuliformis</i> Krock.	Annual	
9. Euphorbiaceae			
25	<i>Euphorbia jaxartica</i> (Prokh.) Krylov	Perennial	Medicinal
10. Fabaceae			
26	<i>Alhagi kirghisorum</i> Schrenk	Subshrub	Medicinal
27	<i>Alhagi pseudoalchagi</i> (Bieb.) Fisch.	Subshrub	Medicinal
28	<i>Glycyrrhiza uralensis</i> Fisch. ex DC.	Perennial	
29	<i>Halimodendron halodendron</i> (Pall.) Voss	Shrub	
30	<i>Pseudosophora alopecuroides</i> (L.) Sweet	Perennial	Weedy
11. Fumariaceae			
31	<i>Fumaria officinalis</i> L.	Perennial	
12. Peganaceae			
32	<i>Peganum harmala</i> L.	Perennial	Medicinal
13. Plumbaginaceae			
33	<i>Limonium otolepis</i> (Schrenk) O. Kuntze	Perennial	Tannin
14. Poaceae			
34	<i>Aeluropus litoralis</i> (Gouan) Parl.	Perennial	Forage
35	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	Perennial	Technical
36	<i>Eremopyrum bonaepartis</i> (Spreng.) Nevski	Annual	
15. Polygonaceae			
37	<i>Polygonum pseudoarenarium</i> Klovov	Perennial	
38	<i>Polygonum patulum</i> M. Bieb.	Perennial	
39	<i>Polygonum aviculare</i> L.	Perennial	Weedy
16. Ranunculaceae			
40	<i>Clematis orientalis</i> L.	Shrub	
41	<i>Ceratocephala falcata</i> (L.) Cramer	Annual	
17. Scrophulariaceae			
42	<i>Dodartia orientalis</i> L.	Perennial	
18. Solanaceae			
43	<i>Lycium depressum</i> Stocks	Shrub	
19. Tamaricaceae			
44	<i>Tamarix elongata</i> Ledeb.	Shrub	Ornamental
45	<i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb.	Shrub	Ornamental
20. Zygophyllaceae			
46	<i>Zygophyllum fabago</i> L.	Perennial	Medicinal, poisonous
47	<i>Zygophyllum oxycarpum</i> Popov	Perennial	

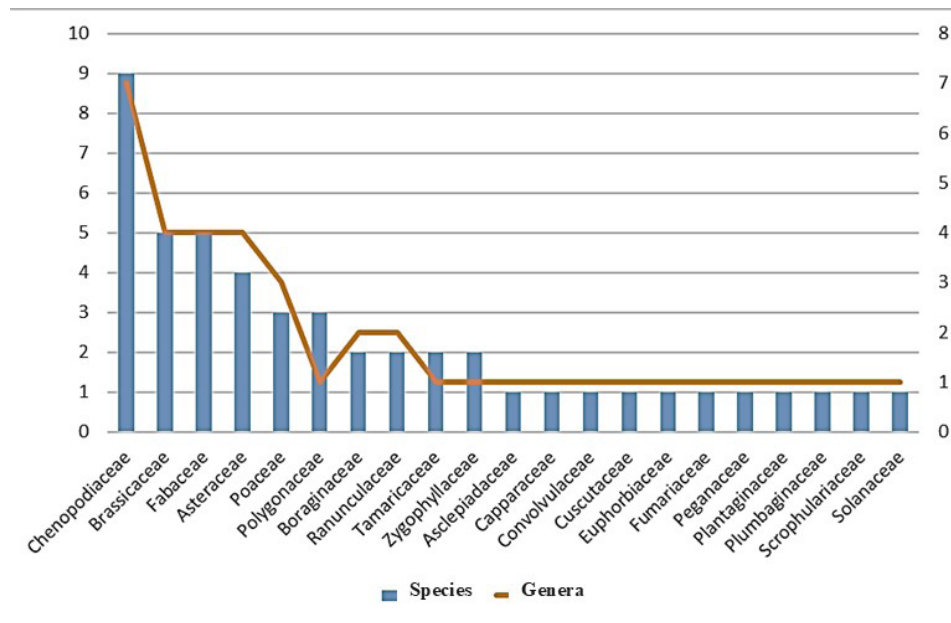


Figure 8 – Family spectrum of abandoned gourds in the desert part of the Syrdarya river valley

In the surveyed melon fields, 26 plant species with economic value were identified. Among them, weedy forms (9 species), as well as fodder and medicinal plants – 6 species each, respectively – predominate. Ornamental species are represented by two taxa, the other groups of useful plants include 1-2 species each.

In total, the anthropophilic component of the flora found in fallow areas of former rice checks and melon fields comprises 89 species, which indicates a high degree of transformation of the vegetation cover under the influence of agricultural use and subsequent self-restoration.

Conclusion

The vegetation cover of the desert part of the Syrdarya valley has undergone significant transformation under the influence of a complex of anthropogenic factors. The most destructive impact is caused by: uncontrolled grazing, intensive agricultural development (primarily rice cultivation), anthropogenic construction, transport loads and pyrogenic processes. These factors contribute to the degradation of biodiversity and replacement of natural communities by synanthropic and weedy species. Species diversity decreases with increasing disturbance, especially in the vicinity of settlements and livestock routes. The most characteristic indicators of severe degradation are as follows — *Pseudosiphora alopecuroides*, *Zygophyllum fabago*,

Peganum harmala, *Karelinia caspia*. These species are displaced by fodder, medicinal and native plants, which worsens the ecological and economic quality of lands.

Field and geobotanical surveys in 2015-2023 revealed consistent differences in flora composition on pastures and fallow farmland (including rice and melon). Chenopodiaceae, Asteraceae and Fabaceae dominate on pastures, while the presence of Brassicaceae and Poaceae is increasing in some cases on old fallow lands. Plots with many years of non-cultivation show tendencies to restore natural phytocenoses, especially in areas with reduced salinity. Indicator species of succession include: *Halimodendron halodendron*, *Glycyrrhiza glabra*, *Rosa persica* (in typical communities), as well as *Ceratocarpus utriculosus* and *Descurainia sophia* in the early stages. The family spectrum of flora of pasture and fallow ecosystems corresponds to the typical hierarchy of arid territories of South Kazakhstan, where Chenopodiaceae retain the leading position. However, in zones with lower salinity and proximity to foothills, the role of Brassicaceae and Poaceae is increasing, which indicates the importance of taking into account soil and orographic factors in ecological assessment.

Graphical modelling of the dynamics of species composition depending on the period of fallow showed a parabolic dependence, allowing the use of such regularities for predicting the natural recovery of vegetation and optimising the timing of phytoremediation interventions.

Funding

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR24992814).

Authors' contributions

Vesselova P.V., Kudabayeva P.V. – field work, conducting the research, approval of the final version of the article, Abdildanov D. Sh., Ussen S. – field work, statistical data processing, conducting the research.

References

- 1 Рачковская Е.И. Принципы и основные единицы районирования // Ботаническая география Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной области) / Е.И. Рачковская, И.Н. Сафронова, Е.А. Волкова. (Под редакцией Е.И. Рачковской, Е.А. Волковой, В.Н. Храмова). – СПб., 2003. – С.172–195.
- 2 Daminova N. E., Beshko N. Y. Flora of Sirdarya region // *Spiraeanthus*. – 2024. – №. 1. – P. 116–119.
- 3 Vanselow K. A., Zandler H., Samimi C. Time series analysis of land cover change in dry mountains: insights from the Tajik Pamirs // *Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 13. – №. 19. – P. 3951. DOI <https://doi.org/10.3390/plants13162275>
- 4 Seidl A., Tremetsberger K., Pfanzelt S., Blattner F. R., Neuffer B., Herbert Hurka, Alexander Shmakov, Oyuntsetseg Batlai, Anze Zerdoner Calasan, Polina V. Vesselova, Karl-Georg Bernhardt The phylogeographic history of *Krascheninnikovia* reflects the development of dry steppes and semi-deserts in Eurasia // *Scientific Reports*. – 2021. – Vol. 11. – №. 1. – P. 6645. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85735-z>
- 5 Luneva N.N. Regional features of the weed flora of geographically remote territories. Science and innovations 2021: development directions and priorities: Proceedings of the International Conference. Melburn. 2021; p. 124–131.
- 6 Osmonali BB, Vesselova PV, Kudabayeva G, Duisenbayev S, Taukebayev O, Zulpykhanov K, Ussen S, Abdildanov DS. 2024a. Salt resistance of species of the *Chenopodiaceae* family (*Amaranthaceae* s.l.) in the desert part of the Syrdarya River Valley, Kazakhstan. *Biodiversitas* 25 (11): 4162–4170. DOI: 10.13057/biodiv/d251115.
- 7 Шорманова А.А., Кудабаяева Г.М., Гемеджиева Н.Г., Веселова П.В. и др. Государственный кадастр растений Кызылординской области (Конспект высших сосудистых растений). – Алматы, 2013; 410 с.
- 8 Абд Эль-Вахаб Р.Х., Аль-Рашид А.Р., Аль-Дусари А. Влияние антропогенного воздействия на растительность и почвы эоловых форм рельефа в аридных условиях // *Аридные экосистемы*, 2018; 24,2(75): 23–38.
- 9 Веселова П.В., Кудабаяева Г.М., Осмонали Б.Б., Шорманова А.А., Нелина Н.В., Абдилданов Д.Ш., Усен С. Антропофильный элемент флоры нарушенных земель долины реки Сырдарьи (в пределах Кызылординской области). – Алматы, 2023. – 72с.
- 10 Abduova A. A., Imanberdiyeva A. M., Koshachmetova A. M. Research and assessment of ornamental and rare plants of "Syrdarya-Turkestan regional nature park" // *Industrial Technologies and Engineering (ICITE-2017)*. – 2017. – P. 357–362.
- 11 Dimeyeva L. A., Breckle S. W., Wucherer W. Flora of the Aralkum // *Aralkum-a Man-Made Desert: The Desiccated Floor of the Aral Sea (Central Asia)*. – 2012. – P. 109–126.
- 12 Mamilov N. S. et al. Recent changes in fish diversity in the ancient oases of the Syr Darya River (Central Asia) // *Ecologica Montenegrina*. – 2025. – T. 86. – С. 119–134.
- 13 Azamov O., Khalimov S., Gulomov S., Komilova D., Kayumova Y., Rakhmonov M., Abdulatipova S., Gafurova O., Komilova K., Asrolova M., Urmonova D. Sheraleev B. (2024) Lengthweight relationships and condition factor of 30 species from the Upper Syr Darya drainage, Uzbekistan. *Turkish Journal of Zoology*, 48(7), 685–691. <https://doi.org/10.55730/1300-0179.3206>
- 14 Kasimgaliev S., Kelnibaeva R., Sultanov M., Zhunisbekova N. Geoinformation support, analysis, evaluation and forecasting of the use of land resources of Kyzylorda region // *Bulletin of the LN Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series*. – 2023. – Vol. 144. – №. 3. – P. 105–118. DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2023-144-3-105-118>
- 15 Osmonali, B. B., Kusmangazinov, A. B., & Kurmanbayeva, M. S. (2022). Economically valuable species growing in Northern Kyzylkum and their significance for practical use. *Eurasian Journal of Ecology*, 71(2), 81–93. <https://doi.org/10.26577/EJE.2022.v71.i2.08>
- 16 Stikhareva T., Ivashchenko A., Kirillov V., Rakhimzhanov A. Floristic diversity of threatened woodlands of Kazakhstan formed by *Populus pruinosa* Schrenk // *Turk J Agric For*, vol 45 (2021): 165–178.
- 17 Артаев О.Н., Башмаков Д.И., Безина О.В. Методы полевых экологических исследований: учеб. пособие. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – 412 с.
- 18 Скворцов А.К. Гербарий // Пособие по методике и технике. М., 1977. – 199 с.
- 19 Флора Казахстана. – Т. 1–9. / Ред. Н.В. Павлов. – Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1956–1966.
- 20 Иллюстрированный определитель растений Казахстана Т. 1–2. / Ред. В.П. Голоскоков. – Алма-Ата: Наука «Казахской ССР», 1969–1972.
- 21 Определитель растений Средней Азии – Т. I–XI. Ташкент, 1968–1993.
- 22 Плантариум: открытый онлайн атлас-определитель растений и лишайников России и сопредельных стран. 2007–2024. – [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.plantarium.ru/>

- 23 Osmonali B.B.; Vesselova P.V.; Kudabayeva G.M.; Skaptsov M.V.; Shmakov, A.I.; Friesen, N. Phylogeny and Flow Cytometry of the Genus *Kalidium* Moq. (Amaranthaceae s.l.) in Kazakhstan. *Plants* 2023, 12, 2619. <https://doi.org/10.3390/plants12142619>
- 24 Байбулов А.Б. Оценка современного состояния растительности долины и дельты реки Сырдарья и с использованием ГИС технологий: дис. канд. биол. наук/А.Б. Байбулов. – 2009. –131с.
- 25 Dimeyeva, L.; Islamgulova, A.; Permitina, V.; Ussen, K.; Kerdyashkin, A.; Tsyhuyeva, N.; Salmukhanbetova, Z.; Kurmantayeva, A.; Iskakov, R.; Imanalinova, A.; et al. Plant Diversity and Distribution Patterns of *Populus pruinosa* Schrenk (Salicaceae) Floodplain Forests in Kazakhstan. *Diversity* 2023, 15, 797. <https://doi.org/10.3390/d15070797>

References

- 1 Abd El-Wahab, R. H., Al-Rashid, A. R., & Al-Dusari, A. (2018). Effects of anthropogenic impacts on vegetation and soils of aeolian landforms in arid environments. *Arid Ecosystems*, 24(2), 23–38.
- 2 Abduova, A. A., Imanberdiyeva, A. M., & Koshachmetova, A. M. (2017). Research and assessment of ornamental and rare plants of “Syr darya–Turkestan regional nature park”. In *Industrial Technologies and Engineering (ICITE-2017)* (pp. 357–362).
- 3 Artaev, O. N., Bashmakov, D. I., & Bezina, O. V. (2014). *Methods of field ecological research: Textbook*. Saransk: Izdvo Mordovian University, 412p.
- 4 Azamov, O., Khalimov, S., Gulomov, S., Komilova, D., Kayumova, Y., Rakhmonov, M., Abdulatipova, S., Gafurova, O., Komilova, K., Asrolova, M., Urmonova, D., & Sheraliev, B. (2024). Length–weight relationships and condition factor of 30 species from the Upper Syr Darya drainage, Uzbekistan. *Turkish Journal of Zoology*, 48(7), 685–691. DOI: <https://doi.org/10.55730/1300-0179.3206>.
- 5 Baibulov, A. B. (2009). *Assessment of the current state of vegetation of the Syrdarya river valley and delta and using GIS technologies (Cand. diss.)*. Alma-Ata.
- 6 Daminova, N. E., & Beshko, N. Y. (2024). *Flora of Sirdarya region. Spiraeanthus*, (1), P.116–119.
- 7 *Definitel of Plants of Central Asia (1968–1993)*. Vol. I–XI. Tashkent: [publishing house].
- 8 Dimeyeva, L., Islamgulova, A., Permitina, V., Ussen, K., Kerdyashkin, A., Tsyhuyeva, N., Salmukhanbetova, Z., Kurmantayeva, A., Iskakov, R., Imanalinova, A., ... & others. (2023). Plant diversity and distribution patterns of *Populus pruinosa* Schrenk (Salicaceae) floodplain forests in Kazakhstan. *Diversity*, 15, Article 797. <https://doi.org/10.3390/d15070797>.
- 9 Dimeyeva, L. A., Breckle, S. W., & Wucherer, W. (2012). *Flora of the Aralkum*. In *Aralkum—a Man-Made Desert: The Desiccated Floor of the Aral Sea (Central Asia)* (pp. 109–126).
- 10 Goloskokov, V. P. (Ed.). (1969–1972). *Illustrated identifier of plants of Kazakhstan (Vols. 1–2)*. Alma-Ata: Nauka Kazakh SSR.
- 11 Kasimgaliev, S., Kelinbaeva, R., Sultanov, M., & Zhunisbekova, N. (2023). Geoinformation support, analysis, evaluation and forecasting of the use of land resources of Kyzylorda region. *Bulletin of the LN Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series*, 144(3), 105–118. DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2023-144-3-105-118>.
- 12 Luneva, N. N. (2021). Regional features of the weed flora of geographically remote territories. In *Science and innovations 2021: Development directions and priorities: Proceedings of the International Conference* (pp. 124–131). Melburn.
- 13 Mamilov, N. S., et al. (2025). Recent changes in fish diversity in the ancient oases of the Syr Darya River (Central Asia). *Ecologica Montenegrina*, 86, 119–134.
- 14 Osmonali, B. B., Kusmangazinov, A. B., & Kurmanbayeva, M. S. (2022). Economically valuable species growing in Northern Kyzylkum and their significance for practical use. *Eurasian Journal of Ecology*, 71(2), 81–93. DOI: <https://doi.org/10.26577/EJE.2022.v71.i2.08>.
- 15 Osmonali, B. B., Vesselova, P. V., Kudabayeva, G., Duisenbayev, S., Taukebayev, O., Zulpykhanov, K., Ussen, S., Abdiildanov, D. S. (2024a). Salt resistance of species of the Chenopodiaceae family (Amaranthaceae s.l.) in the desert part of the Syrdarya River Valley, Kazakhstan. *Biodiversitas*, 25(11), 4162–4170. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d251115>.
- 16 Osmonali, B. B., Vesselova, P. V., Kudabayeva, G. M., Skaptsov, M. V., Shmakov, A. I., & Friesen, N. (2023). Phylogeny and flow cytometry of the genus *Kalidium* Moq. (Amaranthaceae s.l.) in Kazakhstan. *Plants*, 12, Article 2619. <https://doi.org/10.3390/plants12142619>.
- 17 Pavlov, N. V. (Ed.). (1956–1966). *Flora of Kazakhstan (Vols. 1–9)*. Alma-Ata: Academy of Sciences of the Kazakh SSR.
- 18 Plantarium. (2007–2024). *Plantarium: Open online atlas-detector of plants and lichens of Russia and neighbouring countries* [Electronic resource]. <http://www.plantarium.ru/> (access date: 11.06.2025).
- 19 Rachkovskaya, E. I., Safronova, I. N., & Volkova, E. A. (2003). Principles and basic units of zoning. In E. I. Rachkovskaya, E. A. Volkova, & V. N. Khramtsov (Eds.), *Botanical geography of Kazakhstan and Central Asia (within the desert region)* (pp. 172–195).
- 20 Seidl, A., Tremetsberger, K., Pfanzelt, S., Blattner, F. R., Neuffer, B., Hurka, H., Shmakov, A., Batlai, O., Zerdoner Calasan, A., Vesselova, P. V., & Bernhardt, K.-G. (2021). The phylogeographic history of Krascheninnikovia reflects the development of dry steppes and semi-deserts in Eurasia. *Scientific Reports*, 11(1), 6645. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85735-z>.
- 21 Shormanova, A. A., Kudabayeva, G. M., Gemedzhiyeva, N. G., Vesselova, P. V., & others. (2013). *State cadastre of plants of Kyzylorda oblast (Prospectus of higher vascular plants)*. Almaty.
- 22 Skvortsov, A. K. (1977). *Herbarium: A manual on methodology and technique*. – 199p.
- 23 Stikhareva, T., Ivashchenko, A., Kirillov, V., & Rakhimzhanov, A. (2021). Floristic diversity of threatened woodlands of Kazakhstan formed by *Populus pruinosa* Schrenk. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45, 165–178.

24 Vanselow, K. A., Zandler, H., & Samimi, C. (2021). Time series analysis of land cover change in dry mountains: Insights from the Tajik Pamirs. *Remote Sensing*, 13(19), 3951. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13162275>.

25 Vesselova, P. V., Kudabayeva, G. M., Osmonali, B. B., Shormanova, A. A., Nelina, N. V., Abdildanov, D. S., & Ussen, S. (2023). Anthropophilous element of the flora of disturbed lands of the Syr Darya river valley (within Kyzylorda oblast). Almaty.

Information about authors:

Vesselova Polina – Candidate of Biological Sciences (C. sc), head of the Laboratory of flora of higher plants RSE REM “Institute of Botany and Phytointroduction” FWC MENR RK, Timiryazev street, 36 “D”, 050040, Almaty, Kazakhstan; e-mail: pol_ves@mail.ru.

Kudabayeva Gulmira – Candidate of Biological Sciences (C. Sc), Leading Researcher, Laboratory of Higher Plant Flora, RSE REM “Institute of Botany and Phytointroduction” FWC MENR RK, Timiryazev street, 36 “D”, 050040, Almaty, Kazakhstan; e-mail: kgm_anita@mail.ru.

Abdildanov Daulet – Junior Researcher at the Laboratory of Higher Plant Flora, RSE REM “Institute of Botany and Phytointroduction” FWC MENR RK, Timiryazev street, 36 “D”, 050040, Almaty, Kazakhstan; e-mail: abdildanov00@mail.ru;

Ussen Serikbay – Junior Researcher at the Laboratory of Higher Plant Flora, RSE REM “Institute of Botany and Phytointroduction” FWC MENR RK, Timiryazev street, 36 “D”, 050040, Almaty, Kazakhstan; e-mail: ussen.s@mail.ru;

Авторлар туралы мәлімет:

Веселова Полина Васильевна – биология ғылымдарының кандидаты, Ботаника және фитоинтродукция институты Жоғары сатыдағы өсімдіктер флорасы зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан, e-mail: pol_ves@mail.ru);

Кудабеева Гульмира Маулетовна – биология ғылымдарының кандидаты, Ботаника және фитоинтродукция институты Жоғары сатыдағы өсімдіктер флорасы зертханасының жетекші ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: kgm_anita@mail.ru);

Абдилданов Даулет Шарипханович – Ботаника және фитоинтродукция институты жоғары сатыдағы өсімдіктер флорасы зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: abdildanov00@mail.ru);

Үсен Серикбай – Ботаника және фитоинтродукция институты жоғары сатыдағы өсімдіктер флорасы зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: ussen.s@mail.ru).

Сведения об авторах:

Веселова Полина Васильевна – кандидат биологических наук, заведующая лабораторией флоры высших растений, Институт ботаники и фитоинтродукции (Алматы, Казахстан, e-mail: pol_ves@mail.ru);

Кудабеева Гульмира Маулетовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории флоры высших растений, Институт ботаники и фитоинтродукции (Алматы, Казахстан, e-mail: kgm_anita@mail.ru);

Абдилданов Даулет Шарипханович – младший научный сотрудник лаборатории флоры высших растений, Институт ботаники и фитоинтродукции (Алматы, Казахстан, e-mail: abdildanov00@mail.ru);

Үсен Серикбай – младший научный сотрудник лаборатории флоры высших растений, Институт ботаники и фитоинтродукции (Алматы, Казахстан, e-mail: ussen.s@mail.ru).

Received June 19, 2025
Accepted August 20, 2025

4-бөлім
БИОТЕХНОЛОГИЯ

Section 4
BIOTECHNOLOGY

Раздел 4
БИОТЕХНОЛОГИЯ

А.С. Кистаубаева¹ , Л.Н. Сайдуллаева² ,
Ж.К. Батықова¹ , А.А. Мамирова¹ , Ү.Қ. Аханов² 

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²КЕАҚ М. Әуезов атындағы Оңтүстік-Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

*e-mail: leyla-87.87@mail.ru

СОЯ РИЗОСФЕРАСЫНАН БӨЛІНГЕН РИЗОБАКТЕРИЯЛАРДЫҢ ФЕРМЕНТАТИВТІК ҚАСИЕТТЕРІ МЕН ӨСУІН ҮНТАЛАНДЫРУ ПОТЕНЦИАЛЫ

Бұл жұмыста Алматы облысында өсірілген «Жансая» соя сортының ризосферасынан фосфаттарды еріткіштік қабілетке ие ризобактерияларды бөліп алу және олардың қасиеттерін сипаттау нәтижелері ұсынылды. Барлығы он бактериалды изолят алынды, олардың үшеуі грамтеріс және жетеуі грамоң микроорганизмдерге жатқызылды. Изоляттардың фосфатты еріту қабілеті және ферментативтік белсенділігі бағаланды. Төрт изолят айқын фосфатсолюбилизациялау белсенділігін көрсетті, олардың ішінде ең жоғары еріту индексі SJ3 ($0,93 \pm 0,11$), SJ5 ($0,79 \pm 0,012$), SJ9 ($0,49 \pm 0,01$) және SJ10 ($0,49 \pm 0,01$) штамдарында анықталды. Протеазалық белсенділік SJ3 ($2,6 \pm 0,26$), SJ5 ($2,73 \pm 0,25$) және SJ9 ($2,83 \pm 0,29$) изоляттарында жоғары болды; амилазалық белсенділік SJ3 ($2,6 \pm 0,45$), SJ9 ($2,5 \pm 0,17$) және SJ10 ($2,65 \pm 0,15$) штамдарында белгіленді. Ең жоғары целлюлазалық белсенділік SJ3 ($2,83 \pm 0,26$) және SJ10 ($2,8 \pm 0,22$) изоляттарында байқалды, ал липазалық белсенділік анықталмады.

Сонымен қатар бөлінген бактериялар цитратты пайдалануға және көмірсуларды ферменттеуге қабілетті екендігі көрсетілді: төрт изоляттың үшеуі глюкозаны ферменттеді, олардың біреуі газ түзді. Алынған нәтижелер ферментативтік белсенділіктің ризобактериялардың антагонистік потенциалында маңызды рөл атқаратынын дәлелдейді, ол фитопатогендердің жасуша қабырғасын бұзып, олардың өсуін тежейді және өсімдіктердің ауруларға төзімділігін арттырады. Бөлінген штамдар соя өнімділігін арттыруға бағытталған биопрепараттар ретінде әрі қарай зерттеуге перспективалы болып табылады.

Түйін сөздер: ризобактерия, соя, ферментативтік белсенділік, амилаза, протеаза, целлюлаза, фосфатты солюбилизация.

A.S. Kistaubayeva¹, L.N. Saidullayeva^{2*},
Zh.K. Batykova¹, A.A. Mamirova¹, U.K. Akhanov²

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

*e-mail: leyla-87.87@mail.ru

Enzymatic Properties and Plant Growth-Promoting Potential of Soybean Rhizobacteria

This study presents the results of isolation and characterization of rhizobacteria with phosphate-solubilizing ability from the rhizosphere of the soybean cultivar Zhansaya grown in the Almaty region. A total of ten bacterial isolates were obtained, of which three were identified as Gram-negative and seven as Gram-positive microorganisms. Their phosphate-solubilizing capacity and enzymatic activities were evaluated. Four isolates exhibited pronounced phosphate-solubilizing potential, with the highest solubilization index values recorded for strains SJ3 (0.93 ± 0.11), SJ5 (0.79 ± 0.012), SJ9 (0.49 ± 0.01), and SJ10 (0.49 ± 0.01). Among these isolates, high protease activity was observed in SJ3 (2.6 ± 0.26), SJ5 (2.73 ± 0.25), and SJ9 (2.83 ± 0.29), while amylase activity was detected in SJ3 (2.6 ± 0.45), SJ9 (2.5 ± 0.17), and SJ10 (2.65 ± 0.15). The strongest cellulase activity was observed in SJ3 (2.83 ± 0.26) and SJ10 (2.8 ± 0.22), whereas lipase activity was not detected in any of the isolates.

Additionally, the isolates demonstrated the ability to utilize citrate and ferment carbohydrates: three of the four isolates fermented glucose, and one of them produced gas during fermentation. The results indicate that the enzymatic activity of rhizobacteria plays a key role in their antagonistic potential, contributing to the degradation of phytopathogen cell wall structures, suppression of their growth, and enhancement of plant resistance to diseases. The selected strains represent promising candidates for

further development as agronomically valuable bioagents that promote sustainable growth and increase soybean productivity.

Keywords: rhizobacteria; soybean; enzymatic activity; amylase; protease; cellulase; phosphate solubilization.

А.С. Кистаубаева¹, А.Н. Сайдуллаева^{2*},
Ж.К. Батыкова¹, А.А. Мамирова¹, У.К. Аханов²

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²НАО «Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова», Шымкент, Казахстан

*e-mail: leyla-87.87@mail.ru

Ферментативные свойства и ростстимулирующий потенциал ризобактерий сои

В данной работе представлены результаты выделения и характеристики ризобактерий, обладающих способностью к солюбилизации фосфатов, из ризосферы соевого сорта «Жансая», выращенного в Алматинской области. Всего было получено десять бактериальных изолятов, среди которых 3 были отнесены к грамотрицательным и 7 к грамположительным микроорганизмам. Оценены их способности к фосфатной солюбилизации и ферментативная активность. Четыре изолята проявили выраженную фосфатсолюбилизирующую активность, причём наивысшие значения индекса солюбилизации отмечены у штаммов SJ3 ($0,93 \pm 0,11$), SJ5 ($0,79 \pm 0,012$), SJ9 ($0,49 \pm 0,01$) и SJ10 ($0,49 \pm 0,01$). Среди них высокую протеазную активность показали SJ3 ($2,6 \pm 0,26$), SJ5 ($2,73 \pm 0,25$) и SJ9 ($2,83 \pm 0,29$), амилазную – SJ3 ($2,6 \pm 0,45$), SJ9 ($2,5 \pm 0,17$) и SJ10 ($2,65 \pm 0,15$). Наиболее выраженная целлюлазная активность зарегистрирована у SJ3 ($2,83 \pm 0,26$) и SJ10 ($2,8 \pm 0,22$), в то время как липазная активность у всех изолятов не выявлена.

Дополнительно показано, что выделенные бактерии способны усваивать цитрат и ферментировать углеводы: три из четырёх изолятов ферментировали глюкозу, один – с образованием газа. Полученные результаты подтверждают, что ферментативная активность ризобактерий является важным фактором их антагонистического потенциала, способствуя разрушению структур клеточных стенок фитопатогенов, ингибированию их роста и повышению устойчивости растений к заболеваниям. Выделенные штаммы представляют интерес для дальнейшего изучения в качестве потенциальных агрономически ценных биоагентов, способствующих устойчивому росту и повышению продуктивности сои.

Ключевые слова: ризобактерии, соя, ферментативная активность, амилаза, протеаза, целлюлаза, фосфатная солюбилизация.

Кіріспе

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) бұршақ тұқымдасына жататын, жоғары тағамдық құндылығы бар маңызды ауылшаруашылық дақылдарының бірі болып табылады. Оның құрамындағы өсімдік тектес ақуыз мөлшері 38–42% аралығында, бұл оны құнды азықтық және малазықтық ресурс ретінде кеңінен пайдалануға мүмкіндік береді. Соған қарамастан, қазіргі уақытта соя өндірісі тұтынушылық сұраныстың тек шамамен 35,1%-ын ғана қамтамасыз етіп отыр. Осыған байланысты соя өнімділігін арттыру аграрлық сектордағы өзекті мәселелердің бірі болып табылады.

Өнімділікті жоғарылатудың дәстүрлі тәсілдерінің бірі химиялық тыңайтқыштарды қолдану болып табылғанымен, олардың құнының жоғары болуы және топырақ экожүйесіне ұзақ мерзімді жағымсыз әсерлері экологиялық қауіпсіз әрі экономикалық тұрғыдан тиімді баламаларды

іздеуді талап етеді. Мұндай баламалардың ішінде өсімдік өсуін стимуляциялайтын ризосфералық бактерияларға негізделген биологиялық тыңайтқыштар ерекше назарға ие. Өсімдіктің өсуін ынталандыратын ризобактериялар (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria, PGPR) өсімдік тамыр аймағында тіршілік етіп, онымен симбиотикалық өзара байланыс қалыптастырады және бірқатар биохимиялық механизмдер арқылы өсімдіктің қоректік заттарды сіңіру тиімділігін арттырады [1–3].

PGPR топырақ құнарлылығын және өсімдік өсуін бірнеше жолмен реттей алады: азот фиксациялау, фосфаттарды еріту, фитогормондар (индолсірке қышқылы, цитокининдер, гиббереллиндер) синтездеу, ауыр металдарды бейтараптау, органикалық заттардың минералдануын жеделдету және фитопатогендердің дамуын тежеу [4–7]. Солардың ішінде фосфат солюбилиздеуші бактериялар ерекше маңызға ие. Топырақтағы фосфор көбінесе өсімдіктерге қолжетімсіз ми-

нералды формада кездеседі. Фосфат солюбилиздеуші бактериялар органикалық қышқылдар мен ферменттер бөліп шығару арқылы фосфорды өсімдіктер оңай сіңіретін ерігіш түрге айналдырады, нәтижесінде өсімдіктердің қоректену жағдайлары жақсарады және өнімділік артады [8–10].

PGPR қолдану тұқымның өнуін жақсартатыны, тамыр жүйесінің дамуын күшейтетіні және өсімдіктің бастапқы өсу қарқынын жеделдететіні анықталған, бұл ақыр соңында сояның өнімділігін арттыруға әкеледі [11]. Тұрақты ауыл шаруашылығына көшу барысында өсімдіктердің биотикалық және абиотикалық стресс факторларына төзімділігін күшейту үшін топырақ микробиотасының әлеуетін қолдану негізгі бағыттардың бірі болып табылады [12,13].

Ризобактериялардың агрономиялық тиімділігінің маңызды аспектілерінің бірі олардың гидролитикалық ферменттер (амилаза, протеаза, целлюлаза, пектиназа, хитиназа және т.б.) синтездеу қабілеті болып табылады [14,15]. Бұл ферменттер органикалық заттарды минералдандыруды жеделдетіп қана қоймай, өсімдіктердің фитопатогендерге қарсы қорғаныс реакцияларын күшейтеді [16–18]. Мысалы, целлюлаза мен протеаза патогендердің жасуша қабырғаларының құрылымын бұзып, олардың өсуін тежейді, ал амилаза топырақтағы көмірсулар айналымына әсер ете отырып, өсімдіктердің қоректік заттарды сіңіруін оңтайландырады [17–21].

Осылайша, PGPR-дың фосфатты солюбилизациялау қабілеті және ферментативтік белсенділігі соя өсімдігінің тұрақты өсуі мен өнімділігін арттыруда шешуші рөл атқарады. Бұл бағытта жаңа перспективалы штамдарды бөліп алу және олардың агробиотехнологиялық әлеуетін бағалау қазіргі ауыл шаруашылығы үшін ерекше маңызды.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Алматы облысында орналасқан «Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы Ғылыми зерттеу институтында» өсірілетін «Жансая» соя сортының үлгілері алынды. Өсімдіктер тамырымен қазылып, топырақ қалдықтары тазаланған соң, үлгілер стерильді контейнерге орналастырып, зертханаға жеткізілді.

2.1 Ризосфералық бактерияларды бөліп алу. Сояның ризосферасынан микроорганизмдер келесі әдіспен бөлінді. 10 гр топырақ үлгісі алынып, стерильді ыдысқа салынды, оған 90 мл физиологиялық ерітінді (0,85% NaCl) қосылды.

Микроорганизмдерді бөліп алу үшін, суспензияны шейкерде 30 минут бойы, 150-200 айн/мин жылдамдықпен араластырды. Алынған суспензияның 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} сериялық сұйылтулар физиологиялық ерітіндіні қолдана отырып дайындалды. Әрбір сұйылтудан 0,1 мл алынып, стерильді шпательдің көмегімен Петри табақшаларындағы LB (Лурия Бергани) (Himedia, India) агар бетіне біркелкі таралды. Петри табақшалары 28°C температурада 5-7 күн бойы инкубацияланды, инкубация кезеңінде колониялардың өсу динамикасы бақыланды.

Қолданылған LB (Лурия Бергани) агар қоректік ортаның құрамы:

- Триптон: 10 г
- Ашытқы экстракті: 5 г
- NaCl (натрий хлориді): 10 г
- Агар: 15 г
- Дистилденген су: 1 литрге дейін

2.2 Морфологиялық сипаттама және Грам бойынша анықтау. Изоляттардың морфологиялық сипаттамалары, соның ішінде колониялардың пигменті, пішіні, жиектері және биіктігі зерттелді. Пигменттердің түзілуі LB агарында 37°C температурада 24–48 сағаттан кейін бақыланды. Изоляттардың жасуша қабырғаларының құрамы Грам бояу әдісі арқылы анықталды. Грам бойынша бояу процедурасында кристалды күлгін, Грам йод, спирт/ацетон түссіздендіргіш реагенттер және сафранин қолданылды. Алынған нәтижелер негізінде изоляттардың биохимиялық қасиеттері сипатталды [22].

2.3 Фосфатты солюбилизациялау қабілетін зерттеу. Фосфатты солюбилизациялаудың сапалық талдау Пиковская қоректік ортасында жүргізілді, яғни оған трикальцийфосфат $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ қосылды [23]. Бактериялық изоляттардың фосфатты солюбилизациялау қабілеті сапалық және сандық тұрғыдан бағаланады. Изоляттар Пиковская қоректік ортасында $28 \pm 2^\circ\text{C}$ температурада 6-7 тәулік бойы инкубацияланды. Бактериялық колониялардың айналасында айқын аймақтың пайда болуы изоляттың фосфатты солюбилизациялау қабілетін растайды. Инкубациядан кейін изоляттардың фосфатты солюбилизациялау қабілеті ерігіштік индексі (SI) анықтау арқылы бағаланды, ол келесі формула бойынша есептелді [24]:

$$\text{SI} = (d \text{ колония} + d \text{ гало аймағы}) / D \text{ колония} \quad (1)$$

мұндағы d – диаметр.

2.4 Ферменттік белсенділікті анықтау әдістемесі. Анықталған ризосфералық бакте-

риялық изоляттардың крахмалды, целлюлазаны, амилазаны және липазаны гидролиздейтін ферменттерді өндіру қабілеті сәйкес субстратты қамтитын қатты қоректік ортаға изоляттарды егу арқылы зерттелді. Инкубациядан кейін, егер фермент субстратты ыдыратса, колониялардың айналасында түзілген аймақ оның белсенділігін көрсетті [25].

Ферментативтік индекс (EI) келесі формула бойынша есептелді:

$$EI = \frac{\text{фермент аймағының диаметрі}}{\text{колонияның диаметрі}} \quad (2)$$

Изоляттар фермент өндіруге қабілетіне қарай келесі топтарға бөлінді: фермент синтездей алмайтын ($EI = 0$), төмен деңгейде фермент синтездей алатындар ($0 < EI \leq 2$), орташа деңгейде фермент синтездей алатындар ($2 < EI \leq 4$) және жоғары деңгейде фермент синтездей алатындар ($EI > 4$) [26].

2.5 Протеазалық белсенділікті зерттеу әдістемесі. Изоляттардың протеаза ферментін өндіру қабілетін зерттеу үшін майсыздандырылған сүт агары (SMA) (Himedia, India) бар стерильді Петри табақшаларына нүктелік әдіспен егу жүргізілді. Изоляттар $28 \pm 2^\circ\text{C}$ температурада 48 сағат бойы инкубацияланды. Инкубациядан кейін бактерия колонияларының айналасындағы мөлдір аймақтың пайда болуы протеазалық белсенділіктің болуын көрсетті, яғни субстрат протеаза ферменттері арқылы ыдырағанын дәлелдеді [27].

2.6 Амилазалық белсенділікті зерттеу әдістемесі. Бактериялық изоляттар крахмал агарына (сиыр етінің экстракты – 3,0 г, пептон – 5,0 г, ерігіш крахмал – 2,0 г, агар – 15,0 г, дистилденген су – 1 л) Петри табақшаларына нүктелік әдіспен егілді және 30°C температурада 48 сағат бойы инкубацияланды. Инкубация аяқталғаннан кейін Петри табақшаларына 1% йод ерітіндісін құйып (300 мл дистилденген суға 2,0 г KI және 1,0 г йод), бір минут ұсталып, содан кейін ерітінді төгілді. Йод крахмалмен әрекеттесіп, көк түсті қосылыс түзеді. Демек, колониялардың айналасындағы түссіз аймақтың пайда болуы амилаза ферментінің белсенділігін көрсетеді [28].

2.7 Целлюлазалық белсенділікті зерттеу әдістемесі. **Ризосфералық** бактериялық изоляттар карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) көміртегі көзі ретінде қолданылған, NaNO_3 , K_2HPO_4 , KCl , MgSO_4 , FeSO_4 , ашытқы экстракты және агар қамтитын қатты қоректік ортаға нүктелік әдіспен егілді [29]. Петри табақшалар 28°C тем-

пературада 48 сағат бойы инкубацияланды. Инкубациядан кейін жасушадан тыс целлюлазалық белсенділікті 1% йод ерітіндісі (300 мл дистилденген суда 2,0 г KI және 1,0 г йод) қосылып, 3-5 минут ұсталды, содан кейін ерітінді төгілді. Нәтижесінде колониялардың айналасында түзілген мөлдір аймақ целлюлозаның гидролизделгенін көрсетіп, фермент белсенділігін сапалық түрде дәлелдеді [30].

2.8 Липазалық белсенділікті зерттеу әдістемесі. Липаза ферментінің белсенділігін бағалау үшін изоляттар жұмыртқаның сарысы агары (EYA) (Himedia, India) бар ортаға нүктелік әдіспен егілді және $30 \pm 2^\circ\text{C}$ температурада 2 күн бойы инкубацияланды. Содан кейін Петри табақшаларына қаныққан мыс сульфатының (CuSO_4) ерітіндісімен 10-15 минут өңделіп, артық реагент төгілді [30]. Липазалық белсенділігі бар колониялардың айналасында жасыл-көк түсті аймақ пайда болып, оң нәтиже көрсетті.

2.9 Цитраттың сіңірілуін анықтау әдістемесі. Ризобактериялардың көміртекті энергия көзі ретінде пайдалану қабілетін анықтау мақсатында олар Симмонс цитрат-агар (SCA) (Himedia, India) қоректік ортасында өсірілді. Қоректік ортаның құрамы: 0,2 г натрий цитраты, 0,02 г MgSO_4 , 0,5 г NaCl , 0,1 г аммоний дигидрофосфаты, 0,005 г бромтимол көгі, 100 мл дистилденген су, 4 г агар; pH 6,9 және $28 \pm 2^\circ\text{C}$ температурада 24 сағат бойы инкубацияланды. Цитраттың сіңірілуінің оң нәтижесі қоректік ортаның түсінің 24 сағат ішінде жасылдан көк түске өзгеруі арқылы анықталды, бұл ризобактериялардың цитратты пайдалану қабілетін растайды [31].

2.10 Көмірсулардың ферментациясын анықтау әдісі. Бактериялық изоляттардың көмірсуларды ферменттеу қабілеті үш қантты-темірлі агарда (TSIA) (Himedia, India) өсіру арқылы бағаланды. Бактерия штаммдары $30 \pm 2^\circ\text{C}$ температурада 24 сағат бойы инкубацияланды. Қоректік ортаның беті мен түбінің сарғаюы бактериялардың декстрозаны, лактозаны және сахарозаны ферменттегенін көрсетті. Өсіру ортасының pH мәні ризобактериялардың ферментациялық белсенділігіне әсер етті. Пробирканың түбі сары, ал көлбеу беті қызыл болған жағдайда тек декстрозаның ыдырауы байқалды. Қоректік ортаның қараюы күкіртті сутегінің (H_2S) түзілуін, ал ортаның ыдырауы немесе көтеріліп кетуі газ түзілуін көрсетті [32].

2.11 Статистикалық өңдеу. Барлық тәжірибелер үш қайталымда жүргізілді.

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad \text{және} \quad n = 3$$

Алынған нәтижелер **Microsoft Excel 2021** бағдарламасында өңделіп, мәліметтер орташа мән (М) және стандартты қателік ($\pm SE$) түрінде көрсетілді. Айырмашылықтар $p < 0,05$ деңгейінде сенімді деп есептелді [33].

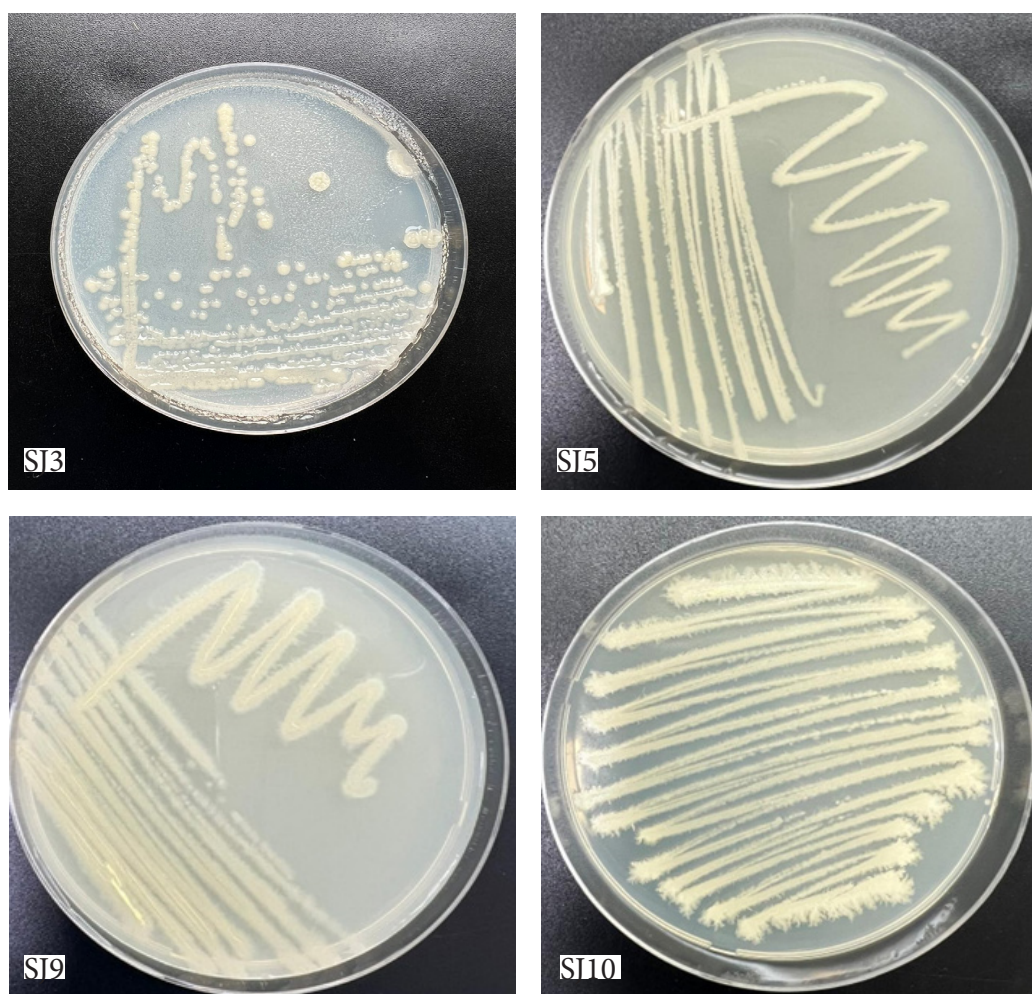
Зерттеу нәтижелері және оларды талдаулар

Алматы облысында өсірілген соя өсімдігінің ризосфералық аймағынан жалпы он окшауланған бактериалды изолят бөлініп алынды. Бактериялардың LB агарлы ортада өскен колониялары түсі, формасы, жиегі мен беткі құрылымы бойынша бір-бірінен ерекшеленді (1-кесте). Әр-

бір бөлініп алынған изоляттың морфологиялық және өсу ерекшеліктері егжей-тегжейлі зерттелді (1-сурет).

Жалпы алынған он изоляттың **үшеуі грам теріс**, ал **жетеуі грам оң** бактериялар тобына жататыны анықталды.

1-суретте зерттеу барысында бөлініп алынған ризосфералық бактериялардың таза дақылдары көрсетілген. Әрбір изолят жеке қоректік ортада өсіріліп, морфологиялық біркелкілікке қол жеткізу мақсатында бірнеше рет қайта егіліп тазартылды. Пластинкаларда өсірілген штамдардың колониялары түсі, пішіні, шеті мен беткі құрылымы бойынша бір-бірінен ерекшеленетіні көрінеді. Бұл морфологиялық айырмашылықтар изоляттардың таксономиялық алуан түрлілігін көрсетіп, олардың әртүрлі бактериялық топтарға жататынын дәлелдейді.



1-сурет – Бөлініп алынған изоляттардың таза штамдары

1-кесте – Оқшауланған бактериялық изоляттардың морфологиялық сипаттамасы

Изолят тар	Оптикалық қасиеті	Пішіні	Жиегі	Құрылымы	Колония түсі	Өсу деңгейі	Консистенциясы
SJ1	мөлдір емес	шеңбер	тұтас	Тегіс	ашық қызғылт сары	дөңес	шырышты
SJ2	мөлдір емес	біркелкі емес	жіп тәрізді	Тегіс	Ақшыл	жалпақ	кілегейлі
SJ3	мөлдір	шеңбер	тұтас	Тегіс	Ақшыл	дөңес	майлы құрылымды
SJ4	мөлдір емес	тұрақты	тұтас	Тегіс	қызғылт сары	жалпақ	беті жабысқақ
SJ5	мөлдір емес	біркелкі емес	жіп тәрізді	Тегіс	Ақшыл	жалпақ	шырышты
SJ6	мөлдір емес	шеңбер	тұтас	жабысқақ	ашық сары	дөңес	кілегейлі
SJ7	мөлдір емес	біркелкі емес	жіп тәрізді	Тегіс	Ақшыл	жалпақ	шырышты
SJ8	мөлдір	шеңбер	толқын тәрізді	желімді	Ақ	дөңес	майлы құрылымды
SJ9	мөлдір емес	біркелкі емес	жіп тәрізді	жабысқақ	ақшыл сары	жалпақ	кілегейлі
SJ10	мөлдір емес	біркелкі емес	жіп тәрізді	Тегіс	Ақшыл	жалпақ	кілегейлі

1-кестеде әрбір оқшауланған изоляттың колония морфологиясына тән негізгі белгілері салыстырмалы түрде берілген. Изоляттар оптикалық қасиеті (мөлдір немесе мөлдір емес), пішіні (шеңбер немесе жіп тәрізді), колония жиегінің сипаты (тұтас, толқынды), беткі құрылымы (тегіс, желімді, жабысқақ), түсі, өсу деңгейі (дөңес, жалпақ, ортасы көтеріңкі) және консистенциясы (шырышты, кілегейлі, майлы) бойынша айырмашылықтарға ие.

Аталған морфологиялық сипаттамалар бактерияларды бастапқы фенотиптік идентификациялауда маңызды рөл атқарады. Мәселен, SJ1, SJ4 және SJ6 изоляттары қызғылт-сары түске ие болса, SJ3 және SJ8 майлы құрылымды, мөлдір колония түзіледі. Ал SJ2, SJ5, SJ7, SJ9 және SJ10 изоляттары жіп тәрізді немесе біркелкі емес пі-

шінді, кілегейлі немесе шырышты колониялар түзіп, олардың экзополисахарид синтездеу қабілеті болуы мүмкін екенін көрсетеді.

Жалпы, алынған морфологиялық деректер бактериялардың табиғи әртүрлілігін айқындап, олардың физиологиялық және биотехнологиялық қасиеттерін әрі қарай зерттеу үшін негіз бола алады.

3.1 Фосфатты солюбилизациялау қабілетін зерттеу

Фосфатты ерітетін аймақ өлшемдерін және ерігіштік индексын (Solubilization Index, SI) көрсетеді. SI мәні бактериялардың ерімейтін минералды фосфатты өсімдікке қолжетімді еритін формаға айналдыру тиімділігін сипаттайтын негізгі көрсеткіш болып табылады [34].

2-кесте – Оқшауланған изоляттардың фосфатты еріту зоналарының диаметрі және ерігіштік индексі (SI)

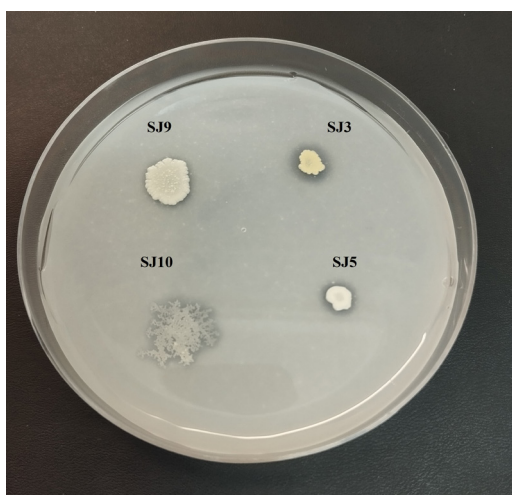
Изолят	Аймақ (мм) ± SE	Индекс (SI) ± SE	Белсенділік деңгейі
SJ3	10 ± 0,29	0,93 ± 0,06	Жоғары
SJ5	8 ± 0,23	0,79 ± 0,007	Орташа
SJ9	5 ± 0,17	0,49 ± 0,006	Төмен
SJ10	5 ± 0,17	0,49 ± 0,006	Төмен

Ескерту: Барлық тәжірибелер үш қайталымда жүргізілді. Нәтижелер орташа мән (M) ± стандартты қателік (SE) түрінде көрсетілген.

SJ3 ең жоғары фосфат солюбилизациялау индексіне ие, бұл штаммның топырақтағы фосформен қамтамасыз ету тиімділігі жоғары екенін көрсетеді. Мұндай штаммдар биологиялық тыңайтқыштардың негізгі компоненті ретінде құнды.

SJ5 орташа деңгейлі белсенділік көрсетеді, ол да агротехнологияға қолдануға жарамды.

SJ9 және SJ10 белсенділігі төмен, бірақ комбинирленген микробиалды консорциум құрамында олар да экологиялық тепе-теңдікті сақтау немесе қосымша ферментативтік әсерлер арқылы маңызға ие болуы мүмкін.



2-сурет – Бактериялардың фосфатты солюбилизациялау белсенділігі

2-сурет, соя ризосферасынан оқшауланған бактериялардың фосфатты солюбилизациялау қабілетін көрсетеді. Пиковская агарлы ортасында (PVK-agar) фосфатты еріту белсенділігі

колонияның айналасында пайда болған мөлдір аймақтың диаметрі бойынша бағаланды. Мөлдір аймақтың болуы бактериялардың ортаның рН-ын төмендететін органикалық қышқылдар түзе отырып, ерімейтін фосфат қосылыстарын өсімдікке қолжетімді формаға айналдыру қабілетін білдіреді. Суреттен көрініп тұрғандай, төрт изолят (SJ3, SJ5, SJ9 және SJ10) айқын солюбилизация аймағын түзді, бұл олардың фосфатты ерітуші бактериялар қатарына жататынын дәлелдейді. Әсіресе SJ3 изолятында зона аймағының ең үлкен болуы (10 мм) осы штаммның жоғары белсенділігін көрсетеді және оның агрономиялық тұрғыдан әлеуеті зор екендігін айқындайды [31-32].

Фосфатты солюбилизациялау белсенділігінің жоғары болуы әдетте бактериялардың органикалық қышқылдар (мысалы, глюкон қышқылы, сүт қышқылы, фумар қышқылы) түзе алу қабілетімен, сондай-ақ сыртқы орта рН-ын төмендету функциясымен байланысты. Сондықтан SJ3 және SJ5 штамдары фосфор тапшылығы бар топырақтарда өсімдіктердің минералдық қоректенуін жақсарту үшін перспективалы биологиялық агенттер болып табылады. Бұл штаммдардың қолданылуы химиялық фосфор тыңайтқыштарын ішінара алмастыра отырып, экологиялық тұрақты ауыл шаруашылығына көшуге мүмкіндік береді [30].

3.2 Протеазалық белсенділікті анықтау. Майсыздандырылған сүт агарында жүргізілген тәжірибеде протеазалық белсенділік 10 изолятың 9-ында анықталды. Бұл нәтиже ризосфералық бактериялар арасында протеаза секрециясының айтарлықтай вариабелділігі болатынын растайды. Ферментативтік индекс (EI) мәндеріне сүйене отырып, изоляттар белсенділік деңгейі бойынша топтастырыл (Кесте 3).

3-кесте – Протеаза, амилаза және целлюлазалық белсенділікті бағалауға арналған ферментативтік индекс (EI)

Изолят	Протеаза (M ± SE)	Амилаза (M ± SE)	Целлюлаза (M ± SE)
SJ1	2.43 ± 0.23	0 ± 0	0 ± 0
SJ2	0 ± 0	0 ± 0	2.07 ± 0.03
SJ3	2.60 ± 0.15	2.60 ± 0.31	2.83 ± 0.17
SJ4	2.00 ± 0.00	1.88 ± 0.32	2.40 ± 0.31
SJ5	2.73 ± 0.15	2.37 ± 0.19	2.27 ± 0.37
SJ6	2.53 ± 0.26	2.30 ± 0.17	0 ± 0
SJ7	1.97 ± 0.09	1.97 ± 0.26	2.17 ± 0.17

Изолят	Протеаза (M ± SE)	Амилаза (M ± SE)	Целлюлаза (M ± SE)
SJ8	2.43 ± 0.30	2.32 ± 0.20	1.93 ± 0.09
SJ9	2.83 ± 0.17	2.50 ± 0.10	0 ± 0
SJ10	1.23 ± 0.15	2.65 ± 0.09	2.80 ± 0.15

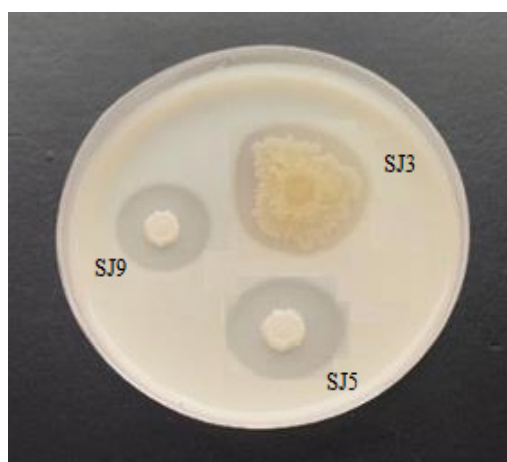
Ескерту: Барлық тәжірибелер үш қайталымда жүргізілді. Нәтижелер орташа мән (M) ± стандартты қателік (SE) түрінде көрсетілген. $p < 0,05$.

Жоғары белсенділік ($EI > 2$): SJ3 ($2,60 \pm 0,15$), SJ5 ($2,73 \pm 0,15$), SJ6 ($2,53 \pm 0,26$), SJ8 ($2,43 \pm 0,30$), SJ1 ($2,43 \pm 0,30$) және SJ9 ($2,83 \pm 0,17$).

Әсіресе SJ9 және SJ5 барлық қайталымдарда тұрақты жоғары мәндер көрсетіп, органикалық азотты минералдандыру және фитопатогендерге қарсы биобақылау механизмдеріне белсенді қатыса алатын перспективалы штаммдар болып табылады.

Орташа белсенділік ($1 \leq EI \leq 2$): SJ7 ($1,97 \pm 0,26$) және SJ4 ($\approx 2,0$), бұл штаммдардың фермент түзу қабілеті функционалды, бірақ салыстырмалы түрде төмен екенін көрсетеді.

Белсенділік байқалмаған: бір изолятта протеаза секрециясы анықталмады, бұл фермент экспрессиясының реттелу ерекшеліктерімен немесе орта компоненттерінің әсерімен байланысты болуы мүмкін.



3-сурет – Изоляттардың протеазалық белсенділік профилі

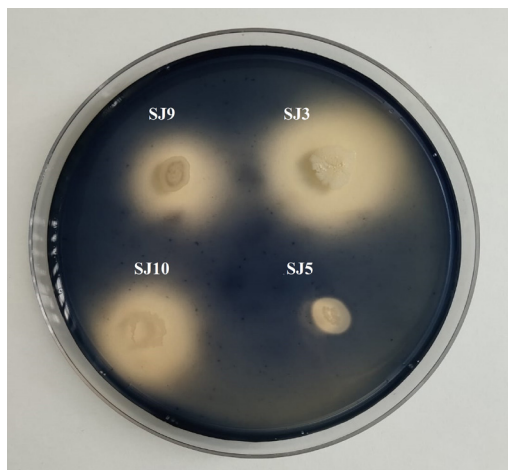
Протеаза ферменттері топырақтағы ақуызды заттарды аминқышқылдарына дейін ыдыратып, өсімдік үшін қолжетімді азот қорын арттырады, сонымен бірге кейбір фитопатогендердің жасуша қабырғаларын бұза отырып антагонистік әсер көрсетеді. Осы тұрғыда SJ9, SJ5 және SJ3 изоляттары экологиялық тиімді биотыңайтқыштар мен биоконтроль агенттерін әзірлеу үшін негізгі кандидаттар болып табылады (Сурет 3).

3.3 Амилазалық белсенділікті анықтау.

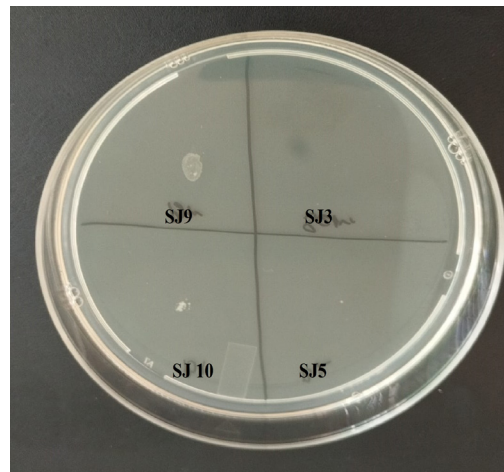
Амилазалар крахмал және басқа полисахаридтерді глюкоза және мальтоза сияқты өсімдік үшін қолжетімді энергия көзіне айналдырады және ризосферада көміртек айналымын жақсартады. Тұқым өну кезеңінде өсімдік өзінде жиналған крахмалды пайдаланады [29].

Амилазаны бөлетін бактериялар бұл процессті жеделдетіп, тамыр жүйесінің жылдам қалыптасуына ықпал етеді. Амилазалық белсенділік PGPR-дың өсімдікті қоректік заттармен қамтамасыз ету және стресс жағдайына төзімділігін арттыру қабілетінің маңызды индикаторы болып саналатындықтан келесі зерттеулер бөлініп алынған 10 изоляттың амилазикалық белсенділігі крахмалды агар ортасында бағаланды. SJ3, SJ4, SJ5, SJ6, SJ7, SJ8, SJ9 және SJ10 изоляттары бактериялды культура айналасында айқын мөлдір аймақтар көрсетті, бұл олардың крахмалды гидролиздеуде жоғары белсенділікке ие екенін көрсетеді.

3-кесте нәтижелерінен көрініп тұрғандай, екі изолят амилазаны бөле алмады. EI мәні $0 < EI \leq 4$ болатын изоляттар амилазикалық белсенділіктің төмен немесе орташа деңгейін көрсетті. Ал $EI = 2,5$ мәніне ие SJ3, SJ9 және SJ10 изоляттары жоғары ферментативтік потенциалға ие екенін көрсетті (4-сурет).



4-сурет – Крахмалды агарда амилазалық белсенділікті анықтау нәтижелері



5-сурет – Изоляттардың липазалық белсенділігін анықтау нәтижелері

Крахмалды агарда жүргізілген тәжірибеде 10 изоляттың 8-і айқын амилазалық белсенділік көрсетті, ал екі изолят белсенділік танытпады. Йод ерітіндісімен өңделгеннен кейін колония маңындағы ашық аймақтар крахмалдың ыдырауын көрсетті.

Орташа белсенділік көрсеткен изоляттар SJ5, SJ8, SJ6, SJ7 және SJ4 EI мәндерінің тұрақты болса да, салыстырмалы түрде төмен деңгейін көрсетті (1,88–2,37 аралығында). Бұл штаммдарда фермент секрециясы бар, бірақ ол қоректік ортаға немесе индукция шарттарына тәуелді болуы мүмкін. Екі изолятта амилаза бөлінбеген сол себептен белсенділік байқалмаған. Амилазалар органикалық қалдықтардың минералдануына қатыса отырып, өсімдіктердің энергетикалық және метаболикалық процестеріне маңызды көмірсуларды қолжетімді етеді.

Сондықтан SJ10, SJ3 және SJ9 изоляттары жоғары ферментативтік потенциалы бар PGPR ретінде ерекше құнды изолят деп қарастыруға мүмкіндік беретіндігі анықталды.

3.4 Липазалық белсенділікті анықтау.

Липазалық белсенділікті анықтау ризобактериялардың органикалық заттардың минералдануына, өсімдіктердің қоректік заттармен қамтамасыз етілуіне және фитопатогендерге қарсы қорғаныс механизмдерін күшейтуге қатысу әлеуетін бағалауға мүмкіндік береді [28-29]. Сондықтан липазаны өндіретін бактериялар биотыңайтқыштар мен биоконтроль агенттерін әзірлеуде маңызды биотехнологиялық құндылыққа ие. Осы ретте, оқшауланған 10 изоляттың липаза ферментінің белсенділігі бағаланды.

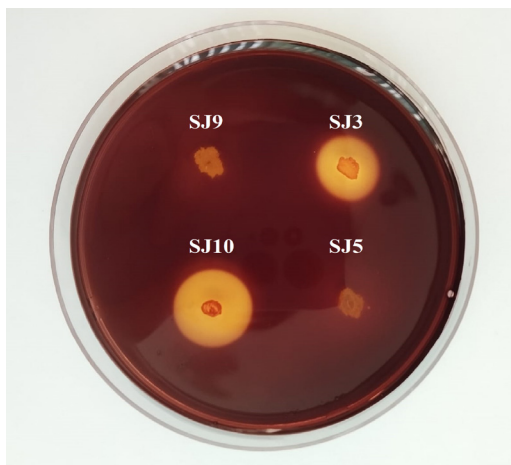
Зерттеу нәтижесінде колониялардың айналасында липазалық белсенділікті көрсететін мөлдір аймақ байқалмады, яғни барлық изоляттар теріс нәтиже көрсетті (Сурет 5). Бұл зерттелген бактериялардың липаза ферментін бөліп шығармағанын көрсеткіші, яғни зерттелген изоляттар көмірсу немесе ақуыз тектес органикалық қосылыстарды ыдыратуға бейім екенін көрсетеді.

Липазаның болмауы изоляттардың агрономиялық құндылығын төмендетпейді. Бұл изоляттар өсімдіктердің өсуін басқа маңызды механизмдер арқылы қолдайды: фосфатты еріту, көмірсуларды және ақуыздарды ыдырату, ризосферадағы қоректік заттардың айналымын жеделдету секілді.

3.5 Целлюлазалық белсенділікті анықтау.

Келесі зерттеуде бөлініп алынған изоляттардың целлюлазалық белсендігін анықтадық. Целлюлазалар өсімдік жасуша қабырғасының негізгі компоненті болып табылатын целлюлозаны глюкоза және олигосахаридтерге дейін гидролиздейтін ферменттер тобы болып табылады. Ризосферада целлюлазалық белсенділік бірнеше маңызды функция атқарады:

- өсімдіктің тамырлары айналасындағы органикалық қалдықтардың минералдануын жеделдетеді;
- топырақтағы көміртек пен қоректік элементтердің айналымын қалыпты ұстайды;
- тамыр жүйесінің кеңеюіне және жаңа тамыршалардың пайда болуына қолайлы микробтық орта жасайды;
- кейбір фитопатогендердің жасуша қабырғаларын бұзып, биоконтроль әсерін қамтамасыз етеді [26-27].



6-сурет – Целлюлозаның ферментативтік гидролиздік аймақтары

6-сурет, целлюлазалық белсенділігі зерттелген бактериялық изоляттардың қызыл боялған агарлы ортадағы өсуін көрсетеді. Колония айналасындағы ашық-сары мөлдір аймақтар целлюлоза субстратының ферментативтік гидролизі нәтижесінде пайда болады. Аймақтың диаметрі неғұрлым үлкен болса, соғұрлым целлюлазаның секреция деңгейі жоғары болып есептеледі. Суреттен жоғары белсенділікке ие штаммдарда осындай ашық аймақ айқын және кең екендігі көрінеді, бұл олардың целлюлозаны тиімді ыдырату қабілетін растайды [26-28].

Ризобактерия изоляттарының целлюлолитикалық белсенділік индексі бір-бірінен айтарлықтай ерекшеленді. 10 изоляттың үшеуі (30%) айқын аймақ түзбеді, яғни олар целлюлоза ферментін бөліп шығарушы ретінде қарастырылмады. Ал жеті изолят (70%) целлюлазаны ыдыратуда жақсы өнімділік көрсетті ($2 < EI \leq 4,0$) (Кесте 3). Ең жоғары белсенділік SJ3 және SJ10 изоляттарында тіркелді (екеуі де $EI = 2,8$).

Ең жоғары целлюлазалық индекс SJ3 және SJ10 изоляттарында анықталды (екеуінде де $EI = 2,8 \pm 0,22$), бұл олардың:

- өсімдік қалдықтарын тиімді ыдыратуға,
- қоректік элементтердің биожетімділігін арттыруға,
- тамыр аймағында топырақ құрылымын жақсартуға жоғарғы қасиетін дәлелдейді.

SJ4, SJ7 және SJ8 тәрізді орташа белсенді штаммдар да экожүйеде маңызды роль атқара алады, себебі олардың ферментативтік белсенділігі басқа гидролитикалық ферменттермен (протеаза, амилаза) синергияда әсер етуі мүмкін. Белсенділігі анықталмаған SJ1, SJ2 және SJ6 изоляттары целлюлозаны ыдыратуға мамандан-

ған емес, алайда олар басқа биофункцияларда (мысалы, фосфатты соллюбилизациялау, амилазалық белсенділік) маңызды рөл атқара алады.

SJ3 және SJ10 целлюлазалық белсенділігі ең жоғары изоляттар болып табылады. Олар топырақта органикалық қалдықтардың минералдануын жеделдетуге, өсімдіктің қоректенуін жақсартуға және ризосфералық микробтық консорциумның тұрақтылығын қамтамасыз етуге қабілетті перспективалы PGPR изоляттары болып саналады.

3.6 Цитраттың сіңірілуін анықтау бойынша нәтижелер.

Цитратты сіңіру (utilization test) бактериялардың көміртек көздерін әртүрлі пайдалануға бейімділігін анықтауға арналған маңызды биохимиялық көрсеткіш болып табылады. Бұл тест ризобактериялардың экологиялық және физиологиялық бейімділігін бағалауда ерекше мәнге ие, себебі: Цитратты пайдалана алатын бактериялар қоректік ортадағы көміртек тапшылығы жағдайында да тіршілігін сақтай алады; Цитрат катаболизмі нәтижесінде түзілетін сілтілі өнімдер сыртқы орта рН-ын реттеуге әсер етеді, бұл тамыр аймағында микробтық тепе-теңдікті ұстап тұруға көмектеседі; Мұндай бактериялар өсімдік тамыры бөлетін органикалық қышқылдарды субстрат ретінде пайдаланып, ризосферада тұрақты колония түзе алады [25-27].

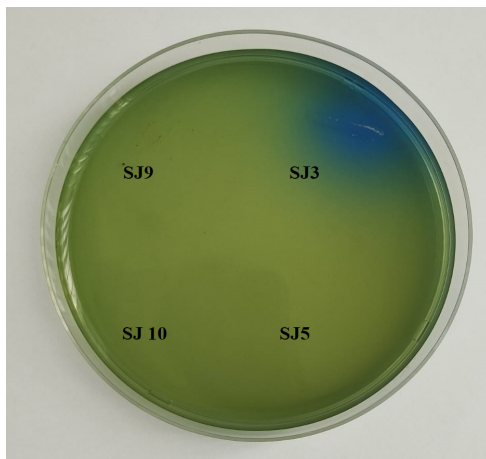
Сондықтан цитратты сіңіру қабілеті ризобактериялардың тамыр аймағында ұзақ уақыт тұрақты тіршілік ету қасиетін бағалауда маңызды биомаркер болып саналады.

Зерттелген изоляттардың ішінде SJ3 изолятында цитратты пайдалану оң нәтиже көрсетті: қоректік орта бетінде өсу байқалды және орта қанық көк түске ие болды. Сілтілі карбонаттар және бикарбонаттар цитрат катаболизмінің жанама өнімі ретінде түзіледі, сонымен қатар орта рН мәні 7,6-ға дейін көтеріледі. Нәтижесінде бромтимол көк индикаторы бастапқы жасыл түсін көк түске өзгертеді (Сурет 7).

7-сурет цитратты пайдалану тестінің нәтижелерін көрсетеді. Тест үшін Simmons цитрат агары қолданылды.

Егер изолят цитратты жалғыз көміртек көзі ретінде пайдалана алса, ол ортада өніп-жетіледі. Цитраттың ыдырауы кезінде сілтілі карбонаттар түзіледі, нәтижесінде ортаның рН- 7,6 және одан жоғары деңгейге көтеріледі [24-26]. Бромтимол көк индикаторы рН өзгерісіне жауап беріп, жасылдан қою көк түске өзгереді. Суреттен байқалғандай, SJ3 изолятында өсу айқын көрінеді және орта түсі көк түске ауысқан, бұл оның цитратты

тиімді катаболиздей алатынын растайды. Қалған изоляттарда түс өзгерісі болмады, яғни олар цитратты көміртек көзі ретінде пайдаланбаған.



7-сурет – Цитратты пайдалану қабілетін анықтау

SJ3 изолятындағы цитратты сіңіру қабілеті: оның метаболизмінің икемді екенін, ризосферада көміртектік стресске төзімділігі жоғары бактерия екенін, өсімдікпен ұзақ мерзімді симбиотикалық қарым-қатынасты қолдай алатынын көрсетеді. Бұл қасиет PGPR штаммдарын биопрепарат құрамына таңдауда маңызды, өйткені тиімді колонизация – биотыңайтқыштың функционалды болуының негізгі шарты болып табылады.

3.7 Көмірсуларды ферментациялау қабілетін талдау. Үш қантты темір ағары (TSIA) (Central Drug House (P), India) қоректік ортасында түс өзгеруі оң нәтиже болғанын көрсетті.

TSIA ортасында үш изолятта глюкоза ферментациясы байқалды, біреуінде газ түзілуімен бірге жүрді. Бұл бактериялардың: анаэробты немесе факультативті анаэробты метаболизмге қабілетті екенін, энергия алу жолдарының алуан түрлі екенін, ризосферада оттегі концентрациясы өзгерген жағдайда да өсе алатынын көрсетеді. H_2S түзілуінің болмауы олардың күкіртті қосылыстарды тотықсыздандыру жолына түспейтінін білдіреді, бұл өсімдікке улы әсердің жоқтығын көрсететін оң белгінің көрсеткіші.

SJ3 изолятында цитрат катаболизмі мен глюкозаны ферментациялау қабілетінің үйлесуі, оның ризосферада тұрақты колония түзуге, түрлі қоректік ортада өсуді сақтауға және өсімдікке

қолайлы микроорта қалыптастыруға жоғары бейімділігін сипаттайды.

Қорытынды

Бұл зерттеу барысында Алматы облысында өсірілген соя (*Glycine max*) өсімдігінің ризосферасынан бөлініп алынған бактериялық изоляттардың агрономиялық маңызды қасиеттері кешенді түрде бағаланды. Барлық 10 изолят морфологиялық және биохимиялық сипаттамалары бойынша айтарлықтай гетерогенділік танытты, бұл ризосфералық микробиоценоздың құрылымдық күрделілігі мен экологиялық бейімделгіштігін көрсетеді.

Фосфатты солубилизациялау сынақтары төрт изолятың (SJ3, SJ5, SJ9, SJ10) өсімдікке қолжетімді фосфорды көбейту қабілетіне ие екенін анықталды. Әсіресе SJ3 және SJ5 изоляттарының ерігіштік индексінің жоғары болуы олардың фосфор тапшылығы жағдайында өсімдіктерді қамтамасыз етуде қасиеті жоғары екенін дәлелдейді. Бұл қасиет ашық дала жағдайында химиялық тыңайтқыштарды ішінара алмастыруға мүмкіндік береді.

Гидролитикалық ферменттерді (протеаза, амилаза және целлюлаза) өндіру қабілетінің талдауы ризобактериялардың топырақтағы органикалық заттардың биотрансформациясына және фитопатогендерге қарсы табиғи қорғау механизмдеріне қатысатынын көрсетті. Протеазалық және амилазалық белсенділіктің ең жоғары көрсеткіштері SJ3, SJ5 және SJ9 изоляттарында тіркелді, ал SJ3 және SJ10 целлюлазаны белсенді синтездейді екендігі анықталды. Бұл ферментативтік профиль аталған штаммдардың органикалық азот пен көміртек айналымын жеделдету арқылы өсімдіктің өсуін жан-жақты қолдай алатынын дәлелдейді.

Цитратты пайдалану қабілеті SJ3 изолятында анықталды, бұл оның көміртек көздерінің тапшылығы жағдайында да тіршілік етуге бейімділігін, яғни ризосферада ұзақ мерзімді тұрақты колонизация жасау мүмкіндігін көрсетеді. Сонымен қатар, глюкоза ферментациясының анықталуы бұл штаммдардың энергетикалық метаболизмінің икемді екенін көрсетеді. H_2S түзілмеуі зерттелген бактериялардың өсімдікке уытты әсер етпейтіндігін айқындайды.

Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері SJ3, SJ5, SJ9 және SJ10 изоляттарының өсімдіктің қоректік заттарға қолжетімділігін арттыру, органика-

лық қалдықтардың минералдануын жеделдету және ризосферада биоконтроль әсерін жүзеге асыру сияқты көп факторлы PGPR механизмдеріне ие екенін көрсетті. Әсіресе SJ3 изолятында фосфат солюбилизациялау, протеаза, амилаза, целлюлаза белсенділігі және цитрат катаболизмі біріге отырып, оның биопрепарат ретінде қолдануға ең перспективті кандидат екенін дәлелдейді.

Қаржыландыру

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қолдауымен АР23490702 «Биомасса қалдықтарын құнды өнімдерге тұрақты конверсиялау мақсатында биочардың деконтаминациялау технологиясын әзірлеу» жобасы аясында жүзеге асырылды.

Әдебиеттер

1. Sri P., Dwi A., Tirta K.D. The Screening of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Based on the Ability to Promote the Growth and Nodulation of Soybean (*Glycine max* L.) Seedlings // *J. Pure Appl. Microbiol.* – 2023. – Vol. 17, № 1. – P. 231–240. <https://doi.org/10.22207/JPAM.17.1.13>
2. Sakharan V.S., Nekra V. Rhizobacteria Promoting Plant Growth: A Critical Review // *Life Sci. Med.* – 2011. – Vol. 21. – P. 1–30. https://www.researchgate.net/publication/284340739_Plant_growth_promoting_rhizobacteria_a_critical_review
3. Backer R., Rockem J.S., Ilangumaran G. et al. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture // *Front. Plant Sci.* – 2018. – Vol. 9. – P. 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
4. Yang P., Condric A., Scranton S., Hebner C., Lu L., Ali M.A. Utilizing Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) to Advance Sustainable Agriculture // *Bacteria.* – 2024. – Vol. 3, № 4. – P. 434–451. <https://doi.org/10.3390/bacteria3040030>
5. He Y., Pantigoso H.A., Wu Z. et al. Co-Inoculation of *Bacillus* sp. and *Pseudomonas putida* at Different Development Stages Acts as a Biostimulant to Promote Growth, Yield and Nutrient Uptake of Tomato // *J. Appl. Microbiol.* – 2019. – Vol. 127, № 1. – P. 196–207. <https://doi.org/10.1111/jam.14273>
6. Andrade L.A. de, Santos C.H.B., Frezarin E.T., Sales L.R., Rigobelo E.C. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria for Sustainable Agricultural Production // *Microorganisms.* – 2023. – Vol. 11, № 4. – P. 1088. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041088>
7. Batykova Z.K., Kistaubayeva A.S., Savitskaya I.S., Pidlisnyuk V. Isolation and Study of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria from Triticosecale Wittmack Growing in Almaty Region // *EBSCOhost.* – 2024. – Vol. 17. – P. 53. <https://doi.org/10.26577/IJBCh2024v17i1-a6>
8. Rawat P., Das S., Shankhdhar D., Shankhdhar S.C. Phosphate-Solubilizing Microorganisms: Mechanism and Their Role in Phosphate Solubilization and Uptake // *J. Soil Sci. Plant Nutr.* – 2021. – Vol. 21, № 1. – P. 49–68. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00342-7>
9. Cheng Y., Narayanan M., Shi X., Chen X., Li Z., Ma Y. Phosphate-Solubilizing Bacteria: Their Agroecological Function and Optimistic Application for Enhancing Agro-Productivity // *Sci. Total Environ.* – 2023. – Vol. 901. – P. 166468. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166468>
10. Pan L., Cai B. Phosphate-Solubilizing Bacteria: Advances in Their Physiology, Molecular Mechanisms and Microbial Community Effects // *Microorganisms.* – 2023. – Vol. 11, № 12. – P. 2904. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>
11. Divyanshu K., Yadav M., Shukla V., Kumar S., Tripathi Yu.N., Upadhyay R.S. Molecular Identification and Characterization of Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Their Effect on Seed Germination and Vigour Index of Barley (*Hordeum vulgare* L.) // *J. Pure Appl. Microbiol.* – 2022. – Vol. 16, № 2. – P. 974–989. <https://doi.org/10.22207/JPAM.16.2.21>
12. Alam M.Z., Dey (Roy) M. The Reduction of Abiotic Stress in Food Crops Through Climate-Smart Mycorrhiza-Enriched Biofertilizer // *AIMS Microbiol.* – 2024. – Vol. 10, № 3. – P. 674–693. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2024031>
13. Chieb M., Gachomo E.W. The Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Plant Drought Stress Responses // *BMC Plant Biol.* – 2023. – Vol. 23. – P. 407. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04403-8>
14. Bhimani A.A., Bhimani H.D., Vaghela N.R. et al. Cultivation Methods, Characterization, and Biocatalytic Potential of Organic Solid Waste Degrading Bacteria Isolated from Sugarcane Rhizospheric Soil and Compost // *Biologia.* – 2024. – Vol. 79, № 3. – P. 953–974. <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01592-3>
15. Vaghela N., Gohel S. Medicinal Plant-Associated Rhizobacteria Enhance the Production of Pharmaceutically Important Bioactive Compounds Under Abiotic Stress Conditions // *J. Basic Microbiol.* – 2022. – Vol. 63, № 3–4. – P. 308–325. <https://doi.org/10.1002/jobm.202200361>
16. Shobade S.O., Nilsen-Hamilton M., Zabolina O.A. Plant Defense Proteins: Recent Discoveries and Applications // *Plants.* – 2025. – Vol. 14, № 13. – P. 2069. <https://doi.org/10.3390/plants14132069>
17. Majumdar S., Chakraborty U. Optimization of Protease Production from Plant Growth Promoting *Bacillus amyloliquefaciens* Showing Antagonistic Activity Against Phytopathogens // *Int. J. Pharm. Bio Sci.* – 2017. – Vol. 8, № 2. – P. 635–642. <https://doi.org/10.22376/ijpbs.2017.8.2.b635-642>
18. Siqueira J.G.W., Rodrigues C., Vandenberghe L.P. de S. et al. Current Advances in On-Site Cellulase Production and Application on Lignocellulosic Biomass Conversion to Biofuels: A Review // *Biomass Bioenergy.* – 2020. – Vol. 132. – P. 105419. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105419>

19. Huang T., Zhang Y., Yu Z., Zhuang W., Zeng Z. *Bacillus velezensis* BV01 Has Broad-Spectrum Biocontrol Potential and the Ability to Promote Plant Growth // *Microorganisms*. – 2023. – Vol. 11, № 11. – P. 2627. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11112627>
20. Behera B.C., Sethi B.K., Mishra R.R. et al. Microbial Cellulases – Diversity and Biotechnology with Reference to Mangrove Environment: A Review // *J. Genet. Eng. Biotechnol.* – 2017. – Vol. 15, № 1. – P. 197–210. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2016.12.001>
21. Martinez M., Gómez-Cabellos S., Giménez M.J. et al. Plant Proteases: From Key Enzymes in Germination to Allies for Fighting Human Gluten-Related Disorders // *Front. Plant Sci.* – 2019. – Vol. 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00721>
22. Husain D.R., Wardhani R., Ningsih F.S., Gani F. Identification of Probiotic Bacteria Isolated from Domestic Chickens (*Gallus domesticus*) Using the 16S rRNA Gene Method // *J. World Poult. Res.* – 2023. – Vol. 13, № 1. – P. 41–47. <https://doi.org/10.36380/jwpr.2023.4>
23. Baber A., Xiukang W., Muhammad H.S. et al. PGPR-Mediated Salt Tolerance in Maize by Modulating Plant Physiology, Antioxidant Defense, Compatible Solutes Accumulation and Bio-Surfactant Producing Genes // *Plants*. – 2022. – Vol. 11. – P. 345. <https://doi.org/10.3390/plants11030345>
24. Kenza B., Abdoulaye S., Ilham M. et al. The Screening of Potassium- and Phosphate-Solubilizing Actinobacteria and the Assessment of Their Ability to Promote Wheat Growth Parameters // *Microorganisms*. – 2021. – Vol. 9. – P. 470. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030470>
25. Devi S., Sharma S., Tiwari A. et al. Screening for Multifarious Plant Growth Promoting and Biocontrol Attributes in *Bacillus* Strains Isolated from Indo-Gangetic Soil for Enhancing Growth of Rice Crops // *Microorganisms*. – 2023. – Vol. 11, №4. – P. 1085. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041085>
26. Ningtyas A.G.S., Irawan B., Setiawan W.A., Handayani K. Thermophilic Bacteria from Surface Layer of Compost: Isolation and Characterization During the Processing Stage // *GSC Biol. Pharm. Sci.* – 2025. – Vol. 32, № 1. – P. 165–175. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2025.32.1.0276>
27. Afrin S., Tamanna T., Shahajadi U.F. et al. Characterization of Protease-Producing Bacteria from Garden Soil and Antagonistic Activity Against Pathogenic Bacteria // *The Microbe*. – 2024. – Vol. 4. – P. 100123. <https://doi.org/10.1016/j.microb.2024.100123>
28. Morbia M., Pandey A., Mahla P., Gohil S. Isolation of α -Amylase Producing Microorganisms from Soil of Kachchh, Gujarat // *J. Pure Appl. Microbiol.* – 2024. – Vol. 18, № 3. – P. 1610–1619. <https://doi.org/10.22207/JPAM.18.3.10>
29. Oo K., Khai A.A., Kyaw E.P., Win T.T. Isolation and Screening of Multifunctional Plant Growth Promoting Rhizobacteria from Rhizosphere of Different Crop Fields // *J. Sci. Innov. Res.* – 2021. – Vol. 10, № 2. – P. 53–62. <https://doi.org/10.31254/jsir.2021.10205>
30. Ramesh Ch.K., Richa S., Hena D., Som D., Arvind G. A Rapid and Easy Method for the Detection of Microbial Cellulases on Agar Plates Using Gram's Iodine // *Curr. Microbiol.* – 2008. – Vol. 57. – P. 503–507. <https://doi.org/10.1007/s00284-008-9276-8>
31. Patel J., Mistry S., Desai S., Patel S., Desai S. Isolation and Characterization of Lipase Producing Bacteria from Vegetable Oil Spillage Site // *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* – 2016. – Vol. 5. – P. 214–232. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.508.023>
32. Bianca O., Rodica C., Simona N. et al. Metabolic Potential of Some Functional Groups of Bacteria in Aquatic Urban Systems // *Fermentation*. – 2021. – Vol. 7. – P. 242. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040242>
33. Greenfield L.M., Puissant J., Jones D.L. Synthesis of Methods Used to Assess Soil Protease Activity // *Soil Biol. Biochem.* – 2021. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108277>
34. Batykova Z., Pidlisnyuk V., Kistaubayeva A., Ust'ak S., Savitskaya I., Saidullayeva L., Mamirova A. Isolation and Screening of the Novel Multi-Trait Strains for Future Implications in Phytotechnology // *Microorganisms*. – 2025. – Vol. 13, №8. – P. 1902. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13081902>

References

1. Afrin S., Tamanna T., Shahajadi U.F., Khan M., Alam M., Chowdhury S. (2024) Characterization of Protease-Producing Bacteria from Garden Soil and Antagonistic Activity Against Pathogenic Bacteria. *The Microbe*, vol. 4, pp. 100123. <https://doi.org/10.1016/j.microb.2024.100123>
2. Alam M.Z., Dey (Roy) M. (2024) The Reduction of Abiotic Stress in Food Crops Through Climate-Smart Mycorrhiza-Enriched Biofertilizer. *AIMS Microbiol.*, vol. 10, pp. 674–693. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2024031>
3. Andrade L.A. de, Santos C.H.B., Frezarín E.T., Sales L.R., Rigobelo E.C. (2023) Plant Growth-Promoting Rhizobacteria for Sustainable Agricultural Production. *Microorganisms*, vol. 11, pp. 1088. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041088>
4. Baber A., Xiukang W., Muhammad H.S., Li Y., Zhang Q., Ahmed S. (2022) PGPR-Mediated Salt Tolerance in Maize by Modulating Plant Physiology, Antioxidant Defense, Compatible Solutes Accumulation and Bio-Surfactant Producing Genes. *Plants*, vol. 11, pp. 345. <https://doi.org/10.3390/plants11030345>
5. Backer R., Rockem J.S., Ilangumaran G., Prasad R., Ricci E., et al. (2018) Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Front. Plant Sci.*, vol. 9, pp. 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
6. Batykova Z.K., Kistaubayeva A.S., Savitskaya I.S., Pidlisnyuk V. (2024) Isolation and Study of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria from Triticosecale Wittmack Growing in Almaty Region. *EBSCOhost*, vol. 17, pp. 53. <https://doi.org/10.26577/IJBCh2024v17i1-a6>

7. Behera B.C., Sethi B.K., Mishra R.R., Kumar P., Singh A., Reddy M. (2017) Microbial Cellulases – Diversity and Biotechnology with Reference to Mangrove Environment A Review. *J. Genet. Eng. Biotechnol.*, vol. 15, pp. 197–210. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2016.12.001>
8. Bhimani A.A., Bhimani H.D., Vaghela N.R., Patel J., Desai S., Mehta R. (2024) Cultivation Methods, Characterization, and Biocatalytic Potential of Organic Solid Waste Degrading Bacteria Isolated from Sugarcane Rhizospheric Soil and Compost. *Biologia*, vol. 79, pp. 953–974. <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01592-3>
9. Bianca O., Rodica C., Simona N. et al. Metabolic Potential of Some Functional Groups of Bacteria in Aquatic Urban Systems // *Fermentation*. – 2021. – Vol. 7. – P. 242. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040242>
10. Cheng Y., Narayanan M., Shi X., Chen X., Li Z., Ma Y. (2023) Phosphate-Solubilizing Bacteria Their Agroecological Function and Optimistic Application for Enhancing Agro-Productivity. *Sci. Total Environ.*, vol. 901, pp. 166468. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166468>
11. Chieb M., Gachomo E.W. The Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Plant Drought Stress Responses // *BMC Plant Biol.* – 2023. – Vol. 23. – P. 407. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04403-8>
12. Devi S., Sharma S., Tiwari A., Singh R., Gupta P., Kumar S. (2023) Screening for Multifarious Plant Growth Promoting and Biocontrol Attributes in Bacillus Strains Isolated from Indo-Gangetic Soil for Enhancing Growth of Rice Crops. *Microorganisms*, vol. 11, pp. 1085. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041085>
13. Divyanshu K., Yadav M., Shukla V., Kumar S., Tripathi Y.N., Upadhyay R.S. (2022) Molecular Identification and Characterization of Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Their Effect on Seed Germination and Vigour Index of Barley (*Hordeum vulgare* L.). *J. Pure Appl. Microbiol.*, vol. 16, pp. 974–989. <https://doi.org/10.22207/JPAM.16.2.21>
14. Greenfield L.M., Puissant J., Jones D.L. (2021) Synthesis of Methods Used to Assess Soil Protease Activity. *Soil Biol. Biochem.*, vol. 153, pp. 108277. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108277>
15. He Y., Pantigoso H.A., Wu Z., Chen L., Li X., Zhang W. (2019) Co-Inoculation of Bacillus sp. and Pseudomonas putida at Different Development Stages Acts as a Biostimulant to Promote Growth, Yield and Nutrient Uptake of Tomato. *J. Appl. Microbiol.*, vol. 127, pp. 196–207. <https://doi.org/10.1111/jam.14273>
16. Huang T., Zhang Y., Yu Z., Zhuang W., Zeng Z. (2023) Bacillus velezensis BV01 Has Broad-Spectrum Biocontrol Potential and the Ability to Promote Plant Growth. *Microorganisms*, vol. 11, pp. 2627. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11112627>
17. Husain D.R., Wardhani R., Ningsih F.S., Gani F. Identification of Probiotic Bacteria Isolated from Domestic Chickens (*Gallus domesticus*) Using the 16S rRNA Gene Method // *J. World Poult. Res.* – 2023. – Vol. 13, № 1. – P. 41–47. <https://doi.org/10.36380/jwpr.2023.4>
18. Kenza B., Abdoulaye S., Ilham M., Rachid B., Fatima H., Omar K. (2021) The Screening of Potassium- and Phosphate-Solubilizing Actinobacteria and the Assessment of Their Ability to Promote Wheat Growth Parameters. *Microorganisms*, vol. 9, pp. 470. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030470>
19. Majumdar S., Chakraborty U. (2017) Optimization of Protease Production from Plant Growth Promoting Bacillus amyloliquefaciens Showing Antagonistic Activity Against Phytopathogens. *Int. J. Pharm. Bio Sci.*, vol. 8, pp. 635–642. <https://doi.org/10.22376/ijpbs.2017.8.2.b635-642>
20. Martinez M., Gómez-Cabellos S., Giménez M.J., Torres M., López A., et al. (2019) Plant Proteases From Key Enzymes in Germination to Allies for Fighting Human Gluten-Related Disorders. *Front. Plant Sci.*, vol. 10, pp. 721. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00721>
21. Morbia M., Pandey A., Mahla P., Gohil S. (2024) Isolation of α -Amylase Producing Microorganisms from Soil of Kachchh, Gujarat. *J. Pure Appl. Microbiol.*, vol. 18, pp. 1610–1619. <https://doi.org/10.22207/JPAM.18.3.10>
22. Ningtyas A.G.S., Irawan B., Setiawan W.A., Handayani K. (2025) Thermophilic Bacteria from Surface Layer of Compost Isolation and Characterization During the Processing Stage. *GSC Biol. Pharm. Sci.*, vol. 32, pp. 165–175. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2025.32.1.0276>
23. Oo K., Khai A.A., Kyaw E.P., Win T.T. (2021) Isolation and Screening of Multifunctional Plant Growth Promoting Rhizobacteria from Rhizosphere of Different Crop Fields. *J. Sci. Innov. Res.*, vol. 10, pp. 53–62. <https://doi.org/10.31254/jsir.2021.10205>
24. Pan L., Cai B. (2023) Phosphate-Solubilizing Bacteria Advances in Their Physiology, Molecular Mechanisms and Microbial Community Effects. *Microorganisms*, vol. 11, pp. 2904. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>
25. Patel J., Mistry S., Desai S., Patel S., Desai S. (2016) Isolation and Characterization of Lipase Producing Bacteria from Vegetable Oil Spillage Site. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, vol. 5, pp. 214–232. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.508.023>
26. Rawat P., Das S., Shankhdhar D., Shankhdhar S.C. (2021) Phosphate-Solubilizing Microorganisms Mechanism and Their Role in Phosphate Solubilization and Uptake. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, vol. 21, pp. 49–68. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00342-7>
27. Ramesh Ch.K., Richa S., Hena D., Som D., Arvind G. (2008) A Rapid and Easy Method for the Detection of Microbial Cellulases on Agar Plates Using Gram's Iodine. *Curr. Microbiol.*, vol. 57, pp. 503–507. <https://doi.org/10.1007/s00284-008-9276-8>
28. Saktharam V.S., Nekra V. (2011) Rhizobacteria Promoting Plant Growth A Critical Review. *Life Sci. Med.*, vol. 21, pp. 1–30. https://www.researchgate.net/publication/284340739_Plant_growth_promoting_rhizobacteria_a_critical_review
29. Shobade S.O., Nilsen-Hamilton M., Zabolina O.A. (2025) Plant Defense Proteins Recent Discoveries and Applications. *Plants*, vol. 14, pp. 2069. <https://doi.org/10.3390/plants14132069>
30. Siqueira J.G.W., Rodrigues C., Vandenberghe L.P. de S., et al. (2020) Current Advances in On-Site Cellulase Production and Application on Lignocellulosic Biomass Conversion to Biofuels A Review. *Biomass Bioenergy*, vol. 132, pp. 105419. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105419>

31. Sri P., Dwi A., Tirta K.D. (2023) The Screening of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Based on the Ability to Promote the Growth and Nodulation of Soybean (*Glycine max* L.) Seedlings. *J. Pure Appl. Microbiol.*, vol. 17, pp. 231–240. <https://doi.org/10.22207/JPAM.17.1.13>
32. Vaghela N., Gohel S. (2022) Medicinal Plant-Associated Rhizobacteria Enhance the Production of Pharmaceutically Important Bioactive Compounds Under Abiotic Stress Conditions. *J. Basic Microbiol.*, vol. 63, pp. 308–325. <https://doi.org/10.1002/jobm.202200361>
33. Yang P., Condric A., Scranton S., Hebner C., Lu L., Ali M.A. (2024) Utilizing Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) to Advance Sustainable Agriculture. *Bacteria*, vol. 3, pp. 434–451. <https://doi.org/10.3390/bacteria3040030>
34. Batykova Z., Pidlisnyuk V., Kistaubayeva A., Ust'ak S., Savitskaya I., Saidullayeva L., Mamirova A. Isolation and Screening of the Novel Multi-Trait Strains for Future Implications in Phytotechnology // *Microorganisms*. – 2025. – Vol. 13, № 8. – P. 1902. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13081902>

Авторлар туралы мәлімет:

Кистаубаева Аида Сериковна – б.ғ.к., қауымдастырылған профессор, «Биотехнология» кафедрасының меңгерушісі, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы қ, Қазақстан, электрондық пошта: kistaubayeva.kaznu@gmail.com)

Сайдуллаева Лайла Нуруллаевна – PhD студент, М.Әуезов атындағы ОҚУ (Шымкент, Қазақстан, электрондық пошта: leyla-87.87@mail.ru)

Батықова Жұлдыз Казбекқызы – PhD студент, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, электрондық пошта: batyqova@gmail.com)

Мамирова Айгерим Аманжоловна – PhD доктор, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, электрондық пошта: a.mamirova.95@gmail.com)

Аханов Усен Құдайбергенович – а.ш.ғ.к., доцент, М.Әуезов атындағы ОҚУ (Шымкент, Қазақстан, электрондық пошта: akhanov.1966@mail.ru)

Information about authors:

Kistaubayeva Aida Serikovna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Biotechnology, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, email: kistaubayeva.kaznu@gmail.com)

Saidullaeva Laila Nurullaevna – PhD student, M. Auezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan, e-mail: leyla-87.87@mail.ru)

Batykova Zhuldyz Kazbekyzy – PhD student at the Department of Biotechnology, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, email: batyqova@gmail.com)

Mamirova Aigerim Amanzholovna – PhD doctor at the Department of Biotechnology, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, email: a.mamirova.95@gmail.com)

Akhanov Ussen Kudaibergenovich – Candidate of Agricultural Sciences, docent, M. Auezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan, e-mail: akhanov.1966@mail.ru)

Сведения об авторах:

Кистаубаева Аида Сериковна – к. б. н., ассоциированный профессор, заведующая кафедрой биотехнологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: kistaubayeva.kaznu@gmail.com);

Сайдуллаева Лайла Нуруллаевна – PhD-докторант, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова (Шымкент, Казахстан, e-mail: leyla-87.87@mail.ru);

Батықова Жұлдыз Казбекқызы – PhD-докторант кафедры биотехнологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: batyqova@gmail.com);

Мамирова Айгерим Аманжоловна – PhD, кафедра биотехнологии, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: a.mamirova.95@gmail.com);

Аханов Усен Құдайбергенович – к. с.-х. н., доцент, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова (Шымкент, Казахстан, e-mail: akhanov.1966@mail.ru).

Келіп түсті 9 сәуір 2025 жыл
Қабылданды 20 тамыз 2025 жыл

5-бөлім
**АДАМ МЕН ЖАНУАРЛАР
ФИЗИОЛОГИЯСЫ**

Section 5
**HUMANS AND ANIMALS
PHYSIOLOGY**

Раздел 5
**ФИЗИОЛОГИЯ
ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ**

UDC 613.6

<https://doi.org/10.26577/bb2025104312>

A.A. Arystanbay^{ID*}, N.K. Smagulov^{ID},
G.M. Tykezhanova^{ID}

Karaganda National Research University named after Academician E.A. Buketov,
Karaganda, Kazakhstan

*e-mail: adilgazina-07@mail.ru

IMPACT OF EDUCATIONAL PROCESS FACTORS ON THE HEALTH OF TEACHERS OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Continuous changes are commonplace in modern society, and health issues, including the health of teachers, are becoming one of the most important. The complication of the conditions of professional and scientific work of teachers requires constant tension, which negatively affects their health, the indicators of which have been deteriorating recently. The purpose of the study was to assess the influence of the leading factors typical for the educational process on the health and morbidity of teachers of general educational institutions. As part of the study, data on the health status of teachers of general education institutions (GEI) were analyzed using the methods of sociological surveys and statistical analyses. The results showed that the most common diseases among teachers of GEI are diseases of the musculoskeletal system, diseases of the digestive system, respiratory system and cardiovascular system. The main cause of diseases, according to most teachers, is the specificity of their professional activities, which is associated with constant overstrain, overloads and traumatic factors. Occupational stress is also increasingly becoming a cause of psychosomatic diseases. It was revealed that teachers' health problems are associated with a low level of motivation and value attitude to their own health, as well as with insufficient awareness of risk factors and methods of prevention of occupational diseases. In conclusion, it was noted that further work is needed to develop social and medical prevention programs aimed at preserving the health of teachers and introducing them into the practice of general educational institutions.

Keywords: questionnaire survey, teachers of general educational institutions, factors affecting health, morbidity, stress, fatigue, prevention.

А.Ә. Арыстанбай*, Н.К. Смагулов, Г.М. Тыкежанова

Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті,
Қарағанды, Қазақстан

*e-mail: adilgazina-07@mail.ru

Жалпы білім беру мекемелеріндегі мұғалімдердің денсаулығына оқу процесі факторларының әсері

Заманауи қоғамда тұрақты өзгерістермен денсаулықты сақтау, оның ішінде мұғалімдер үшін де маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Кәсіби педагогикалық және ғылыми қызмет үшін жағдайлардың күрделене түсуі соңғы уақытта көрсеткіштері нашарлаған профессорлық-оқытушылық құрамның денсаулығына әсер ететін күш-жігерді үнемі арттыруды талап етеді. Жұмыстың мақсаты: жалпы білім беретін мекемелердегі мұғалімдердің денсаулық көрсеткіштеріне және сырқаттануына әсер ететін негізгі факторларды анықтау. Зерттеу объектісі – жалпы білім беру ұйымдарының мұғалімдері (ЖББ). Социологиялық сауалнама және статистикалық әдістер қолданылды. Сауалнама нәтижелері бойынша білім беру ұйымдарының мұғалімдері арасында нозология бойынша аурулар құрылымында тірек-қимыл аппаратының аурулары бірінші орынға шықты. Одан кейін ас қорыту мүшелерінің, тыныс алу мүшелерінің, жүрек-тамыр жүйесінің аурулары болды. Аурулардың негізгі себебі мұғалімдердің көпшілігі өздерінің кәсіби қызметінің ерекшеліктерін шамадан тыс жүктеме, психотравматикалық факторлармен, соның ішінде психосоматикалық аурулардың қоздырғыш факторлары ретінде әрекет ететін кәсіби стресстермен: невроз, ишемиялық және гипертониялық аурулар, асқазан-ішек жолдарының зақымдануы, эндокринопатиямен байланысты деп санайды. Мұғалімдердің денсаулығына қатысты проблемалар олардың денсаулығына, денсаулық мәдениеті мен салауатты өмір салтына мотивациялық-құндылық қатынасының төмен деңгейімен, қауіп факторлары мен кәсіптік аурулардың алдын алу жолдары туралы хабардар болуымен байланысты екендігі анықталды. Мұғалімдердің денсаулығын сақтау үшін әлеуметтік және медициналық-профилактикалық бағдарламаларды әзірлеуге және

енгізуге, білім беру мекемелерінің практикасында денсаулықты сақтаудың педагогикалық тәсілдерін іске асыруға көп көңіл бөлу қажет.

Түйін сөздер: сауалнама, жалпы білім беру мекемелерінің мұғалімдері, денсаулыққа әсер ететін факторлар, сырқаттанушылық, стресс, шаршау, алдын алу.

А.Ә. Арыстанбай*, Н.К. Смагулов, Г.М. Тыкежанова

Карагандинский национальный исследовательский университет им. академика

Е.А. Букетова, Караганды, Казахстан

*e-mail: adilgazina-07@mail.ru

Влияние факторов образовательного процесса на здоровье учителей общеобразовательных учреждений

В современном обществе с его постоянными трансформациями вопросы здоровьесбережения, в том числе и педагогов, стоят в ряду особо значимых. Усложнение условий профессиональной педагогической и научной деятельности требует постоянного повышенного напряжения сил, что сказывается на здоровье педагогических работников, показатели которого в последнее время ухудшаются. Цель работы: определить основные факторы, влияющие на показатели здоровья и заболеваемость учителей общеобразовательных учреждений. Объект исследования – учителя общеобразовательных учреждений (ООУ). Использовались методы социологического опроса, статистические методы. По результатам анкетирования в структуре заболеваний по нозологиям у учителей ООУ на первое место вышли болезни костно-мышечной системы. Далее шли по убывающей заболевания органов пищеварения, органов дыхания, сердечно-сосудистой системы. Главной причиной заболеваний большинство учителей считают специфику своей профессиональной деятельности, связанную с перенапряжением, перегрузками, психотравмирующими факторами, в том числе и профессиональные стрессы, которые все чаще выступают причинными факторами психосоматических заболеваний: неврозов, ишемической и гипертонической болезней, поражений желудочно-кишечного тракта, эндокринопатий. Выявлено, что проблемы со здоровьем у педагогов обусловлены низким уровнем мотивационно-ценностным отношением к своему здоровью, культуры здоровья и здорового образа жизни, осведомленностью о факторах риска и способах профилактики профессиональных заболеваний. Для сохранения здоровья педагогов необходимо уделять большое внимание разработке и внедрению социальных и медико-профилактических программ, реализации в практике образовательных учреждений педагогических подходов к здоровьесбережению.

Ключевые слова: анкетный опрос, учителя общеобразовательных учреждений, факторы, влияющие на здоровье, заболеваемость, стресс, утомление, профилактика.

Introduction

Pedagogical work plays a key role in shaping the student's personality and preparing him for life in society. This is a responsible activity that requires not only considerable time, but also emotional efforts. A modern teacher has to make non-standard decisions, switch abruptly and adapt to rapidly changing conditions, work in conditions of uncertainty, lack of time and an abundance of information [1].

Professional risk factors for the health of teachers [2] are the peculiarities of work, such as a high degree of responsibility, the length of working hours (including outside educational institutions), an intense load on assimilation, preservation and transmission of information, significant loads on the voice apparatus, as well as checking written works of students and preparing for lessons.

According to the manual R2.2.75599 [3], the teacher's work is characterized as overstressed, assessed by the third level of the third grade of nervous tension, especially in terms of intellectual and sensory loads [4]. Due to the intensive work schedule, physical and emotional stress, teachers often have health problems.

The professional health of a teacher, on the one hand, is the basis for successful work in a modern school, and on the other hand, it becomes a strategic problem of education [5]. This problem is especially relevant for teachers working in large industrial cities and in areas with high levels of anthropogenic pollution.

Of particular importance are the intense psychoemotional loads and stresses faced by teachers and which significantly affect their health [6, 7].

Psychoemotional stresses are increasingly becoming the cause of a number of psychosomatic

diseases (neuroses, coronary heart disease, diseases of the digestive system, diseases of the endocrine system and oncology) [8, 9].

Consequently, teachers can be classified as a high-professional risk group, which includes criteria such as academic workload, financial situation, social security, the level of their own health and medical activity [10]. To solve health problems, it is necessary to further study the features of teachers' professional activities, identify the leading factors characteristic of the educational process that can have a negative impact on the state of health.

The purpose of the work was to identify the main factors affecting the health indicators and morbidity of teachers of general educational institutions.

Materials and methods

The study involved 128 teachers of general education institutions of Astana city aged from 21 to 64 years.

The research design corresponded to a descriptive cross-sectional study.

The participants were divided into three age categories: group 1 – 26 teachers under 30 years old (average age – 26.2 ± 0.42 years, work experience – 4.8 ± 0.44 years); group 2 – 50 teachers from 30 to 45 years old (average age – 36.6 ± 0.636 years, work experience – 13.7 ± 0.758 age); group 3 – 52 teachers over 45 years old (average age – 54.3 ± 0.711 years, experience – 29.9 ± 1.105 years).

Inclusion criteria: – employment as a full-time teacher at a general education institution; – age 21–64 years; – work experience of at least 1 year; – absence of acute illnesses at the time of survey; – voluntary consent to participate.

Exclusion criteria: – severe chronic diseases in the stage of decompensation (cardiovascular, endocrine, respiratory, oncological); – current use of antihypertensive, psychotropic or hormone-modifying medications that may affect physiological indicators; – temporary disability (sick leave) at the time of survey; – refusal to participate.

Participation in the survey was anonymous and voluntary; therefore, no separate written consent was required, and the return of the questionnaire was regarded as signed informed consent to participate in the study and permission for data processing. The study was approved by the Local Bioethics Committee of the Non-Commercial Joint Stock Company

‘Karaganda Medical University’ (Protocol No. 17, dated October 22, 2024).

The assessment of medical and preventive activity and health status was carried out using a questionnaire survey [11]. The analysis of morbidity by nosological groups was performed using the WAI (Work Ability Index) questionnaires [12], which take into account the presence of diseases diagnosed by a physician. The number of steps was recorded with a Tanita AM–120 pedometer (Japan). Height and weight measurements were conducted, and the body mass index (BMI) was calculated using the standard formula: $\text{Body weight (kg)} / \text{Height} \times \text{Height (m)}$.

Statistical analysis of the research results was performed using the standard software package STATISTICA 10.0. The mean value of each variable, its standard error, and Student's t-criterion were calculated. For the statistical processing of percentage indicators, the proportion of individuals meeting a specific criterion relative to the total number in each group was determined, along with the percentage error. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

Results and discussion

The analysis of morbidity by nosological groups showed that the diseases of the musculoskeletal system came out in the first place among the teachers of GEI.

An analysis of the results of a questionnaire survey in age group 1 showed that diseases from the musculoskeletal system (Table. 1), identified by a doctor, were observed in $23 \pm 0.016\%$ of the surveyed teachers of general educational institutions, in two other groups (30–45 years old and over 45 years old), there was an increase to $46.94 \pm 0.01\%$ and $41.51 \pm 0.009\%$, respectively.

More than half of the respondents answered positively to the question «Have you ever experienced back or neck pain» (Table. 2), in addition, with age, there was an increase in positive responses from $73 \pm 0.017\%$ in age group 1 to $87.7 \pm 0.006\%$ in age group 2 and $90.5 \pm 0.005\%$ in age group 3.

Respondents in age group 1 indicated the cervical and lumbar spine to the question «In which part of the spine do you often feel pain?» (34.62% each). In age group 2, 28.57% respondents chose the cervical spine, 22.45% respondents chose the lumbar spine, in age group 3 – 32.08% and 37.74% , respectively (Fig. 2).

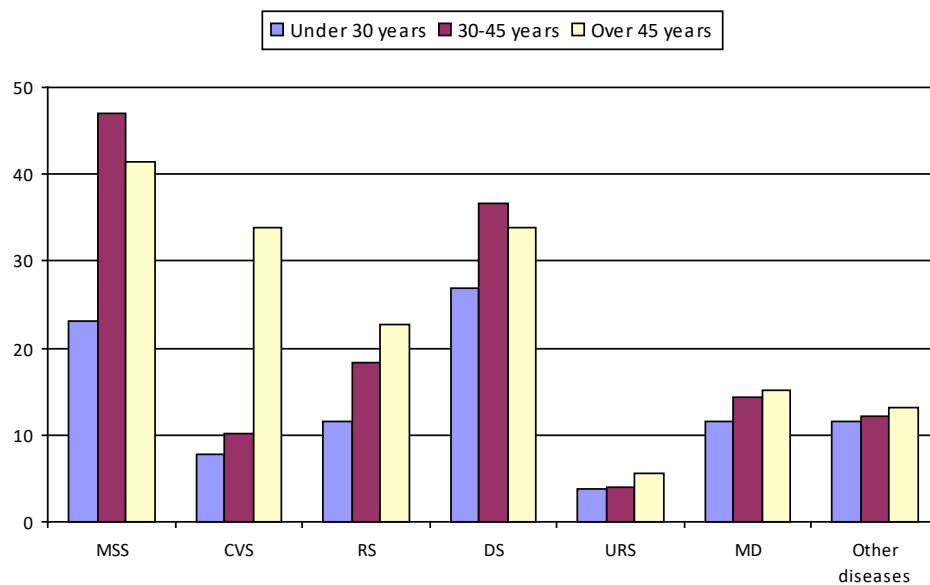


Figure 1 – The structure of morbidity among teachers of GEI

Note: MSS – diseases of the musculoskeletal system; CVS – diseases of the cardiovascular system;
 RS – diseases of the respiratory system; DS – diseases of the digestive system;
 URS – diseases of the urinary and reproductive system; MD – diseases associated with metabolic disorders.

Table 1 – Answers to the question «Have you ever felt back pain, neck pain?»

Age	Yes	No
Under 30 years	73 ± 0,017%	26,9 ± 0,017%
30-45 years	87,7 ± 0,006%	10,2 ± 0,006%
Over 45 years	90,5 ± 0,005%	9,4 ± 0,005%

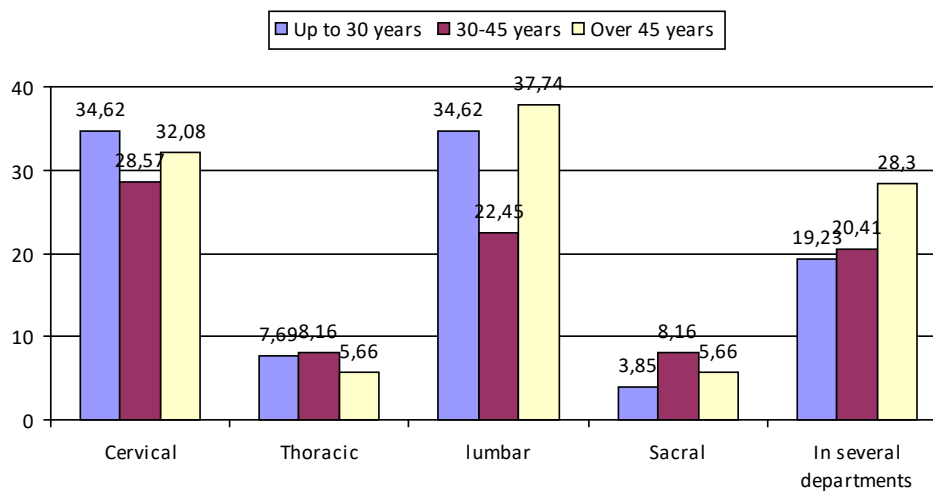


Figure 2 – Answers to the question «In which part of the spine do you often feel pain?»

According to the results of a questionnaire survey, the presence of diseases of the digestive system was also noted among teachers of GEI, an increase in the age aspect was recorded from $26.9 \pm 0.017\%$ in age group 1 to $36.7 \pm 0.009\%$ and $33.9 \pm 0.008\%$ in age groups 2 and 3, respectively.

To the question «Do you consider your diet to be rational?» (Table 2) 50% respondents in age group 1 answered negatively, $38.4 \pm 0.018\%$ – positively, $11.5 \pm 0.012\%$ respondents found it difficult to an-

swer. In age group 2, $42.8 \pm 0.01\%$ respondents answered this question negatively, $22.4 \pm 0.008\%$ – positively, $26.5 \pm 0.009\%$ respondents found it difficult to answer. In age group 3, $35.8 \pm 0.009\%$ respondents considered their diet irrational, $37.7 \pm 0.009\%$ – rational, $22.6 \pm 0.007\%$ respondents found it difficult to answer. Among the causes of irrational nutrition, the majority of respondents noted a violation of the diet ($53.8 \div 46.9\%$), monotonous diet ($13.2 \div 11.5\%$) and excess carbohydrates (sweets, pastries) ($23 \div 28.5\%$).

Table 2 – Answers to questions about nutrition

Age	Under 30 years	30-45 years	Over 45 years
1. Do you consider your diet to be rational?			
• Yes	$38,4 \pm 0,018\%$	$22,4 \pm 0,008\%$	$37,7 \pm 0,009\%$
• No	$50 \pm 0,019\%$	$42,8 \pm 0,01\%$	$35,8 \pm 0,009\%$
• I find it difficult to answer	$11,5 \pm 0,012\%$	$26,5 \pm 0,009\%$	$22,6 \pm 0,007\%$
2. The causes of irrational diet			
• Eating disorders	$53,8 \pm 0,019\%$	$46,9 \pm 0,01\%$	$33,9 \pm 0,008\%$
• Monotonous meals	$11,5 \pm 0,012\%$	$8,1 \pm 0,005\%$	$13,2 \pm 0,006\%$
• Excess carbohydrates	$23 \pm 0,016\%$	$28,5 \pm 0,009\%$	$13,2 \pm 0,006\%$
• Other	$3,8 \pm 0,007\%$	$4 \pm 0,004\%$	$11,3 \pm 0,005\%$

Calculations of BMI in age dynamics showed (Fig. 3a) that the «Excess» indicator was observed in $1,19.2 \pm 0.015\%$ teachers in age group 1, in 57.4% teachers in age group 2 and in $39.6 \pm 0.009\%$ teach-

ers in age group 3. The «Obesity» indicator was registered in $11.5 \pm 0.012\%$ teachers in age group 1, in $10.6 \pm 0.006\%$ teachers in age group 2 and in $32 \pm 0.008\%$ teachers in age group 3 (Fig. 3).

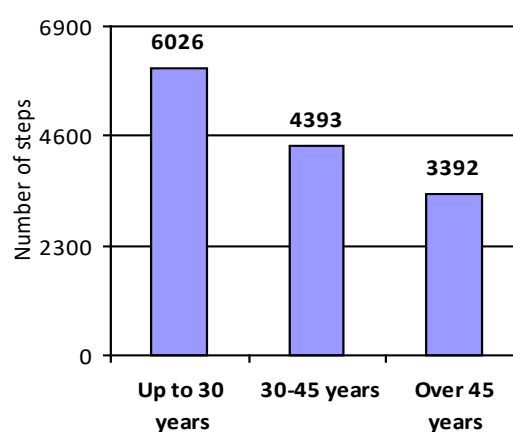
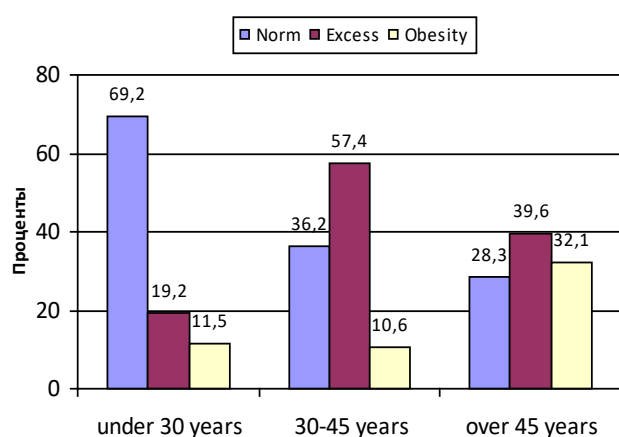


Figure 3 – Distribution of body mass index (a) and number of steps (b)

The number of steps per day (Fig. 3b) was 6026.3 ± 473.85 steps for teachers of age group 1, 4393.2 ± 165.82 steps for teachers of age group 2 and 3392.5 ± 170.59 steps for teachers of age group 3 ($p < 0.05$). At the same time, according to the questionnaire survey, the teachers of GEI had insufficient physical activity, especially in age groups 2 and 3 (Table 3). Thus, 53.8% respondents in age group 1 agreed that their physical activity is sufficient,

46.1% believe that their physical activity is insufficient. In age group 2, 28.5% respondents noted sufficient physical activity, 51% respondents replied that they lacked physical activity. In age group 3, 37.7% respondents chose the answer «Sufficient», and 45.2% respondents replied that they had insufficient physical activity. The answer «I find it difficult to answer» was chosen by 12.2-13.2% respondents in age groups 2 and 3.

Table 3 – Physical activity

Age	Sufficient	Insufficient	I find it difficult to answer
Under 30 years	$53,8 \pm 0,019\%$	$46,1 \pm 0,019\%$	$0 \pm 0\%$
30-45 years	$28,5 \pm 0,009\%$	$51 \pm 0,01\%$	$12,2 \pm 0,006\%$
Over 45 years	$37,7 \pm 0,009\%$	$45,2 \pm 0,009\%$	$13,2 \pm 0,006\%$

The results of the questionnaire on the identification of respiratory problems revealed an increase in the percentage of respondents with problems from $11.5 \pm 0.012\%$ in age group 1 to $22.6 \pm 0.007\%$ in age group 3 (Fig. 1).

The results of the questionnaire on the identification of problems with the cardiovascular system showed an increase in the percentage of respondents with cardiovascular problems from $7.6 \pm 0.01\%$ in age group 1 to $33.9 \pm 0.008\%$ in age group 2.

The following results were obtained to the question «Do you feel stress while working» (Table. 4): in age group 1, 42.3% respondents chose the answer

«Rarely», 38.4% chose the answer «Often», and 11.5% chose the answer «Constantly». In age group 2, 26.5% respondents chose the answer «Rarely», 34.6% chose the answer «Often», and 12.2% chose the answer «Constantly». In age group 3, 30.1% respondents chose the answer «Rarely», 26.4% chose the answer «Often», and 33.9% respondents did not feel stress.

When asked about specific factors that negatively affect health (Fig. 4), 26.5-28.3% respondents replied that they did not have enough time to rest, especially in age group 1 (50%), $40,8 \div 42,3\%$ respondents indicated production factors, $16,3 \div 24,5\%$ – external and $18,3 \div 24,5\%$ – inadequate sleep.

Table 4 – Answers to the question «Do you feel stress while working?»

Age	No	Rarely	Often	Constantly
Under 30 years	$7,6 \pm 0,01\%$	$42,3 \pm 0,019\%$	$38,4 \pm 0,018\%$	$11,5 \pm 0,012\%$
30-45 years	$18,3 \pm 0,007\%$	$26,5 \pm 0,009\%$	$34,6 \pm 0,009\%$	$12,2 \pm 0,006\%$
Over 45 years	$33,9 \pm 0,008\%$	$30,1 \pm 0,008\%$	$26,4 \pm 0,008\%$	$5,6 \pm 0,004\%$

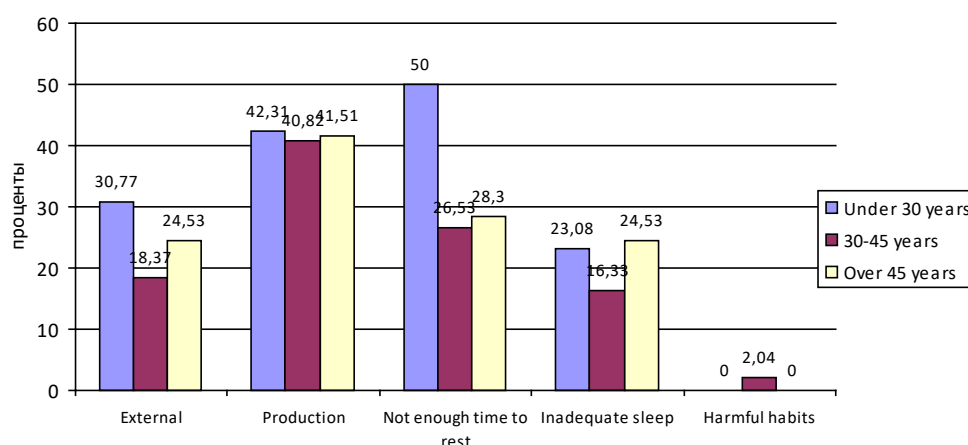


Figure 4 – Survey results on factors negatively affecting health

To the question «Do you take enough care of your health?» 19.2% of the surveyed teachers in age group 1 answered «Enough», 57.69% teachers chose the answer «I could care more» and 23.08% teachers chose the answer «Not enough» (Fig. 5). With age, the number of those teachers who believed that they cared «Enough» («Not enough») about health increased – from 22,4±0,008% (24,4±0,008%) in age group 2 to 28,3±0,008% (37,7±0,009%) in age group 3. On the contrary, the number of those teachers who considered «I could care more» decreased from 44.8±0.01% in age group 1 to 30.1±0.008% in age group 3.

To the question «Do acute illnesses force you to take a sick leave or a certificate of temporary disability?» the majority of the surveyed teachers of GEI answered «Yes, if the disease is serious» (Table 5). With age, the percentage of such responses decreases from 69.3±0.009% in age group 2 to 54.7±0.009% in age group 3. On the contrary, the percentage of those respondents who do not take sick leave increases – from 30.7±0.017% in age group 1 to 45.2±0.009% in age group 3.

Almost half of the respondents (46.15÷41.51%) answered «Rarely» to the question «How often do you visit a doctor?» (Fig. 6).

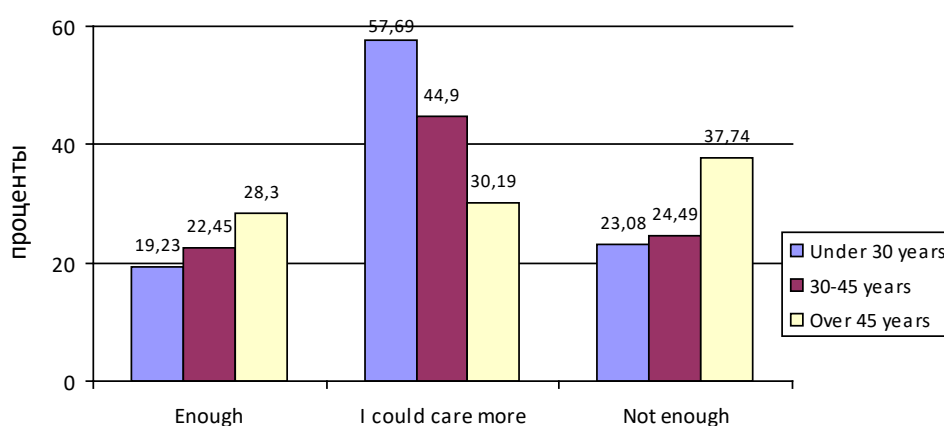
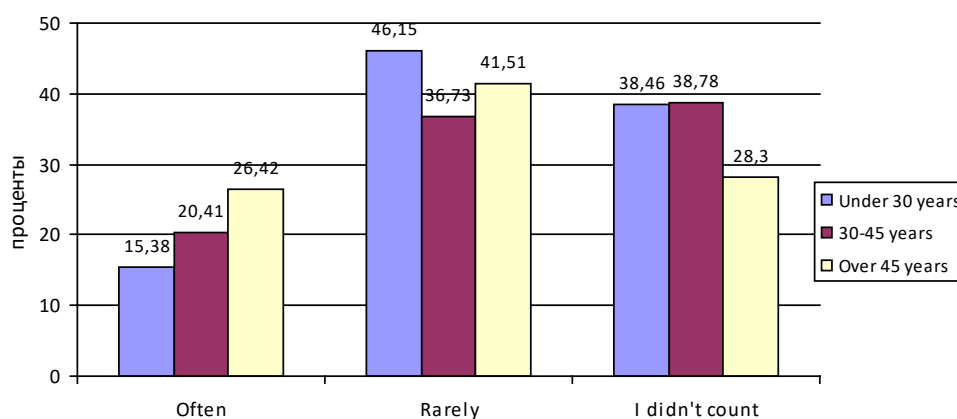


Figure 5 – Answers to the question «Do you take enough care of your health?»

Table 5 – Answers to the question «Do acute illnesses force you to take a sick leave or a certificate of temporary disability?»

Age	No	Yes, if the disease is serious	Constantly
Under 30 years	30,7 ± 0,017%	65,3 ± 0,018%	3,8 ± 0,007%
30-45 years	26,5 ± 0,009%	69,3 ± 0,009%	0 ± 0%
Over 45 years	45,2 ± 0,009%	54,7 ± 0,009%	1,8 ± 0,002%

**Figure 6** – «How often do you visit a doctor?»

In age group 1, according to the results of the questionnaire, 26.9±0.017% respondents indicated preventive examination as the reason for visit to a doctor, 30.7±0.017% respondents – poor health and acute illness occurrence, 15.3±0.013% respondents – exacerbation of chronic diseases. In age group 2, 18.3±0.007% respondents indicated preventive examination as the reason for visit to the doctor, 34.6±0.009% – poor health,

18.3±0.007% – exacerbation of chronic diseases, 22.4±0.008% – acute illness occurrence. The highest rate was recorded in age group 3 (32±0.008%). This means that teachers of this group regularly go for routine checkups. Poor health and acute illness occurrence were chosen by 24.5±0.008% respondents as the reason for visit to the doctor, exacerbation of chronic diseases – 18.8±0.007% teachers (Table 6).

Table 6 – Reasons for visit a doctor

Age	Preventive examination	Poor health	Exacerbation of chronic diseases	Acute illness occurrence
Under 30 years	26,9 ± 0,017%	30,7 ± 0,017%	15,3 ± 0,013%	30,7 ± 0,017%
30-45 years	18,3 ± 0,007%	34,6 ± 0,009%	18,3 ± 0,007%	22,4 ± 0,008%
Over 45 years	32 ± 0,008%	24,5 ± 0,008%	18,8 ± 0,007%	24,5 ± 0,008%

Teachers' professional performance is closely related to the functional state of the body and the level of physical fitness, as pronounced functional strain refers to a state of increased physiological load characterized by the depletion of adaptive reserves, reduced work capacity, and greater fatigue resulting from prolonged psycho-emotional and

physical stress. A decrease in these parameters leads to poor health, decreased performance and increased fatigue. In recent years, numerous studies [13, 14] indicate extremely low indicators of physical and mental health of teachers. These indicators decrease with service length increasing [15]. Constant over-exertion can lead to the development of somatic

diseases such as stomach ulcers, coronary heart disease, diabetes mellitus and hypertension. According to the data, most teachers have all the listed risk factors after fifteen years of professional activity [16]. Older age, in particular the age over 45, is associated with the highest incidence [10].

The teaching profession ranks first in terms of tension and the presence of harmful factors in the workplace [16]. Among these factors are physical exertions, emotional stress, and a high degree of sensory stress on the organs of vision and hearing, as well as an intense load on the speech apparatus. Physical activity includes both kinetic and static loads on the musculoskeletal system and the cardiovascular system. Teachers whose work is related to mental often lead a sedentary lifestyle, which contributes to an increase in the incidence of diseases of the musculoskeletal system.

The results of a questionnaire survey of teachers of general education institutions showed that diseases of the musculoskeletal system occupy the first place among other diseases. In recent years, there has been a significant increase in the number of diseases of this group. Studies show that up to 60% of the adult population of our country suffers from structural and functional disorders of the musculoskeletal system. This is due to insufficient physical activity, eating and rest disorders, psychological stress and other factors [17, 18]. This phenomenon is not uncommon, including among teaching staff. In teachers, diseases of the musculoskeletal system, in particular structural and functional disorders of the spine are often associated with physical inactivity [19]. Studies also show that from 12 to 23% teachers involved in the educational process suffer from diseases of the musculoskeletal system [20, 21].

Osteochondrosis is a dystrophic degenerative change in the intervertebral discs. The majority of the world's population (35÷80%) suffer from this disease. According to recent studies, many diseases that are closely related to the musculoskeletal system and connective tissue are also often associated with osteochondrosis.

To the question «Have you ever felt back pain, neck pain?», more than 50% of the surveyed teachers answered positively, and with age, the percentage of positive responses increased from $73.0 \pm 0.017\%$ to $90.5 \pm 0.005\%$.

The modern lifestyle is characterized by insufficient physical activity and lack of mobility [23, 24]. This factor leads to a violation of blood circulation and nutrition in the paravertebral muscles, a decrease in their functional activity and, ultimately, to their atrophy.

The respondents chose mainly the cervical and lumbar spine as the answer to the question «In which part of the spine do you often feel pain?». In age group 1, 34.62% respondents indicated pain in the cervical and lumbar spine. In age group 2, 28.57% teachers chose the cervical spine, and 22.45% chose the lumbar spine. In age group 3, the index of cervical spine was 32.08%, and the index of lumbar spine was 37.74%. To date, osteochondrosis of the cervical spine is a widespread disease and has social significance [25]. Approximately 40% cases of all neurological and orthopedic diseases are attributed to this disease. Many researchers believe that one of the likely causes of the development of early osteochondrosis in young people is the general urbanization of the population, which contributes to a sedentary lifestyle and prolonged stay in an uncomfortable position (for example, at a computer or in class) [24].

A stressful professional environment can lead to the development of various chronic occupational diseases affecting the integrative life support systems of the body, including the digestive system [14, 15].

According to the results of the questionnaire, the teachers of GEI also noted the presence of diseases of the digestive system (from $26.9 \pm 0.017\%$ to $36.7 \pm 0.009\%$). Analyzing the age characteristics according to data [16], it was found that diseases of the digestive system are most common among teachers under the age of 45. Diseases of the digestive system can be a consequence of both mental stress and work stress in the workplace, as well as eating disorders, which are often found in the implementation of pedagogical activities.

The percentage ratio between the answers «Yes/No» to the question «Do you consider your diet to be rational?» was 38.4/50.0 in age group 1, index was 22,4/42,8 in age group 2 and 37,7/35,8 in age group 3. Among the reasons of irrational diet, the majority of respondents noted a violation of the regime nutrition (53.8÷46.9%), monotonous diet (13.2-11.5%) and excess carbohydrates (sweets, pastries) (23÷28.5%), which may be the result of fast snacks in between classes. In the study [10], only 17.5% of the surveyed teachers have a normal and regular diet. 31.7% of the respondents try to maintain a normal time regime, which is not always possible due to the peculiarities of the educational process. The rest (27.5%) eat according to the principle of «as it turns out».

Due to eating disorders, diseases associated with metabolic disorders develop in teachers. According to the results of the questionnaire survey, the highest

indicator was observed among teachers of age group 3 – $15 \pm 0.006\%$, in age group 2 – $14.2 \pm 0.007\%$. The lowest indicator was registered in the age group 1 and amounted to $11.5 \pm 0.012\%$.

Among the main risk factors affecting the health of teachers, many respondents note that among the causes of morbidity among teachers there are physical inactivity and orthostatic loads. An analysis of the factors influencing morbidity [5] showed that about 70% of the surveyed teachers noted a certain specificity of professional activity – low physical activity. In addition, more than 60.8% of the surveyed teachers note a sedentary lifestyle characterized by spending their free time in front of the TV, books reading or computer related activities. L. Ye. Nadeina notes in her research that teachers spend a lot of time on their feet during classroom and classroom activities, which is combined with insufficient physical activity [14].

The results of counting the number of steps taken by the teachers of GEI per day showed 6026.3 ± 473.85 steps per day in age group 1, in age group 2 – 4393.2 ± 165.82 steps, in age group 3 – 3392.5 ± 170.59 steps. The reason for the low number of steps per day is not only diseases of the musculoskeletal system, but also BMI increase.

Respiratory diseases are one of the urgent problems of modern medicine, as they affect the quality of life and social functioning. According to M.S. Mikerova [27], the incidence of respiratory diseases among teachers was 36.0 per 100 respondents. This type of pathology is one of the most common due to the peculiarities of teaching, including a significant strain on the vocal cords. Chronic bronchitis (18.1%), chronic pharyngitis (17.1%), chronic tonsillitis (15.1%) and chronic laryngitis (9.7%) are most often registered [28].

The results of the questionnaire on the identification of respiratory problems showed an increase in the percentage of respondents with problems from $11.5 \pm 0.012\%$ in age group 1 to $22.6 \pm 0.007\%$ in age group 3.

Eating disorders and physical inactivity often lead to an increase in body weight. Thus, BMI calculations in age dynamics showed that the «Norm» criterion decreased from $69.2 \pm 0.017\%$ in age group 1 to $28.3 \pm 0.008\%$ in age group 3, while the sum of the criteria «Excess» and «Obesity» increased from 30.7 to 71.6%. These results are consistent with the data of P.M. Abdurakhimova's study [9], according to which, the majority of the studied teachers were overweight (54.2%) and obese I and II degrees (19.2%).

Teachers experience significant emotional stress associated with intense psycho-emotional stress. They spend most of their working time in a state of high tension: they need to constantly concentrate, face emotionally intense work, and be responsible for the lives and health of children. In addition, the lack of a stable work and rest schedule, constant overwork and changes in the schedule of classes [16] enhance this effect. Constant stress leads to the development of a number of somatic diseases, including diseases of the cardiovascular system, such as coronary heart disease, hypertension and others.

The results of the survey on the detection of diseases of the cardiovascular system showed an increase in the percentage of respondents with this problem from $7.6 \pm 0.01\%$ in age group 1 to $33.9 \pm 0.008\%$ in age group 3. Diseases of the circulatory system are mainly manifested in teachers by such nosologies as coronary heart disease (up to 8.9% of all cases), hypertensive heart disease (up to 11.4%), cerebral circulatory disorders (up to 8.1%) [29].

The cause of problems with the cardiovascular system, in addition to the above, is stress [30].

This is confirmed by the results of a questionnaire survey, where the question «Do you feel stress while working?». The following responses were received: in age group 1, 42.3% respondents chose the answer «Rarely», 38.4% respondents chose the answer «Often», and 11.5% teachers chose the answer «Constantly». In age group 2, 26.5% respondents answered «Rarely», 34.6% – «Often», 12.2% – «Constantly». In age group 3, 30.1% respondents preferred the answer «Rarely», 26.4% – «Often», 33.9% respondents replied that they do not feel stress. The analysis of stress factors in modern teachers allowed identifying the main causes of psychological stress in the pedagogical sphere; these are information load, uncertainty in information, a sense of responsibility, lack of time, interpersonal and intrapersonal conflicts [1]. The information load is one of the most characteristic features of pedagogical work. The amount of information that needs to be processed often exceeds the mental capabilities of teachers. This high cognitive load becomes a powerful source of stress, increasing tension [1]. The lack of time is associated with constant pressure on time. This is due not only to the numerous tasks and functions that need to be performed, but also to the strict time constraints in which the teacher must work [1].

When asked about specific factors negatively affecting health, $26.5 \div 28.3\%$ respondents replied that they did not have enough time to rest, especially in age group 1 (50%), $40.8 \div 42.3\%$ teachers pointed to

production factors, $16.3 \div 24.5\%$ – to external factors and $18.3 \div 24.5\%$ – to inadequate sleep.

The main cause of diseases in 87.5% of teachers is the peculiarities of professional activity due to the presence of high voltage, overloads and stressful situations at work [10]. The results of the survey [10] also show that 28.3% (34) respondents consider themselves practically healthy and assess their health as good, 59.2% (71) consider it satisfactory, and 12.5% (15) consider it bad. However, according to the survey [31], 68% respondents consider themselves healthy, while medical examinations show that only 20.9% teaching staff are practically healthy. This is largely due to the fact that many teachers do not consider myopia as pathology, although it accounts for 33.3% of the total morbidity of teaching staff.

Analysis of the answers to the question «Do you take enough care of your health?» showed that in the age group 1, almost 20% of the surveyed teachers take care of their health «Enough» and «Not enough», and more than half of the respondents answered «I could care more». With age, there was an increase in the number of «Enough» («Not enough») responses, and a decrease in those who believed that they could care more.

Data on the attendance of teachers in medical institutions can serve as an indicator of their state of health, on the one hand, and the level of organization of medical care for this contingent, on the other.

It should not be forgotten that in most cases, the morbidity of teachers due to unaccounted cases is latent, i.e. hidden, which makes it difficult to obtain reliable results [21]. Annual preventive medical examinations of teachers reveal 3-3.5 times more diseases than registered in medical records. This is due to the extremely low attendance of teachers at medical institutions for registration of disability certificates, which is confirmed by the results of a sociological survey.

The majority of the surveyed teachers answered «Yes, if the disease is serious» to the question «Do acute illnesses force you to take a sick leave or a certificate of temporary disability?». With age the percentage of such answers decreases from $69.3 \pm 0.009\%$ to $54.7 \pm 0.009\%$. On the contrary, the percentage of respondents who do not take sick leave increases with age from $30.7 \pm 0.017\%$ to $45.2 \pm 0.009\%$. Usually, disability certificates are issued by teachers with up to 20 years of work experience. With more than 20 years of experience, teachers, especially women, more often continue to work, suffering illnesses «on their feet» [1]. The work of teachers, despite the existing standards, is not nor-

malized, and therefore teachers practically do not have time to go to the doctor. Similar results were obtained by M.S. Mikerova [27]. According to her, 14.2% of teachers do not feel the need for a disability certificate, which may be due to the schedule of classes or the possibility of colleagues replacing an absent teacher, 10.1% do not go to the doctor because of «distrust of doctors in clinic».

An equally important aspect in the context of teachers' health is their insufficient motivational and value attitude to their own health, a low level of healthy culture and lifestyle, as well as insufficient awareness of risk factors and methods of preventing occupational diseases [32]. Almost half of the respondents answered rarely ($46.15 \div 41.51\%$) to the question «How often do you visit a doctor?».

Teachers have different reasons for visit a doctor. The results of the questionnaire showed that in age group 1 $26.9 \pm 0.017\%$ respondents go for a preventive examination, in age group 2 – $18.3 \pm 0.007\%$, in age group 3 – $32 \pm 0.008\%$. Poor health and the occurrence of acute illness were chosen by $24.5 \div 34.6\%$ respondents as reasons for going to the doctor, and exacerbation of chronic diseases – $15.3 \div 18.8\%$.

The subjective assessments received from teachers confirm the information revealed during preventive medical examinations, where there was a predominance of diseases from the circulatory and respiratory organs, musculoskeletal and digestive systems, and others. However, the authors note significant differences between subjective assessments of teachers' health status and actual morbidity, which, in their opinion, indicates an unsatisfactory quality of medical examinations. This is confirmed by the dissatisfaction of teachers (24%) with the organization of medical examinations, including insufficient attention from doctors and long queues at the polyclinic.

The teaching staff often does not show a sufficient level of medical responsibility, that is, control over their health, and often does not have stress management skills.

According to [16], in modern conditions, the professional activity of teachers negatively affects their health: 60% teachers constantly experience psychological discomfort, 85% teachers are in a constant state of stress, and work negatively affects family relationships of 85% female teachers, which leads to diseases of the nervous system in 1/3 of teachers. According to L.E. Nadeina [14], only 10.4% teachers are within the functional norm. Primary prevention plays a key role in maintaining the health of teachers, which is closely related to their lifestyle. Understanding the characteristics of nutrition, phys-

ical activity and attitudes towards bad habits helps to develop specific preventive measures.

Conclusion

According to the results of the survey, musculoskeletal diseases were in the first place in the structure of diseases among teachers of educational institutions. They were followed by decreasing diseases of the digestive system, respiratory organs, and cardiovascular system. Most teachers associate the causes of their illnesses with the characteristics of their professional activities, such as overstrain, excessive stress and psychological trauma.

Psychoemotional stresses are increasingly contributing to the growth of psychosomatic diseases (neuroses, ischemic and hypertensive heart disease, as well as diseases of the digestive system and endocrine disorders).

Teachers' health problems are caused by insufficient motivational and value-based attitude to their own health, a low level of health culture and a healthy lifestyle, as well as limited knowledge about risk factors and methods of occupational diseases preventing. Further work is needed to develop social and medical prevention programs aimed at preserving the health of teachers and introducing them into the practice of educational institutions.

References

1. Бацукова Н.Л., Борщенская Т.И. Гигиенические аспекты труда преподавателей в системе высшей школы // Современные аспекты здоровьесбережения: сб. материалов юбил. науч.-практ. конф. с междунар.участием (23-24 мая 2019). – Минск, 2019. – С. 533-543.
2. Ростовцева М.В., Хохрина З.В. Социальная адаптация: философские основания исследования // Философия и культура. – 2017. – № 5. – С. 89-97.
3. Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. Руководство р 2.2.755-99.
4. Рыжов А.Я., Комин С.В., Копкарева О.О. Физиолого-гигиеническая характеристика труда преподавателей вуза // Мед. труда и пром. Экол. – 2005. – № 10. – С. 36-40.
5. Antoniou I. A., Ploumpi A., Ntalla M. Occupational Stress and Professional Burnout in Teachers of Primary and Secondary Education: The Role of Coping Strategies // Psychology. – 2013. – Vol. 4. – № 3A. – P. 349-355.
6. Agyapong B., Obuobi-Donkor G., Burbach L., Wei Y. Stress, Burnout, Anxiety and Depression among Teachers: A Scoping Review // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2022. – № 19. – P. 10706.
7. Gluschkoff K., Elovainio M., Kinnunen U., Mullola S., Hintsanen M., Keltikangas-Järvinen L., Hintsanen T. Work stress, poor recovery and burnout in teachers // Occupational Medicine. – 2016. – № 66. – P. 564–570.
8. Lucas-Mangas S., Valdivieso-León L., Espinoza-Díaz I.M., Tous-Pallarés J. Emotional Intelligence, Psychological Well-Being and Burnout of Active and In-Training Teachers // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2022. – № 19. – P. 3514.
9. Абдурахимова П.М. Анализ показателей здоровья учителей общеобразовательных учреждений // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 12 (114). – С. 143-145.
10. Анкета для оценки профилактической, медицинской активности и самооценки собственного здоровья граждан Забайкальского края. Available at: <https://anketa-dlya-ocenki-profilakticheskoy.testograf.ru/>
11. Juhani I. The Work Ability Index (WAI) // Occupational Medicine. – 2007. – № 57. – P. 160.
12. Бутяева В.В., Омельченко О.Л., Беликова Е.А., Щербачева С.А. Физиологическая диагностика резервов кардиореспираторной системы учителей // Вестник Здоровье и образование в XXI веке. – 2014. – № 2. – С. 16-17.
13. Багнетова Е.А., Шарифуллина Е.Р. Профессиональные риски педагогической среды // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1-1. – С. 27-31.
14. Надеина Л.Е. Анализ профессиональной заболеваемости педагогов // Вестник Донецкого педагогического института. – 2018. – № 2. – С. 134-140.
15. Каменев Ю.Ф. Боль в пояснице при остеохондрозе позвоночника. – Петрозаводск: “Интел. Тек”, 2004. – 99 с.
16. Суханов А.И. Теория и практика управления физическим состоянием человека на основе комплексных физкультурно-оздоровительных коррекций: Дис. ... докт. Пед. Наук. 13.00.04. – СПб., 2002. – 351 с.
17. Ермакушева Е.Т. Комплексное воздействие на физическое и психическое состояние женщин-преподавателей, имеющих заболевания позвоночника // Ученые записки. – 2009. – № 2 (48). – С.19-24.
18. Османов Э.М., Кораблев Ю.Ю. Проблема гиподинамического режима работы преподавателей вуза // Вестник ТГУ. – 2007. – Т.12, Вып.3. – С. 355-356.
19. Лисняк М.А., Горбач Н.А. Современное состояние психического здоровья ППС состава вузов // Профилактическая и клиническая медицина. – 2012. – № 1 (42). – С. 58—64.
20. Яковенко Д.В. Методика комплексного воздействия при профилактике остеохондроза у молодежи // Современные проблемы науки и образования. – 2007. – № 5 – С. 72-82.
21. Бурмистров Д.А. Силовая тренировка при болевом синдроме в спине: Учебно-методическое пособие. – СПб, 2003. – 63 с.

22. Егорова Н.С. Методика укрепления мышечного корсета больных остеохондрозом // Материалы совместной научной конференции профессорско-преподавательского и научного состав МГАФК, РГАФК, ВНИИФК. – Малаховка, МГАФК, 2002. – С. 258-262.
23. Пягай Л.П., Сумина В.В. Анализ эффективности самостоятельных занятий физическими упражнениями у студентов, имеющих остеохондроз шейного отдела позвоночника // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – № 6. – С. 33.
24. Орлов М.А., Дорфман И.П., Орлова Е.А. Остеохондроз позвоночника – спорные и нерешенные вопросы диагностики, лечения, реабилитации // РМЖ. – 2015. – № 82. – С. 1669-1672.
25. Жуков О.Ф., Россошанская Н.С. Профессиональное здоровье учителя // Ученые записки университета Лесгафта. – 2011. – № 3. – С. 75-78.
26. Белоусова Н.А., Мальцев В.П. Здоровье учителей общеобразовательных организаций как социальная проблема качества современного школьного образования // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 6. – С. 96-100.
27. Микерова М.С. Обращаемость за лечебно-профилактической помощью преподавателей вузов // Образовательный вестник «Сознание». – 2006. – № 11.
28. Русских А.Н., Андрейчиков А.В., Макаров А.Ф. Атипичные формы расположения червеобразного отростка: анатомо-топографическое обоснование // Сибирское медицинское обозрение. – 2012. – № 2. – С. 30-33.
29. Ахмадалиева Н.О., Саломова Ф.И., Садуллаева Х.А., Шарипова С.А., Хабибуллаев С.Ш. Заболеваемость преподавательского состава вуза технического профиля // Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2021. – № 1(10). – С. 860-871.
30. Кудрина Л.А. Профессиональные заболевания педагогов и их профилактика // «Молодой учёный». – 2022. – № 13.1(408.1). – С. 16-18.
31. Akhmadaliev N., Salomona F., Nigmatullaeva D., et.al. Comparative self-assessment of the teachers' health of higher education institutions of the republic of Uzbekistan // International Journal of Advanced Science and Technology. – 2020. – Vol. 29. – № 5. pp. 1352-1355.
32. Будаев С.Д. К проблеме сохранения и укрепления здоровья населения // Вестник БГУ. – 2009. – № 12. – С. 32-36.

References

1. Batsukova N.L., Borshchenskaya T.I. (2019). Gigienicheskie aspekty truda prepodavatelei v sisteme vysshei shkoly [Hygienic aspects of the work of teachers in the higher education system]. *Sovremennye aspekty zdorovesberezheniya: sb. materialov yubil. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem* (23-24 maya 2019) (pp. 533-543). Minsk.
2. Rostovtseva M.V., Khokhrina Z.V. (2017). Socialnaya adaptatsiia: filosofskie osnovaniia issledovaniia [Social adaptation: philosophical foundations of research]. *Filosofiia i kultura*, 5, 89-97.
3. Gigienicheskie kriterii otsenki i klassifikatsiia uslovii truda po pokazateliam vrednosti i opasnosti faktorov proizvodstvennoi sredy, tiazhesti i napriazhennosti trudovogo processa. *Rukovodstvo r 2.2.755-99*. [Hygienic assessment criteria and classification of working conditions according to indicators of harmfulness and danger of factors in the working environment, severity and intensity of the labor process. *Rukovodstvo P 2.2.755-99*.]
4. Ryzhov A.Ya., Komin S.V., Kopkareva O.O. (2005). Fiziologo-gigienicheskaia karakteristika truda prepodavatelei vuza [Physiological and hygienic characteristics of the work of university teachers]. *Med. truda i prom. ekol.*, 10, 36-40.
5. Antoniou A., Ploumpi A., Ntalla M. (2013). Occupational Stress and Professional Burnout in Teachers of Primary and Secondary Education: The Role of Coping Strategies. *Psychology*, 4, 3A, 349-355.
6. Agyapong B., Obuobi-Donkor G., Burbach L., Wei Y. (2022). Stress, Burnout, Anxiety and Depression among Teachers: A Scoping Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19, 10706.
7. Gluschkoff K., Elovainio M., Kinnunen U., Mullola S., Hintsanen M., Keltikangas-Järvinen L., Hints T. (2016). Work stress, poor recovery and burnout in teachers. *Occupational Medicine*, 66, 564-570.
8. Lucas-Mangas S., Valdivieso-León L., Espinoza-Díaz I.M., Tous-Pallarés J. (2022). Emotional Intelligence, Psychological Well-Being and Burnout of Active and In-Training Teachers. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19, 3514.
9. Abdurahimova P.M., Paveleva E.A., Yamanova G.A. (2021). Analiz pokazatelei zdorovia uchitelei obshcheobrazovatelnykh uchrezhdenii [Analysis of health indicators of teachers in general education institutions]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 12 (114), 143-145.
10. Anketa dlia otsenki profilakticheskoi, medicinskoi aktivnosti i samootsenki sobstvennogo zdorovia grazhdan Zabaikalskogo kraia [Questionnaire for assessing preventive, medical activity and self-assessment of their own health of citizens of the Trans-Baikal Territory]. Available at: <https://anketa-dlya-ocenki-profilakticheskoi-testograf.ru/>
11. Juhani I. (2007). The Work Ability Index (WAI). *Occupational Medicine*, 57, 160.
12. Butiaeva V.V., Omelchenko O.L., Belikova E.A., Shcherbacheva S.A. (2014). Fiziologicheskaya diagnostika rezervov kardio-respiratornoi sistemy uchitelei [Physiological diagnostics of reserves of the cardiorespiratory system of teachers]. *Vestnik Zdorove i obrazovanie v XXI veke*, 2, 16-17.
13. Bagnetova E.A., Sharifullina E.R. (2013). Professionalnye riski pedagogicheskoi sredy [Professional risks of the teaching environment]. *Fundamentalnye issledovaniia*, 1-1, 27-31.
14. Nadeina L.E. (2018). Analiz professionalnoi zabolevaemosti pedagogov [Analysis of professional morbidity among teachers]. *Vestnik Donetskogo pedagogicheskogo instituta*, 2, 134-140.

15. Kamenev Yu.F. (2004). Bol v poiasnitse pri osteohondroze pozvonochnik [Low back pain due to spinal osteochondrosis]. Petrozavodsk: "Intel. Tekh".
16. Sukhanov A.I. (2002). Teoriia i praktika upravleniia fizicheskim sostoianiem cheloveka na osnove kompleksnykh fizkulturno-ozdorovitelnykh korektsii [Theory and practice of managing a person's physical condition based on comprehensive physical education and health corrections]. Doctor's thesis. Saint Petersburg.
17. Ermukasheva E.T. (2009). Kompleksnoe vozdeistvie na fizicheskoe i psikhicheskoe sostoianie zhenshchin-prepodavatelei, imeyushchikh zabolevaniia pozvonochnika [Complex impact on the physical and mental state of female teachers with spinal diseases]. Uchenye zapiski, 2 (48), 19-24.
18. Osmanov E.M., Korablev Yu.Yu. (2007). Problema gipodinamicheskogo rezhima raboty prepodavatelei vuza [The problem of the hypodynamic work regime of university teachers]. Vestnik TGU, 12, 3, 355-356.
19. Lisniak M.A., Gorbach N.A. (2012). Sovremennoe sostoyanie psichicheskogo zdorovia PPS sostava vuzov [The current state of mental health of university teaching staff]. Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina, 1 (42), 58—64.
20. Yakovenko D.V. (2007). Metodika kompleksnogo vozdeistviia pri profilaktike osteohondroza u molodezhi [Methodology of complex effects in the prevention of osteochondrosis in young people]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia, 5, 72-82.
21. Burmistrov D.A. (2003). Silovaya trenirovka pri bolevom sindrome v spine: Uchebno-metodicheskoe posobie [Strength training for back pain: Uchebno-metodicheskoe posobie]. Saint Petersburg.
22. Egorova N.S. (2002). Metodika ukrepleniia myshechnogo korseta bolnykh osteohondrozom [Methods for strengthening the muscle corset of patients with osteochondrosis]. Materialy sovmestnoi nauchnoi konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo i nauchnogo sostav MGAFK, RGAFK, VNIIFK (pp. 258-262). Malahovka, MGAFK.
23. Pyagai L.P., Sumina V.V. (2021). Analiz effektivnosti samostoyatelnykh zanyatii fizicheskimi uprazhneniyami u studentov, imeyushchikh osteohondroz sheinogo otdela pozvonochnika [Analysis of the effectiveness of independent physical exercises in students with osteochondrosis of the cervical spine]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia, 6, 33.
24. Orlov M.A., Dorfman I.P., Orlova E.A. (2015). Osteohondroz pozvonochnika – spornye i nereshennyye voprosy diagnostiki, lecheniia, reabilitatsii [Spinal osteochondrosis – controversial and unresolved issues of diagnosis, treatment, rehabilitation]. RMZH, 82, 1669-1672.
25. Zhukov O.F., Rossoshanskaya N.S. (2011). Professionalnoe zdorove uchitel'ia [Teacher's professional health]. Uchenye zapiski universiteta Lesgafta, 3, 75-78.
26. Belousova N.A., Malcev V.P. (2016). Zdorove uchitelei obshcheobrazovatelnykh organizatsii kak sotsialnaya problema kachestva sovremennogo shkol'nogo obrazovaniia [The health of teachers of general education organizations as a social problem of the quality of modern school education]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia, 6, 96-100.
27. Mikerova M.S. (2006). Obrashchaemost' za lechenno-profilakticheskoiu pomoshch'yu prepodavatelei vuzov [Request for treatment and preventive assistance by university teachers]. Obrazovatel'nyi vestnik «Soznanie», 11.
28. Russkikh A.N., Andreichikov A.V., Makarov A.F. (2012). Atipicheskie formy raspolozheniia cherveobraznogo otrostka: anatomo-topograficheskoe obosnovanie [Atypical forms of location of the appendix: anatomical and topographical justification]. Sibirskoe meditsinskoe obozrenie, 2, 30-33.
29. Akhmadaliev N.O., Salomova F.I., Sadullaeva H.A., Sharipova S.A., Habibullaev S.Sh. (2021). Zabolevaemost prepodavatel'skogo sostava vuza tekhnicheskogo profil'ia [Morbidity rate of teaching staff of a technical university]. Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 1(10), 860-871.
30. Kudrina L.A. (2022). Professionalnye zabolevaniia pedagogov i ikh profilaktika [Occupational diseases of teachers and their prevention]. «Molodoi uchyonyi», 13.1(408.1), 16-18.
31. Akhmadaliev N., Salomona F., Nigmatullaeva D., et.al. (2020). Comparative self-assessment of the teachers' health of higher education institutions of the republic of Uzbekistan. International Journal of Advanced Science and Technology, 29, 5, 1352-1355.
32. Budaev S.D. (2009). K probleme sokhraneniia i ukrepleniia zdorovia naseleniia [On the problem of maintaining and strengthening public health]. Vestnik BGU, 12, 32-36.

Авторлар туралы мәлімет:

Арыстанбай Аяулым Әділғазықызы – PhD докторант, «Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан Республикасы. E-mail: adilgazina-07@mail.ru

Смагулов Нурлан Кемельбекович – медицина ғылымдарының докторы, профессор, Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Биотехнология және экологиялық мониторинг ғылыми-зерттеу паркінің бас ғылыми қызметкері, Қарағанды, Қазақстан. E-mail: msmagulov@yandex.ru

Тыкежанова Гүлмира Менгалиевна – Биология ғылымдарының кандидаты, доцент, Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан Республикасы; e-mail: gulmyra.tykezhanova@mail.ru

Information about the authors:

Arystanbay Ayaulym Adilgazykyzy – PhD candidate, Karaganda National Research University named after Academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: adilgazina-07@mail.ru

Smagulov Nurlan Kemelbekovich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Research Park of Biotechnology and Ecomonitoring, Karaganda National Research University named after Academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: msmagulov@yandex.ru

Tykezhanova Gulmira Mengalieva – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Karaganda National Research University named after Academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: gulmyra.tykezhanova@mail.ru

Сведения об авторах:

Арыстанбай Аяулым Әділғазықызы – PhD-докторант, Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова (Караганды, Казахстан, e-mail: adilgazina-07@mail.ru);

Смагулов Нурлан Кемельбекович – доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник Научно-исследовательского парка биотехнологии и экомониторинга, Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова (Караганды, Казахстан, e-mail: mstagulov@yandex.ru);

Тыкежанова Гульмира Менгалиевна – кандидат биологических наук, доцент, Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова (Караганды, Казахстан, e-mail: gulmyra.tykezhanova@mail.ru).

Received December 13, 2024

Accepted August 20, 2025

N.F. Murotov¹ *, N.B. Yuldashev² , F.P. Sultanov¹ 

¹Bukhara State Medical Institute, Bukhara, Uzbekistan

²Urgench RANCH Technological University, Urgench, Uzbekistan

*e-mail: nurshodmurotov@gmail.com

CHANGES IN HUMORAL IMMUNITY AMONG INDIVIDUALS WITH EARLY-STAGE HIV INFECTION

The present study aimed to comprehensively assess humoral immune parameters and cytokine status in individuals newly diagnosed with HIV infection. A total of 783 patients were examined, and serum immunoglobulin profiling was performed in 90 of them. Quantification of IgA, IgM, IgG, IgE, and cytokines (IL-1 β , IL-6, IL-4, IL-10) was carried out using ELISA.

Compared with healthy controls, patients with early-stage HIV infection demonstrated pronounced dysregulation of humoral immunity. Serum IgA, IgM, and IgG levels were significantly elevated (1.95-fold, 1.51-fold, and 2.46-fold increases, respectively), indicating activation of both local and systemic immune responses. Despite this enhancement, the heterogeneity in magnitude of change suggests strain on the primary immune response and an insufficient secondary response. Strikingly, IgE concentrations increased 84.88-fold, pointing to a highly sensitized allergic background likely driven by opportunistic infections accompanied by secondary immunodeficiency.

Similarly, cytokine levels were markedly increased. Pro-inflammatory cytokines showed differential enhancement: IL-1 β levels rose 5.75-fold, while IL-6 increased 1.50-fold, suggesting a dominant role of IL-1 β in inflammatory signaling and antiviral immunity. Anti-inflammatory cytokines also increased significantly: IL-4 by 6.21-fold and IL-10 by 1.94-fold. This imbalance between pro- and anti-inflammatory mediators reflects complex immune dysregulation associated with early HIV infection.

Overall, these findings demonstrate substantial activation yet imbalance of humoral immunity in primary HIV infection. The coexistence of heightened immunoglobulin and cytokine synthesis, excessive IgE production, and insufficient secondary immune response indicates an early breakdown in coordinated immune regulation. These results provide important insights for monitoring immune dysfunction and improving clinical management during early stages of HIV.

Keywords: HIV infection, humoral immunity, cytokines, immune dysregulation, immunoglobulins, IL-1 β , IgE

Н.Ф. Муротов¹ *, Н.Б. Юлдашев², Ф.П. Султанов²

¹Бухара мемлекеттік медицина институты, Бұхара, Өзбекстан

²Үргенч RANCH технологиялық университеті, Үргенч, Өзбекстан

*e-mail: nurshodmurotov@gmail.com

АИТВ-инфекциясының ерте сатысындағы тұлғалардың гуморальды иммунитетіндегі өзгерістер

Бұл зерттеудің мақсаты – алғаш анықталған АИТВ-жұқпасы бар тұлғаларда гуморальды иммунитет көрсеткіштері мен цитокиндік мәртебені кешенді бағалау. Барлығы 783 пациент зерттелді; олардың 90-ында иммуноглобулин деңгейлері анықталды. Қан сарысуындағы IgA, IgM, IgG, IgE және IL-1 β , IL-6, IL-4, IL-10 цитокиндерінің концентрациялары ИФТ әдісімен өлшенді.

Сау адамдармен салыстырғанда АИТВ-жұқпасының ерте сатысындағы науқастарда гуморальды иммунитеттің айқын дисрегуляциясы анықталды. IgA, IgM және IgG деңгейлері тиісінше 1,95; 1,51 және 2,46 есе жоғары болды, бұл жергілікті және жүйелік иммундық жауаптың күшеюін көрсетеді. Өзгерістер қарқындылығының әркелкілігі бастапқы иммундық жауаптың әлсіреуін және қайталама иммундық жауаптың жеткіліксіздігін сипаттайды. Ерекше назар аударатын жайт – IgE деңгейінің 84,88 есеге артуы, бұл екіншілік иммунтапшылық жағдайында дамидын оппортунистік инфекциялармен байланысты айқын аллергиялық фонның қалыптасуын көрсетеді.

Сонымен қатар цитокиндердің айтарлықтай жоғарылағандығы анықталды. Қабыну медиаторларының ішінде IL-1 β деңгейінің 5,75 есеге, IL-6 деңгейінің 1,50 есеге өсуі тіркелді, бұл IL-1 β -дің қабыну мен вирусқа қарсы иммунитеттің қалыптасуындағы басым рөлін көрсетеді. Қабынуға қарсы цитокиндер – IL-4 (6,21 есе) және IL-10 (1,94 есе) концентрациялары да артты, бұл иммундық дисрегуляцияның күрделі сипатын айқындайды.

Жалпы алғанда, АИТВ-жұқпасының бастапқы кезеңінде гуморальды иммунитеттің айқын белсенуімен қатар оның теңгерімсіздігі байқалды. IgE деңгейінің күрт артуы, цитокин синтезінің күшеюі және қайталама иммундық жауаптың жеткіліксіздігі иммундық реттелудің ерте бұзылуын көрсетеді. Алынған деректер иммундық өзгерістерді бақылау және АИТВ-жұқпасының ерте кезеңінде клиникалық басқаруды жақсарту үшін маңызды.

Түйін сөздер: АИТВ-жұқпасы, гуморальды иммунитет, цитокиндер, иммундық дисрегуляция, иммуноглобулиндер, IL-1 β , IgE.

Н.Ф. Муротов^{1*}, Н.Б. Юлдашев², Ф.П. Султанов²

¹Бухарский государственный медицинский институт, Бухара, Узбекистан

²RANCH Ургенчский технологический университет, Ургенч, Узбекистан

*e-mail: nurshodmuratov@gmail.com

Изменения гуморального иммунитета у лиц с ранней стадией ВИЧ-инфекции

Целью настоящего исследования была комплексная оценка показателей гуморального иммунитета и цитокинового статуса у лиц с впервые диагностированной ВИЧ-инфекцией. Всего обследованы 783 пациента; у 90 из них проведено определение уровней иммуноглобулинов. Количественное определение IgA, IgM, IgG, IgE, а также цитокинов (IL-1 β , IL-6, IL-4, IL-10) в сыворотке крови осуществляли методом ИФА.

По сравнению со здоровыми лицами у пациентов с ранней стадией ВИЧ-инфекции выявлена выраженная дисрегуляция гуморального иммунитета. Уровни IgA, IgM и IgG были значительно повышены (в 1,95; 1,51 и 2,46 раза, соответственно), что указывает на активацию местного и системного иммунного ответа. При этом неодинаковая выраженность изменений отражает напряжённость первичного иммунного ответа и недостаточность вторичного ответа. Особенно значимым оказалось увеличение концентрации IgE – в 84,88 раза, что указывает на выраженный аллергический фон, вероятно формируемый на фоне вторичного иммунодефицита и развития оппортунистических инфекций.

Также обнаружено существенное повышение уровня цитокинов. Среди провоспалительных медиаторов отмечено доминирование IL-1 β , концентрация которого увеличилась в 5,75 раза, тогда как IL-6 – в 1,50 раза, что подтверждает более значимую роль IL-1 β в развитии воспаления и противовирусного иммунитета. Уровни противовоспалительных цитокинов также возрастали: IL-4 – в 6,21 раза, IL-10 – в 1,94 раза, что отражает комплексный характер иммунной дисрегуляции.

Таким образом, в ранней фазе ВИЧ-инфекции наблюдается существенная активация, но одновременно и дисбаланс гуморального иммунитета. Резкое повышение IgE, усиление синтеза цитокинов и недостаточный вторичный иммунный ответ свидетельствуют о раннем нарушении регуляции иммунной системы. Полученные данные важны для мониторинга иммунных нарушений и улучшения клинического ведения пациентов на ранних этапах ВИЧ-инфекции.

Ключевые слова: ВИЧ-инфекция, гуморальный иммунитет, цитокины, иммунная дисрегуляция, иммуноглобулины, IL-1 β , IgE.

Introduction

A decline in the activity of the immune system (secondary immunodeficiency) leads to a reduced ability to combat infections, the emergence of opportunistic infections, and a weakened defense against tumors [1-3].

HIV infection is a slowly progressing pathological condition caused by a virus from the Retroviridae family, genus Lentivirus [4-7]. Once inside the body, the virus targets T-helper/inducer cells that express CD4⁺ receptors on their surface. HIV can also infect monocytes, macrophages, Langerhans cells, dendritic cells, and microglial cells that possess these receptors [8-10].

Damage to these immunocompetent cells results in decreased immune system activity, ultimately leading to the development of acquired immunodeficiency syndrome (AIDS). CD4⁺ cells play a crucial role in the immune response by transmitting antigen-related information to B-lymphocytes, promoting their differentiation into plasma cells, and facilitating antibody synthesis [11-13]. This highlights the significance of CD4⁺ cells in immune regulation [5, 14-15].

Although extensive research has been conducted by both domestic and international scientists on the etiology, progression, pathogenesis, transmission routes, early diagnosis, antiretroviral therapy, and prevention of HIV infection, studies focusing

on immune system function, its alterations, and age-related characteristics remain limited and fragmented [16-17].

The aim of the study was to examine and evaluate the immune status of individuals newly diagnosed with HIV infection.

Materials and methods

For the purpose of conducting the study, blood sera of a total of 783 individuals with primary HIV infection were examined. Of these, $59.51 \pm 1.75\%$ ($n=466$) were men, while $40.49 \pm 1.75\%$ ($n=317$) were women. It is noteworthy that men were significantly ($P < 0.05$) more prevalent than women.

$12.39 \pm 1.18\%$ ($n=97$) of individuals with HIV infection were permanent urban residents, while $87.61 \pm 1.18\%$ ($n=686$) were permanent rural residents. The higher prevalence of HIV infection among the rural population is attributed to the large number of labor migrants working in various countries. The study revealed that $73.95 \pm 1.57\%$ ($n=579$) of the participants were married, while the remaining $26.05 \pm 1.57\%$ ($n=204$) were unmarried individuals.

It was determined that the majority of those diagnosed with HIV infection were citizens aged 31-40 years ($39.08 \pm 1.74\%$) and 41-50 years ($33.46 \pm 1.69\%$). The least common age group was 21-30 years old ($11.24 \pm 1.13\%$). The fact that the majority of labor migrants fall within this age range (31-50 years) is characterized by a high prevalence of this infection among them.

An apparatus manufactured in 2022 (MR-96A Mindray Co.Ltd, China) was used to perform enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) on

blood serum samples from HIV-infected individuals. The concentration of IgA was determined using test kits from Vector Best LLC (Novosibirsk, Russian Federation), while the levels of IgM, IgG, and IgE were measured using test kits from XEMA LLC (Moscow, Russian Federation).

Test kits from “Vector-Best” LLC (Novosibirsk, Russian Federation) were used to determine the concentration of cytokines. These kits were used to measure the concentrations of IL-1 β , IL-4, IL-6, and IL-10 in blood serum. The tests were conducted according to the instructions provided with the test kits.

Statistical processing of the obtained materials was carried out using traditional methods of variational statistics, utilizing the “Excel” program. The statistical analysis was performed on a personal computer with a Pentium IV processor, employing a software package designed for medical and biological research.

Results and discussion

Medical records of individuals aged 21-60 years with primary HIV infection were examined. Among these, the concentration of immunoglobulins in blood serum was determined for 90 subjects.

The study evaluated the degree of changes in the concentrations of IgA, IgM, IgG, and IgE in blood serum. For a comparative assessment of the obtained results, 20 healthy individuals were also examined (Table 1).

As shown in Table 1, changes in the concentrations of immunoglobulins in blood serum were observed, revealing a quantitative imbalance. Both the trends and intensities of these changes varied.

Table 1 – Results of studying humoral immunity parameters in individuals with primary HIV infection

Parameters	Healthy individuals, n=20	HIV-infected persons, n=90
IgA, g/l	$1,26 \pm 0,15$	$2,46 \pm 0,06^* \uparrow$
IgM, g/l	$1,32 \pm 0,14$	$1,99 \pm 0,09^* \uparrow$
IgG, g/l	$13,53 \pm 0,89$	$33,22 \pm 0,06^* \uparrow$
IgE, IU/ml	$0,64 \pm 0,06$	$54,32 \pm 3,20^* \uparrow$

Note: * – sign of reliable difference in relation to healthy individuals; $\uparrow$ – direction of change.

Considering that IgA, particularly in its secretory form (sIgA), is the primary protein responsible for local, humoral immunity and serves as the «first line of defense» in the body's resistance on mucosal surfaces and in biological fluids, and is frequently found in secretions on mucosal surfaces, it becomes evident that its concentration in the blood is dependent on the state of local immunity, the quantity of antigens entering the body, and the intensity of their entry into the organism.

The study conducted revealed that the IgA level in the blood serum of individuals with primary HIV infection was significantly higher, by 1.95 times, compared to that of healthy individuals – 2.46 ± 0.06 g/l versus 1.26 ± 0.15 g/l, respectively ($P < 0.001$). Such an increase in IgA levels indicates enhanced synthesis resulting from the increased strain on local immunity resistance factors.

IgM stands out among all immunoglobulins for being a pentamer, having a large molecular mass, and primarily providing the primary immune response. When an antigen enters the organism, IgM is synthesized first, and its concentration reaches a maximum in blood serum. After 5-6 days, it begins to decrease quantitatively.

In the study, the serum concentration of IgM in the examined pathology was 1.99 ± 0.09 g/l, which was significantly higher by 1.51 times compared to the same indicator in healthy individuals (1.32 ± 0.14 g/l) ($P < 0.05$). The tendency of IgM increase was similar to the previously mentioned immunoglobulin; however, the intensity of changes was relatively low. This condition is associated with the low strength of the primary immune response despite a high viral load on local immunity. In our opinion, due to the damage to T-helpers/inducers, which are the «targets» of HIV infection, information about the virus does not fully reach B-lymphocytes, resulting in insufficient synthesis of IgM, which is responsible for the primary immune response.

Considering that IgG has the smallest molecular mass among all immunoglobulins, is the only immunoglobulin that can cross the placenta, constitutes 75% of all immunoglobulins, and primarily provides a secondary immune response, we can understand its crucial importance for the functioning of the immune system. The coating of the antigen surface with IgG molecules (opsonization) enables phagocytes to quickly recognize, engulf, and eliminate them. Additionally, it contributes to the elimination of antigens by activating the complement system through the classical pathway.

According to the results obtained in the study, it was found that the concentration of primary HIV infection in blood serum significantly increased by 2.46 times, unlike the levels of IgA and IgM – 23.22 ± 0.06 g/l compared to 13.53 ± 0.89 g/l, respectively ($P < 0.001$). Such an enhancement of humoral immunity is undoubtedly associated with a quantitative deficit of immunocompetent cells, since humoral immunity is part of the overall immune system and is closely interconnected with other components.

The observed quantitative imbalance in the intensity of changes among the studied IgA, IgM, and IgG was indeed attributed to negative alterations in immune system function, strain on this system, and issues in the formation and development of both primary and secondary immune responses.

Along with the immunoglobulins mentioned above, the concentration of IgE in blood serum was also studied. Considering that IgE causes the release of inflammatory mediators into the bloodstream in response to antigen (allergen) entry and leads to allergic reactions, we understand the necessity of determining the level of potential allergic background in HIV infection.

The study results revealed that the concentration of IgE in blood serum of individuals with this pathology was statistically significantly ($P < 0.001$) 84.88 times higher than in healthy individuals – 54.32 ± 3.20 IU/ml compared to 0.64 ± 0.06 IU/ml, respectively.

The high allergic background observed in the studied individuals was attributed to the formation and development of opportunistic infections in their bodies, manifesting as protozoa (parasites) and fungal infections. This was explained as a consequence of secondary immunodeficiency developing in the organism due to the influence of HIV infection.

To provide a clearer picture of the differences in the obtained results, the indicators showing the degree of change in the concentrations of major immunoglobulin classes in the blood serum of HIV-infected individuals were presented in comparison to the parameters of healthy individuals (Table 2).

As evident, all the presented indicators have changed significantly ($P < 0.001$). While the trend of changes in their values was practically uniform, a pronounced imbalance in the intensity of changes was observed, indicating alterations in the immune system of these individuals. It should be particularly noted that among the four immunoglobulins, the most significant changes were observed in the concentrations of IgG and IgE.

Table 2 – Ratio of serum immunoglobulin levels of individuals with primary HIV infection to indicators of healthy individuals, in times

Immunoglobulins	HIV-infected persons, n=90
IgA	1,95* ↑
IgM	1,51* ↑
IgG	2,46* ↑
IgE	84,88* ↑

Note: * – sign of reliable difference in relation to the indicators of healthy individuals; ↑ – directions of change.

It is also important to conduct a comparative study of cytokine concentrations, which are other representatives of humoral immunity, in the blood serum of individuals with primary HIV infection. Although these indicators were studied and described in detail by Zalyaliyeva M.V. and Ruzibakiev R.M. [8], they were determined in relation to the stages of the disease, and individuals with primary HIV infection were included in the general group. For this reason, the necessity of studying them and evaluating their results arose.

It is known that for complete protection against HIV infection, the participation of CD4⁺ cells is

required in addition to cytotoxic T-lymphocytes. This is because CD4⁺ cells synthesize cytokines and chemokines that inhibit HIV replication [8]. Two types of CD4⁺ cells are distinguished: T-helper type 1 (Th1) and T-helper type 2 (Th2), both of which are derived from their common precursor, Th0 [1, 5]. Th1 helpers produce cytokines that stimulate cellular immunity, while Th2 helpers ensure the production of cytokines that facilitate the transformation of B-lymphocytes into plasma cells.

As demonstrated, IL-1 is an inflammatory cytokine that acts as a mediator of immunity and inflammation. It is synthesized by macrophages, stimulated B-lymphocytes, T-lymphocytes, keratinocytes, and fibroblasts. In the primary immune response, its production triggers pathogenetic changes associated with the disease that caused its production [2-4]. Taking into account the aforementioned facts, it was deemed necessary to identify this cytokine in viral infections, including HIV infection.

The study revealed that the serum concentration of IL-1β in individuals with primary HIV infection reached 46.36±2.67 pg/ml, which shows a significant ($P<0.001$) 5.75-fold increase compared to the same parameter in healthy individuals (8.06±1.23 pg/ml) (Table 3).

Table 3 – Results of the study of humoral immunity parameters of individuals with primary HIV infection

Parameters	Healthy individuals, n=20	HIV-infected persons, n=90
IL-1β, pg/ml	8,06±1,23	46,36±2,67 * ↑
IL-6, pg/ml	6,80±1,06	10,20±0,76 * ↑
IL-4, pg/ml	5,85±0,99	36,33±1,88 * ↑
IL-10, pg/ml	17,31±3,00	33,49±2,13 * ↑

Note: * – sign of reliable difference in relation to healthy individuals; ↑ – direction of change.

Its increase leads to the formation and development of disease symptoms and HIV-induced Th1-cell deficiency. Consequently, an increase in IL-1β concentration is associated with Th1-cell deficiency, and this pathological state contributes to the development of inflammatory disease symptoms (fever, anemia, weight loss, and pathological changes in the skin and mucous membranes).

IL-6 is another cytokine characteristic of inflammation that plays a significant role in HIV infection. Considering that IL-6 is synthesized by activated macrophages and Th2 cells, stimulates the immune

response, serves as one of the crucial mediators in the acute phase of inflammation, promotes the proliferation and differentiation of T and B cells, stimulates leukopoiesis, and activates lipid synthesis in the liver, we can be certain of its importance as a cytokine [6, 9].

The study found a statistically significant ($P<0.05$) increase of 1.50 times in the concentration of IL-6 in individuals with primary HIV infection compared to healthy individuals – 10.20±0.76 pg/ml versus 6.80±1.06 pg/ml, respectively (Fig. 1).

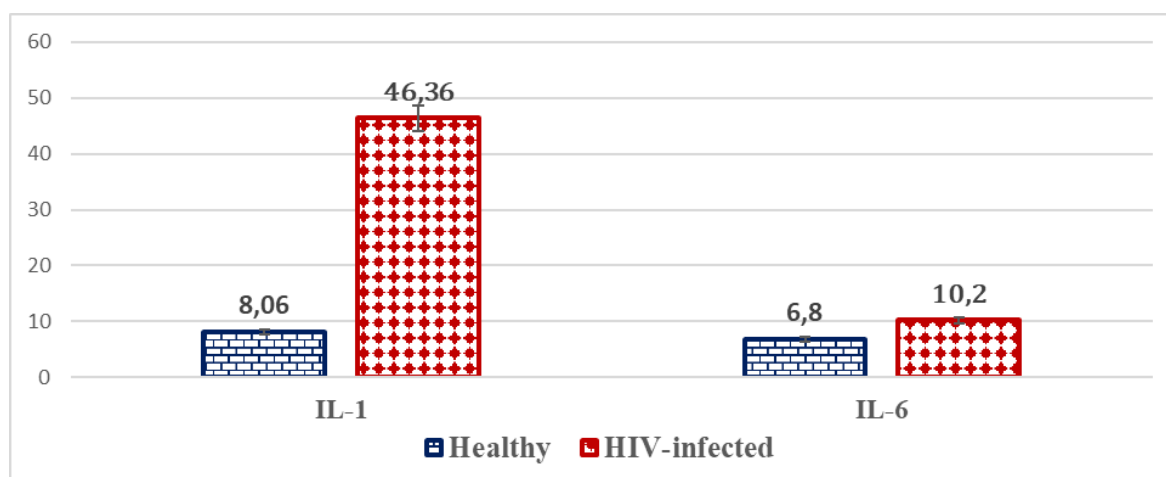


Figure 1 – Parameters of pro-inflammatory cytokines in the blood serum of individuals with primary HIV infection, pg/ml

The lower intensity increase of IL-6 in blood serum compared to IL-1 β indicates the formation and development of the inflammatory process and its relatively minor role in antiviral immunity.

In the subsequent stage of the study, the concentrations of anti-inflammatory cytokines (IL-4, IL-10) in blood serum were comparatively analyzed.

Today, it has been demonstrated that IL-4 is an anti-inflammatory cytokine that induces the differentiation of Th0 cells, is synthesized by Th2 cells, eosinophils, basophils, and mast cells, enhances the proliferation of T and B lymphocytes, facilitates the differentiation of B lymphocytes into plasma cells, and serves as an important regulator of humoral and adaptive immunity [7].

It has been determined that the cytokine IL-4 inhibits the expression of HIV co-receptors on the surface of T-lymphocytes, thereby reducing the likelihood of viral entry into the cell. However, simultaneously, through tat-dependent mechanisms, it enhances HIV replication in the cells of the virus-infected organism [8]. Hyperproduction of IL-4, especially in the early stages of HIV infection, increases the ability of infected cells to form syncytia, which facilitates a more rapid progression of HIV infection.

In the conducted study, the concentration of IL-4 cytokine in blood serum was found to be 36.33 ± 1.88 pg/ml in individuals with HIV infection, which was

statistically significantly higher (6.21 times) than the indicators in healthy individuals (average 5.85 ± 0.99 pg/ml) ($P < 0.001$).

IL-10 is one of the anti-inflammatory cytokines that possesses numerous pleiotropic effects, including anti-inflammatory and immunoregulatory properties. It inhibits the induction of TNF- α and IL-1 β cytokine secretion by Th1 cells, effectively suppressing the inflammatory process that has developed in the body [11].

The study revealed that the concentration of this cytokine in the blood serum of individuals with primary HIV infection significantly increased by 1.94 times compared to healthy individuals – 33.49 ± 2.13 pg/ml versus 17.31 ± 3.00 pg/ml respectively ($P < 0.001$). Although the intensity of changes was lower compared to IL-4, the trend of changes remained the same. Consequently, a sharp increase in the concentration of anti-inflammatory cytokines was observed in HIV infection (Figure 2).

The results obtained from studying the concentrations of anti-inflammatory cytokines in the blood serum of individuals with primary HIV infection were similar to those reported by many researchers, including Zalyaliyeva M.V. and Ruzibakiev R.M. [8]. In this context, a comparative analysis was conducted on the degree of changes in all studied pro-inflammatory and anti-inflammatory cytokines relative to healthy individuals (Table 4).

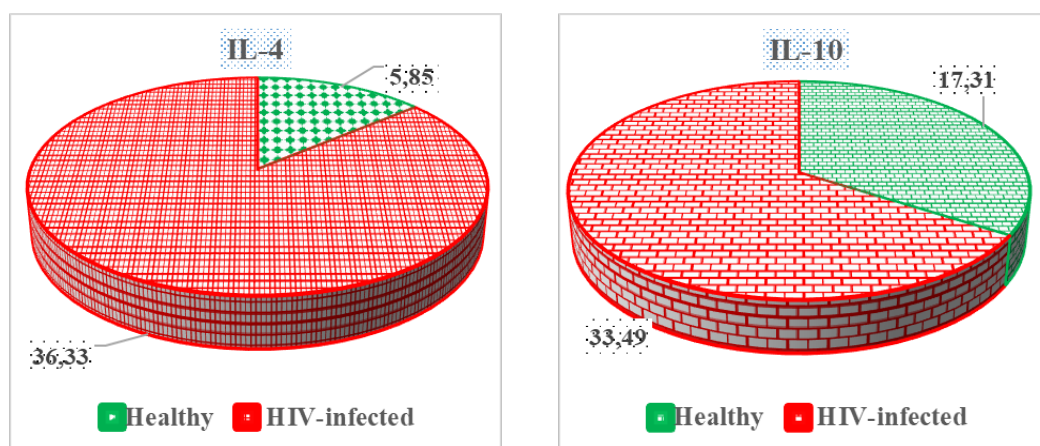


Figure 2 – Parameters of anti-inflammatory cytokines in the blood serum of individuals with primary HIV infection, pg/ml

Table 4 – The ratio of cytokine levels in the blood serum of individuals with a primary HIV infection to the parameters of healthy individuals, in times

Cytokines		HIV-infected persons, n=90
Pro-inflammatory	IL-1 β	5,75 * $\uparrow$
	IL-6	1,50 * $\uparrow$
Anti-inflammatory	IL-4	6,21 * $\uparrow$
	IL-10	1,93 * $\uparrow$

Note: * – sign of reliable difference in relation to healthy individuals; $\uparrow$ – direction of change.

As evident, hyperproduction of all cytokines (both pro-inflammatory and anti-inflammatory) was detected and significantly altered compared to the indicators in healthy individuals. It is noteworthy that while the trend of changes is consistent, the intensity of these changes varies.

Individuals with primary HIV infection exhibited significant changes in immunoglobulin concentrations compared to healthy individuals, demonstrating a quantitative imbalance. Although the trend of changes was consistent among these individuals, the intensity of changes varied. A statistically significant increase was observed in the examined individuals compared to healthy subjects: IgA levels were 1.95 times higher, IgM levels were 1.51 times higher, and IgG levels were 2.46 times higher ($P < 0.001$). This situation indicated a strain in the primary immune response alongside strengthened local and humoral immunity, while also revealing a clear deficiency in the secondary immune response.

A significant and sharp increase in IgE levels in the blood serum of HIV-infected individuals by

84.88 times ($P < 0.001$) indicates the formation and intensification of an allergic background in the bodies of these individuals. In our opinion, this condition is associated with an increase in the number of protozoa (parasites) and microscopic fungi (opportunistic infections) due to the development of secondary immunodeficiency in the body. Consequently, the formation of secondary immunodeficiency in individuals with HIV infection was manifested by a quantitative imbalance of immunoglobulins in their blood serum.

The levels of pro-inflammatory cytokines (IL-1 β , IL-6) in the blood serum of individuals with newly diagnosed HIV infection were found to be quantitatively increased in the studied pathology. Although the trend of increase was similar for both cytokines, the intensity of quantitative changes varied. Compared to healthy individuals, the increase in IL-1 β was 5.75-fold, while for IL-6 it reached 1.50-fold. Evidently, the role of IL-1 β in the development of the inflammatory process and antiviral immunity was more significant than that of IL-6.

It was noted that the concentrations of both cytokines in this group were significantly higher compared to healthy individuals, by 6.21 and 1.94 times respectively ($P < 0.001$). The detection trend of both cytokines and the intensity of changes relative to healthy parameters were practically identical. It was acknowledged that both of the interpreted cytokines play a role in antiviral immunity, including immunity against HIV infection.

Conclusion

1. Although individuals with primary HIV infection showed similar trends in changes of serum immunoglobulin concentrations, the intensity of these changes varied. In the studied subjects, IgA levels increased by 1.95 times, IgM by 1.51 times, and IgG by 2.46 times compared to healthy individuals ($P < 0.001$). This situation indicated the presence of strain in the primary immune response along with the strengthening of humoral immunity, but a pronounced deficiency in the secondary immune response.

2. A significant 84.88-fold increase in IgE levels in the blood serum of individuals with HIV infection indicates the formation and intensification of an allergic background in the bodies of these individuals. The development of this allergic background was considered to be associated with an increase in opportunistic infections due to the secondary immunodeficiency that has developed in the body.

3. The concentrations of IL-1 β and IL-6 in the blood serum of individuals with primary HIV infection were quantitatively increased. Compared to the levels in healthy individuals, the increase was 5.75-fold for IL-1 β and 1.50-fold for IL-6. The role of IL-1 β in the formation of the inflammatory process and antiviral immunity was more significant than that of IL-6.

4. The levels of IL-4 and IL-10 in the blood serum of individuals with primary HIV infection were found to be significantly higher than in healthy individuals, by 6.21 and 1.94 times respectively. The detection trend of both cytokines and the intensity of changes relative to the parameters of healthy individuals were practically identical.

References

1. Kuznetsov A.P., Gryaznikh A.V., Sazhina N.V. *Physiology of the Immune System*. Monograph. – Kurgan, Publishing House of Kurgan State University, 2015. – 150 p.
2. Nasonov E.L., Yeliseev M.S. The role of interleukin 1 in the development of human diseases // *Scientific and Practical Rheumatology*. – 2016. – No. 54 (1). – P. 60–77.
3. Dinarello C.A. An expanding role for interleukin-1 blockade from gout to cancer // *Mol. Med.* – 2014. – N 6(20), Suppl. 1. – P. 543–558.
4. Batrshina R.I. Cytokines and characteristics of the IL-1 β gene // *Young Scientist*. – 2022. – No. 51 (446). – P. 128–130.
5. Nuraliev N.A., Khomidova S.H. *Immunology*. Textbook. – Bukhara, Sadridin Salim Bukhari Publishing House, 2023. – 196 p.
6. Abaurrea A., Araujo A.M., Cffarel M.M. The Role of the IL-6 Cytokine Family in Epithelial-Mesenchymal Plasticity in Cancer Progression // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2021. – N 22(15). – P. 8334.
7. Gour N., Wills-Karp M. IL-4 and IL-13 signaling in allergic airway disease // *Cytokine*. – 2015. – N 75(1). – P. 68–78.
8. Zalyalieva M.V., Ruzibakiyev R.M. *Genetic and immunological features of HIV-1 infection in Uzbekistan*. Monograph. – Tashkent, National Encyclopedia of Uzbekistan, 2010. – 112 p.
9. Kang S., Tanaka T., Narazaki M., Kishimoto T. Targeting Interleukin-6 Signaling in Clinic // *Immunity*. – 2019. – Vol. 50, N 4. – P. 1007–1023.
10. Alter G., Moody M.A. The humoral response to HIV-1: new insights, renewed focus // *J. Infect. Dis.* – 2010. – 202(Suppl 2): S315–S322. DOI: 10.1086/655654.
11. Chang C.F., Won J., Li Q., Renfro S.C., Heller M., Wang J. Alternative activation-skewed microglia/macrophages promote hematoma resolution in experimental intracerebral hemorrhage // *Neurobiol. Dis.* – 2017. – Vol. 103. – P. 54–69.
12. Butler A.L., Fischinger S., Alter G. The Antibodiome — Mapping the Humoral Immune Response to HIV // *Curr. HIV AIDS Rep.* – 2019. – 16(2): 169–179. DOI: 10.1007/s11904-019-00432-x.
13. Brombin C., Diomedea L., Tudor D., Drillet A.S., Pastori C., Poli E., Riva A., Uberty-Foppa C., Galli M., Di Serio C. A Nonparametric Procedure for Defining a New Humoral Immunologic Profile in a Pilot Study on HIV Infected Patients // *PLoS One*. – 2013. – 8(3): e58768. DOI: 10.1371/journal.pone.0058768.
14. Ouyang Y., Yin Q., Li W., Li Z., Kong D., Wu Y., Hong K., Xing H., Shao Y., Jiang S., Ma L. Escape from humoral immunity is associated with treatment failure in HIV-1-infected patients receiving long-term antiretroviral therapy // *Sci. Rep.* – 2017. – 7: 6017. DOI: 10.1038/s41598-017-05594-5.
15. Fouts T.R., et al. Balance of cellular and humoral immunity determines the outcome of HIV infection // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* – 2015. – 112(33): E4545–E4554. DOI: 10.1073/pnas.1423669112.

16. Matsuo K. Paradigm change in immune correlation: cellular or humoral? // *Expert Rev. Vaccines*. – 2010. – 9(11): 1291–1293. DOI: 10.1586/erv.10.98.
17. Alter G., Moody M.A. Role of humoral immunity in host defense against HIV // *Curr. HIV/AIDS Rep.* – 2010. – 7(1): 11–18. DOI: 10.1007/s11904-009-0036-6.

References

1. Abaurrea A., Araujo A.M., Cffarel M.M. (2021) The Role of the IL-6 Cytokine Family in Epithelial-Mesenchymal Plasticity in Cancer Progression. *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 22(15), p. 8334.
2. Alter G., Moody M.A. (2010) The humoral response to HIV-1: new insights, renewed focus. *J. Infect. Dis.*, vol. 202(Suppl 2), pp. S315–S322.
3. Alter G., Moody M.A. (2010) Role of humoral immunity in host defense against HIV. *Curr. HIV/AIDS Rep.*, vol. 7(1), pp. 11–18.
4. Batrshina R.I. (2022) Cytokines and characteristics of the IL-1 β gene. *Young Scientist*, no. 51(446), pp. 128–130.
5. Brombin C., Diomedea L., Tudor D., Drillet A.S., Pastori C., Poli E., Riva A., Uberti-Foppa C., Galli M., Di Serio C. (2013) A Nonparametric Procedure for Defining a New Humoral Immunologic Profile in a Pilot Study on HIV Infected Patients. *PLoS One*, vol. 8(3), e58768.
6. Butler A.L., Fischinger S., Alter G. (2019) The Antibodiome — Mapping the Humoral Immune Response to HIV. *Curr. HIV/AIDS Rep.*, vol. 16(2), pp. 169–179.
7. Chang C.F., Won J., Li Q., Renfro S.C., Heller M., Wang J. (2017) Alternative activation-skewed microglia/macrophages promote hematoma resolution in experimental intracerebral hemorrhage. *Neurobiol. Dis.*, vol. 103, pp. 54–69.
8. Dinarello C.A. (2014) An expanding role for interleukin-1 blockade from gout to cancer. *Mol. Med.*, vol. 6(20), Suppl. 1, pp. 543–558.
9. Fouts T.R., et al. (2015) Balance of cellular and humoral immunity determines the outcome of HIV infection. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 112(33), pp. E4545–E4554.
10. Gour N., Wills-Karp M. (2015) IL-4 and IL-13 signaling in allergic airway disease. *Cytokine*, vol. 75(1), pp. 68–78.
11. Kang S., Tanaka T., Narazaki M., Kishimoto T. (2019) Targeting Interleukin-6 Signaling in Clinic. *Immunity*, vol. 50(4), pp. 1007–1023.
12. Kuznetsov A.P., Gryaznikh A.V., Sazhina N.V. (2015) *Physiology of the Immune System*. Monograph, Publishing House of Kurgan State University, 150 p.
13. Matsuo K. (2010) Paradigm change in immune correlation: cellular or humoral? *Expert Rev. Vaccines*, vol. 9(11), pp. 1291–1293.
14. Nasonov E.L., Yeliseev M.S. (2016) The role of interleukin 1 in the development of human diseases. *Scientific and Practical Rheumatology*, no. 54(1), pp. 60–77.
15. Nuraliev N.A., Khomidova S.H. (2023) *Immunology*. Textbook. Sadridin Salim Bukhari Publishing House, 196 p.
16. Ouyang Y., Yin Q., Li W., Li Z., Kong D., Wu Y., Hong K., Xing H., Shao Y., Jiang S., Ma L. (2017) Escape from humoral immunity is associated with treatment failure in HIV-1-infected patients receiving long-term antiretroviral therapy. *Sci. Rep.*, vol. 7, p. 6017.
17. Zalyalieva M.V., Ruzibakiyev R.M. (2010) *Genetic and immunological features of HIV-1 infection in Uzbekistan*. Monograph, National Encyclopedia of Uzbekistan, 112 p.

Сведения об авторах:

Муротов Нуриддин Фарходович – доктор философии (PhD) по медицинским наукам, заведующий кафедрой микробиологии, вирусологии и иммунологии Бухарского государственного медицинского института (Бухара, Узбекистан, e-mail: nurshodmurotov@gmail.com);

Юлдашов Нураддин Баходирович – старший преподаватель кафедры клинических наук Ургенчского технологического университета RANCH (Ургенч, Узбекистан, e-mail: nuraddinyuldashov80@gmail.com);

Султанов Фахриддин Пулатжанович – магистрант кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии Бухарского государственного медицинского института (Ургенч, Узбекистан, e-mail: faxriddinsultanov90@gmail.com).

Information about authors:

Murotov Nurshod Farxodovich – Doctor of Philosophy (PhD) in Medical Sciences, Head of the Department of Microbiology, Virology and Immunology, Bukhara State Medical Institute (Uzbekistan, Bukhara, e-mail: nurshodmurotov@gmail.com)

Yuldashov Nuraddin Bakhodirovich – Senior Lecturer of the Department of Clinical Sciences of the Urgench Technological University RANCH (Uzbekistan, Urgench, e-mail: nuraddinyuldashov80@gmail.com)

Sultanov Fakhridin Pulatjanovich – Master's student of the Department of Microbiology, Virology, and Immunology, Bukhara State Medical Institute. (Uzbekistan, Urgench, e-mail: faxriddinsultanov90@gmail.com)

Авторлар туралы мәлімет:

Муротов Нуриод Фарходович – медицина ғылымдары бойынша философия докторы (PhD), Бұхара мемлекеттік медицина институтының микробиология, вирусология және иммунология кафедрасының меңгерушісі (Өзбекстан, Бұхара, электрондық пошта: nurshodmurotov@gmail.com)

Юлдашов Нураддин Баходирович – Ургенч технологиялық университетінің клиникалық ғылымдар кафедрасының аға оқытушысы RANCH (Өзбекстан, Ургенч, электрондық пошта: nuraddinyuldashov80@gmail.com)

Султанов Фахриддин Пулатжанович – Бұхара мемлекеттік медицина институтының микробиология, вирусология және иммунология кафедрасының магистранты (Өзбекстан, Ургенч, электрондық пошта: faxriddinsultanov90@gmail.com)

Received June 23, 2025

Accepted August 20, 2025

ШОЛУ МАҚАЛАЛАР

REVIEW ARTICLES

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

M. Bakytzhanova¹*, K.Kh. Makhmudova¹,
A.U. Tuyakbayeva²

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*e-mail: maral.bakytzhanova@mail.ru

INTERNATIONAL EXPERIENCE OF RESEARCH ON PLANT BIODIVERSITY CONSERVATION

The relevance of this study is driven by the need to understand the role of plant diversity conservation in the face of global environmental challenges and is reflected in the growing number of publications in the Scopus database (1973–2024), where 44,334 works were identified using the search terms “conservation” and “biodiversity”. The aim is to reveal the main trends and directions emerging in the international scientific field focused on flora protection. The methodology is based on collecting and statistically processing publications, as well as conducting digital analyses that make it possible to determine research dissemination dynamics and assess the contributions of different scientific disciplines and institutions. The theoretical significance of the work lies in the systematization of scientific knowledge about ecosystem-based approaches to species conservation, the interdisciplinary nature of the research, and global scientific collaboration. Its practical significance of the study is determined by the possibility of using the results obtained to adjust environmental strategies, optimizing resource planning and form international collaboration. The results obtained demonstrate a significant increase in research interest, which is confirmed by a steady increase in the number of scientific publications, especially noticeable since the end of the 20th century and continuing to the present. The conclusions emphasize the critical importance of a comprehensive approach and concerted efforts by the scientific community, government bodies, and the public in ensuring the long-term maintenance of plant biodiversity worldwide.

Keywords: plant, conservation, biodiversity, environment, ecosystem.

М. Бакытжанова^{1*}, К.Х. Махмудова¹, А.У. Туякбаева²

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

²А.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

*e-mail: maral.bakytzhanova@mail.ru

Өсімдіктердің биоәртүрлілігін сақтау бойынша халықаралық зерттеу тәжірибесі

Бұл зерттеудің өзектілігі экологиялық сын-қатерлер жағдайында өсімдіктердің әртүрлілігін сақтаудың рөлін түсіну қажеттілігінен туындайды және Scopus (1973–2024 жылдар) мәліметтер базасындағы жарияланымдар санының статистикалық өсуінен көрінеді, онда “conservation” және “biodiversity” сұраныстары бойынша 44 334 жұмыс табылды. Мақсат-флораны қорғауға арналған халықаралық ғылыми салада қалыптасқан негізгі тенденциялар мен бағыттарды анықтау. Әдістеме басылымдарды жинауға және статистикалық өңдеуге, сондай-ақ зерттеулердің таралу динамикасын анықтауға және әртүрлі ғылыми пәндер мен институттардың үлестерін бағалауға мүмкіндік беретін талдаудың сандық түрлерін жүргізуге негізделген. Жұмыстың теориялық маңыздылығы түрлерді сақтаудың экожүйелік тәсілдері, зерттеулердің пәнаралық сипаты және жаһандық ғылыми кооперация туралы ғылыми білімді жүйелеу болып табылады. Зерттеудің практикалық маңыздылығы табиғатты қорғау стратегияларын түзету, ресурстық жоспарларды оңтайландыру және халықаралық ынтымақтастықты қалыптастыру үшін алынған нәтижелерді пайдалану мүмкіндігімен анықталады. Нәтижелер ғылыми қызығушылықтың айтарлықтай өсуін көрсетеді, бұл ғылыми жарияланымдар санының тұрақты өсуімен расталады, әсіресе XX ғасырдың аяғынан бастап қазіргі уақытқа дейін байқалады. Нәтижелер өсімдіктердің биоәртүрлілігін жаһандық деңгейде ұзақ мерзімді қолдау ісінде ғылыми қауымдастықтың, үкіметтік құрылымдардың және қоғамның кешенді көзқарасы мен бірлескен күш-жігерінің маңызды маңыздылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: өсімдік, табиғатты қорғау, биоәртүрлілік, қоршаған орта, экожүйе.

М. Бакытжанова^{1*}, К.Х. Махмудова¹, А.У. Туякбаева²

¹Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан

*e-mail: maral.bakytzhanova@mail.ru

Международный опыт исследований по сохранению биоразнообразия растений

Актуальность данного исследования продиктована необходимостью осмысления роли сохранения растительного разнообразия в условиях экологических вызовов и отражена в статистическом росте числа публикаций в базе данных Scopus (1973–2024 годы), где по запросам «conservation» и «biodiversity» обнаружено 44 334 работы. Цель состоит в том, чтобы выявить основные тенденции и направления, складывающиеся в международном научном поле, посвященном охране флоры. Методология опирается на сбор и статистическую обработку публикаций, а также проведение цифровых видов анализа, позволяющих определить динамику распространения исследований и оценить вклад различных научных дисциплин и институтов. Теоретическая значимость работы заключается в систематизации научных знаний об экосистемных подходах к сохранению видов, междисциплинарном характере исследований и глобальной научной кооперации. Практическая значимость исследования определяется возможностью использования полученных результатов для корректировки природоохранных стратегий, оптимизации ресурсных планов и формирования международных коллабораций. Полученные результаты демонстрируют значительное увеличение исследовательского интереса, что подтверждается устойчивым ростом числа научных публикаций, особенно заметным с конца XX века и сохраняющимся по настоящее время. Выводы указывают на критическую важность комплексного подхода и совместных усилий научного сообщества, правительственных структур и общественности в деле долгосрочного поддержания биоразнообразия растений на глобальном уровне.

Ключевые слова: растение, охрана природы, биоразнообразие, окружающая среда, экосистема.

Abbreviations and designations

NGO – National Government Organisation;
CNRS – French National Centre for Scientific Research;
INRAE – France’s National Research Institute for Agriculture, Food and Environment

Introduction

Plant biodiversity conservation is a key priority in modern science, as plant ecosystems play a crucial role in maintaining ecological balance and ensuring sustainable human development. Analyzing publications in the international Scopus database makes it possible to identify current trends, knowledge gaps, and promising research directions in this field. Such research is particularly relevant in the context of global climate change, degradation of natural landscapes, and increasing anthropogenic pressure, which call for enhanced scientific dialogue and knowledge exchange among researchers in different countries.

Under current conditions, in which ecosystems are experiencing increasingly evident transformations, specialists pay special attention to conserving plant biodiversity through the use of local species, comprehensive habitat restoration, and active community engagement. This is confirmed by numerous

studies showing, for example, the necessity of planting local flora in urban landscapes [1] and highlighting the importance of such flora in maintaining vital ecological functions [2]. They also point to the significant resilience of ecosystems to invasions and climate change when indigenous plants are introduced [3]. Meanwhile, effective measures for creating and maintaining migration corridors support species diversity [4], and overlooking the risk of gradual forest shading may reduce biological diversity levels [5]. In the context of combating invasive species, the benefits of comprehensive monitoring of community structure have been noted [6], which is particularly relevant when involving local residents in joint projects and agroecological programs [7, 8]. Restoration practices show promise for both the use of spontaneous succession in disturbed areas [9] and the incorporation of mutually beneficial interactions among species, including collaboration between plants and bivalves [10]. Meanwhile, managing peatlands with an awareness of climate fluctuations becomes both economically and ecologically significant [11], aligning with findings that indicate a tight link between microbial and plant diversity [12]. Engaging citizens in monitoring and supporting projects also brings about positive shifts in ecosystems [13, 14], while comprehensive planning and adaptive management aimed at both

preserving biodiversity and developing “green” energy help mitigate the impacts of fragmentation and climate change [15].

Between 1973 and 2024, 44,334 publications referring to “conservation” and “biodiversity” were recorded in the Scopus database, indicating growing scientific interest in protecting and conserving biodiversity. Researchers in the United States are the most active, with 11,037 papers, significantly outpacing colleagues in the United Kingdom (6,534) and Australia (5,177), reflecting strong support for environmental research in these countries. Notable contributions are also made by scientists in China (4,522) and Germany (3,746), along with countries in South America and Europe – such as Brazil (3,174), Canada (2,879), France (2,802), Spain (2,531), and Italy (2,479) – demonstrating the multidimensional nature of global collaboration. India (1,854) and South Africa (1,668) also represent substantial research capacity in developing regions, underscoring the value of a transnational approach to biodiversity conservation. Other participants include Switzerland (1,639), the Netherlands (1,528), Sweden (1,368), and Portugal (1,143), illustrating the distribution of interest across Europe. Latin American countries – such as Mexico (1,055), Argentina (630), and Chile (506) – showcase the region’s high environmental priorities, and the activity in Asian countries, including Japan (971) and Indonesia (870), highlights the wide geographic engagement in nature protection research. Even states with a relatively smaller number of publications, such as Kazakhstan (35) or Luxembourg (40), contribute to the overall body of knowledge in this area, indicating that biodiversity conservation extends beyond local boundaries and becomes a collective human challenge requiring multifaceted and cross-cultural cooperation.

Our study, *“Plant Biodiversity Conservation: A Scopus-Based Publication Analysis”*, aims to provide a comprehensive review of scientific literature retrieved by the keywords “conservation” and “biodiversity” and indexed in the Scopus database for the period from 1973 to 2024. We seek to identify major scientific trends, methodological approaches, and the most significant thematic areas shaping today’s agenda in plant conservation. Objectives include performing a quantitative analysis of publication activity, determining how interest in this issue has changed over time, and identifying the leading research groups and organizations influencing the development of this field. Special attention will be paid to defining the most influential journals and authors, examining the geographic distribution

of studies, and finding potential knowledge gaps. Based on the acquired data, we plan to outline promising future research directions, which will not only deepen our understanding of plant biodiversity conservation processes but also facilitate the design of effective ecosystem protection strategies at regional and global levels.

Studies devoted to ecological restoration and sustainable habitat management emphasize the need for an integrated approach that combines ecological, social, and economic dimensions, as reflected in the works by Wei et al. [16], Ma [17], Tian et al. [18], and Hong [19]. Rather than simply restoring the original structure of ecosystems, the objective is to enhance their functional potential in order to ensure long-term resilience against anthropogenic pressures and climate changes [20, 21]. A key factor is the prioritization of restoration areas based on analyses of ecological patterns [22, 23] and vulnerability [24], as well as the involvement of local communities and consideration of their needs to increase the effectiveness of implemented measures [25]. Moreover, the use of modern technologies such as remote sensing and geospatial modeling allows for a more accurate assessment of disturbed sites and the success of restoration activities [26], opening up prospects for more effective natural resource management.

In addition to on-site restoration of native communities, a variety of methods for preserving plant diversity outside their natural habitats are being explored. In-situ efforts include protecting species in their natural ecosystems and maintaining natural ecological interactions [27-29], whereas ex-situ approaches rely on establishing genetic resource repositories, botanical gardens, and similar facilities [30, 31]. The consolidation of these strategies is considered within the “One Plan Approach”, in which both methods complement each other to improve the chances of conserving and restoring endangered species [32-34]. Tools such as seed banking and genetic analysis help respond quickly to emergencies and supplement work in protected areas, forming a foundation for sustainably replenishing wild populations [35-38]. It is also important to take into account geographic and genetic gaps, as well as to engage local communities and farming enterprises, to strengthen the role of traditional knowledge and practices in plant conservation [39-41].

The involvement of local residents and the formation of effective policy in biodiversity conservation are directly linked to the successful implementation of the measures described. Valdez [42] shows how collaborative decision-making that includes

community input fosters sustainable planning in the Andes and provides a more precise information framework. Similar conclusions are drawn by Simon et al. [43], underscoring that cooperation among scientific institutions, authorities, and the public simplifies resource monitoring and heightens citizens' awareness. Vogel [44] likewise points to the importance of community participation in preserving remaining woodland areas in Malawi, while Madaki [45] and Crowley et al. [46] emphasize the value of traditional knowledge. The role of effective communication in conservation efforts is explored by Uggla [47], illustrating how the emotional aspect of policy can be essential for garnering public support. Citizen-led initiatives and citizen science projects [48, 49] add impetus to implementing probiodiversity practices, and the analysis of how local politics and NGOs affect conservation [50] indicates that accounting for social, economic, and cultural factors is key to successful environmental actions.

Hence, regarding these three aspects – ecosystem restoration, integrating in-situ and ex-situ strategies, and community involvement – it emerges that a comprehensive approach, where scientific advances, policy mechanisms, and social engagement reinforce one another, is most effective for preserving plant diversity.

Materials and methods

2.1 Materials

The analysis of publications addressing plant biodiversity conservation is based on a broad corpus of data collected over the period from 1973 to 2024, encompassing 44,334 academic works. Searches were performed in the Scopus database using the keywords “conservation” and “biodiversity”. The discovered materials exhibit considerable diversity in format, with the majority accounted for by scientific articles (34,988), followed by reviews (3,899), conference papers (2,215), book chapters (914), as well as notes (675) and letters (644). A smaller yet noteworthy proportion of publications consists of short surveys (491), editorials (325), books (89), “Data Papers” (69), retracted articles (9), reports (7), errata (6), and conference reviews (3). This wide range of publication types illustrates the interdisciplinary nature of the topic and highlights the variety of research perspectives.

Among the journals most frequently publishing works in the selected area, *Biological Conservation* (1,786), *Conservation Biology* (1,406), *Biodiversity and Conservation* (1,378), *PLOS ONE* (1,197), and *Forest Ecology and Management* (988) stand out.

Science of the Total Environment (939), *Ecological Indicators* (829), *Journal of Environmental Management* (737), *Nature* (716), and *Science* (714) also make noteworthy contributions. This distribution of publications indicates that plant biodiversity conservation involves not only strictly biological and ecological dimensions, but also a wide range of related fields – from resource management to analyzing anthropogenic impacts on ecosystems. In addition, specialized journals focusing on particular aspects of ecology, forestry, and agriculture (e.g., *Forests and Agriculture*, *Ecosystems and Environment*), as well as comprehensive interdisciplinary outlets such as *Scientific Reports* and *Global Change Biology*, further broaden the landscape. Such a breadth of coverage and variety of sources supply a foundation for an all-encompassing investigation into the evolution of scientific interest and trends in plant conservation studies, as well as for identifying advanced practices for ecosystem preservation.

2.2 Instrument

Initial processing and statistical evaluation of the collected sample are performed using the SPSS software package, which enables basic descriptive analyses (means, medians, modes, standard deviations). The choice of this tool is justified by its recognized efficiency for handling extensive data sets, its flexibility in result visualization, and its wide array of statistical methods suitable for environmental and related scientific research.

2.3 Procedure

At the initial stage, data was collected through a targeted search for publications in the Scopus database. The search filters took into account the time frame (1973–2024), as well as the specified keywords relevant to the research topic. Further, each entry (article, review, conference report, etc.) was pre-sorted to remove duplicate results and materials unrelated to the topic. At the same step, a database was created indicating the type of source, the year of publication, the name of the journal, the list of authors, and other metadata.

The second stage was the statistical processing of the selected materials using SPSS. Here, general indicators of publication activity were calculated, the distribution of works by year, and the main statistical characteristics (averages, medians, and standard deviations) were identified.

In the final step, content analysis tools were used for qualitative research of text fields and metadata. As part of this analysis, the encoding of the most frequently encountered keywords, expressions, and thematic areas was carried out. The results of statistical and content analysis were summarized in gen-

eral diagrams, tables and graphs, forming a systematic picture of research activity, which provided a holistic view of the structure, focuses and dynamics of accumulated scientific knowledge on plant biodiversity conservation.

Results and discussion

A comprehensive statistical and content analysis made it possible to identify a number of key trends and focal points in studies on plant diversity conservation and protection. As part of the analysis, changes in publication counts over time were examined, providing insights into how scientific interest evolved during the observation period. The geographic scope of research indicated the contribution of various countries to the development of this field, revealing worldwide distribution of researcher activity. Investigation into branches of knowledge and leading organizations shed light on the most influential research centers shaping the study agenda. An analysis of journals identified major platforms

for publishing relevant works, while an assessment of keywords in article titles helped pinpoint principal thematic focuses and the most frequent terms. Finally, the study of citations enabled the selection of the most influential research, which frames the current debate and sets the course for the ongoing advancement of scientific thought in this domain.

An examination of the number of publications from 1973 to 2024 related to plant diversity conservation showed a stable upward trend. In the early part of this timeline, data were almost absent (only isolated studies appeared in 1973, and for an extended period afterward no publications were recorded), but starting in the mid-1990s, a gradual increase was observed. A more marked rise began after the year 2000: from 260 works in 2000 to 1,486 in 2010, underscoring the growing interest among researchers in plant biodiversity issues. From 2011 onward, the number of publications has continued to climb, reaching 2,880 by 2020 and 3,251 by 2021, indicating heightened global scientific attention to the topic (Figure 1).

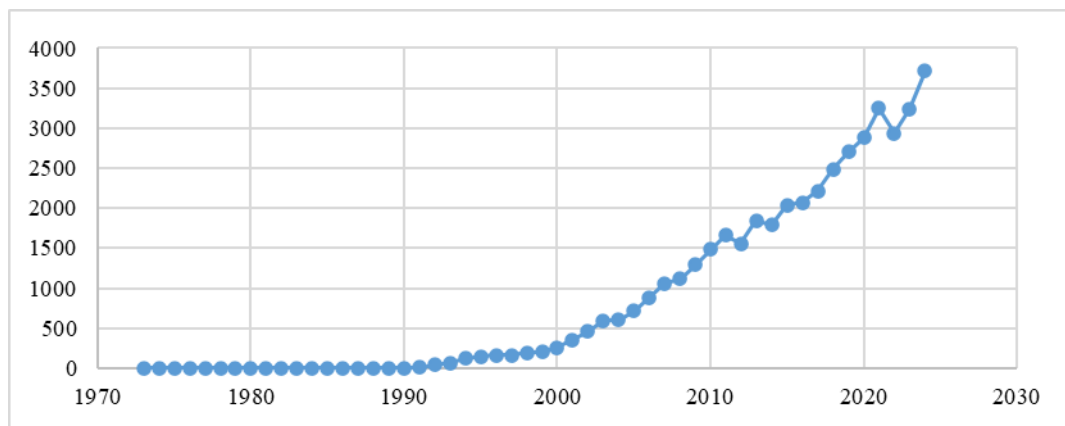


Figure 1 – Dynamics of publication activity in plant biodiversity conservation research: analysis of Scopus data for 1973–2024

(Source: authors' calculations based on Scopus-indexed publications)

Against the backdrop of this growth, a maximum value (3,716) was recorded in 2024, pointing to a further expansion of research interest. High figures for 2023 (3,242 publications) and 2022 (2,934) likewise underscore that ongoing support for public awareness campaigns and scientific programs related to protecting and restoring plant communities continues to drive active publishing. The consistent increase in the number of studies, particularly in the last few decades, indicates that plant biodiversity conservation research has firmly established itself in the scientific

discourse, promoting the growth of multidisciplinary research and informing scientifically grounded environmental management strategies.

An analysis of the geographical distribution of publications on plant biodiversity conservation shows the United States in the lead, with 11,037 works. Next are the United Kingdom (6,534) and Australia (5,177), highlighting the active involvement of researchers from these countries in advancing this scientific area. China (4,522) and Germany (3,746) complete the top five, demonstrating sub-

stantial contributions from their research teams and confirming the extensive international character of the subject matter. Brazil (3,174), Canada (2,879), France (2,802), Spain (2,531), and Italy (2,479) also

register significant figures, forming a top-10 group of countries with the highest volume of publications, and reflecting a diverse range of interest in the topic (Figure 2).

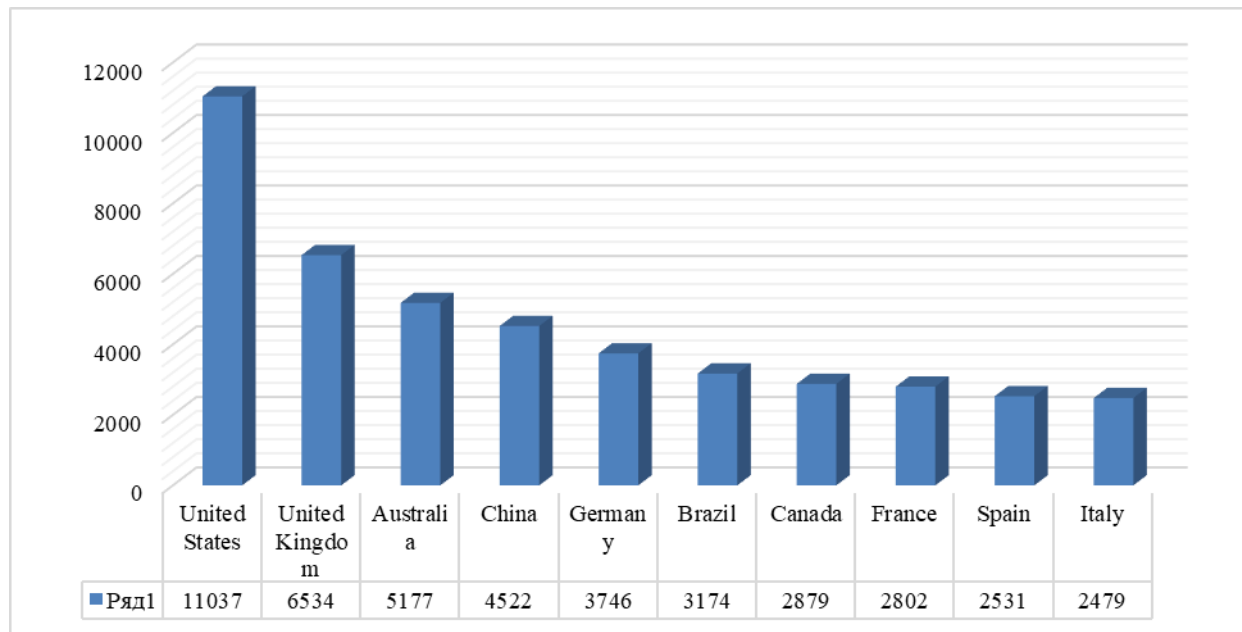


Figure 2 – Top 10 countries by the number of publications on plant biodiversity conservation: analysis of Scopus data for 1973–2024

(Source: authors' calculations based on Scopus-indexed publications)

Other nations – ranging from India (1,854) to Kazakhstan (35) – also make a notable contribution to the global body of knowledge, underscoring that the protection of natural resources and the genetic diversity of plants resonates worldwide. Examination of this distribution not only reveals the scientific activity in each country but also clarifies the extent of national research development on this issue, the level of collaboration among states, and the opportunities for mutually beneficial exchange of expertise aimed at more effective solutions to the planet's environmental challenges.

An analysis of publication distribution by field of knowledge showed that studies on plant biodiversity conservation are most actively pursued in Environmental Science (27,137 works) and Agricultural and Biological Sciences (24,624), underscoring the priority of ecological and biological dimensions in this subject area. Meanwhile, a sizable portion of publications is found in Social Sciences (4,936), pointing to the importance of a sociocultural context and an interdisciplinary perspective in nature

conservation. Multidisciplinary (3,791) also plays a substantial role, combining research that cuts across different scientific domains and promotes a holistic examination of how ecosystems and societies interact (Figure 3).

Other fields, including Earth and Planetary Sciences (3,605) and Biochemistry, Genetics and Molecular Biology (3,519), reflect the fundamental underpinnings of biodiversity research and the search for genetic adaptation mechanisms in plants. Engineering (1,284), Computer Science (1,271), and Energy (1,219) illustrate the development of applied approaches, examining technological solutions for preserving biodiversity and optimizing energy and technical processes with ecological requirements in mind. Medicine (1,159), Decision Sciences (996), and Economics, Econometrics and Finance (872) round out the overall picture, emphasizing health issues, socio-economic analysis, and policymaking considerations – factors without which it is difficult to realistically assess and implement strategies for safeguarding plant diversity.

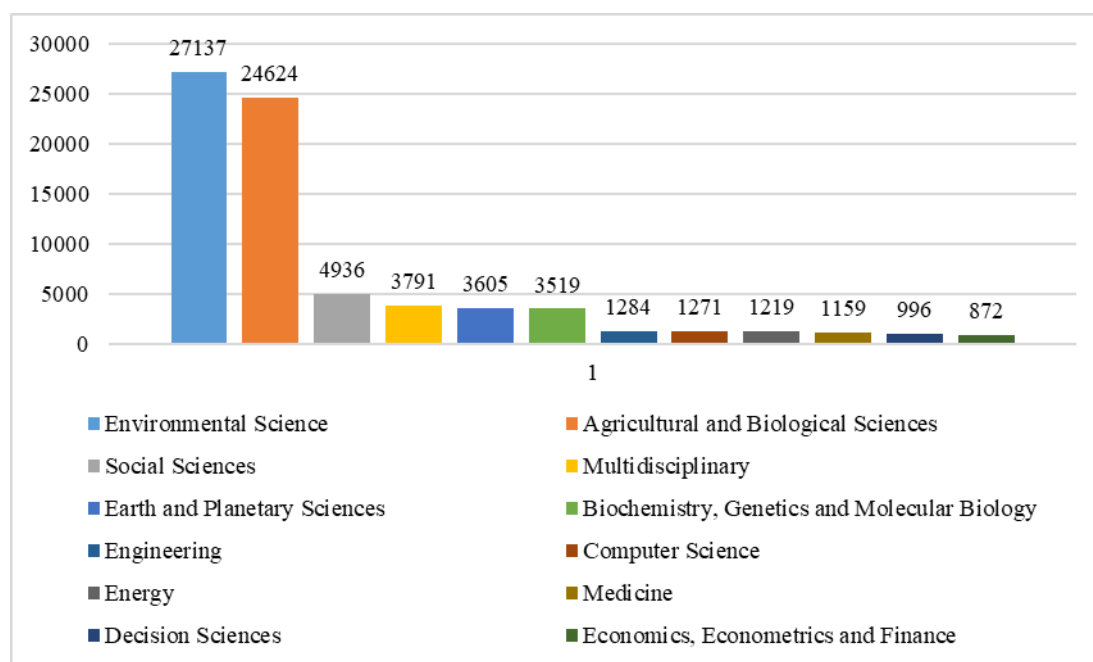


Figure 3 – Top 12 fields by the number of scientific publications on plant biodiversity conservation: analysis of Scopus data for 1973–2024
(Source: authors' calculations based on Scopus-indexed publications)

An analysis of publication counted by organizations indexed in Scopus indicates a high concentration of scientific activity in the largest research centers. Leading the list is the Chinese Academy of Sciences (1,558 works), followed by the CNRS Centre National de la Recherche Scientifique (1,270) and The University of Queensland (1,026), attesting to these institutions' particular focus on environmental issues. The University of Oxford

(662) and the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (658) also significantly advance research in plant diversity conservation. INRAE (640), Sveriges lantbruksuniversitet (614), the University of Cambridge (608), Wageningen University & Research (588), and the University of Chinese Academy of Sciences (582) complete the top 10, underscoring its multinational character (Figure 4).

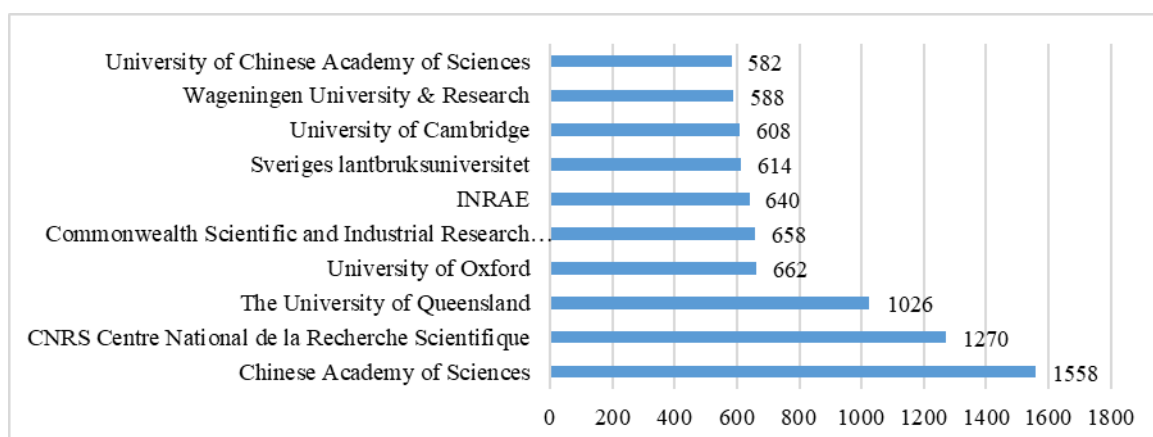


Figure 4 – Top 10 organizations by the number of scientific publications on plant biodiversity conservation: analysis of Scopus data for 1973–2024
(Source: authors' calculations based on Scopus-indexed publications)

In addition to these entities, others such as Nature Conservancy (581), The Australian National University (557), James Cook University (554), and various other educational and conservation organizations actively study and implement practices for preserving plant communities. The considerable presence of universities, research institutes, and NGOs in this list highlights the global scale and broad spectrum of research interests aimed at solving major environmental problems.

An examination of the contribution of scientific journals to studies on plant biodiversity conservation

points to a clear lead for *Biological Conservation*, with 1,786 publications, followed by *Conservation Biology* (1,406) and *Biodiversity and Conservation* (1,378). *PLOS ONE* (1,197), *Forest Ecology and Management* (988), and *Science of the Total Environment* (939) also hold steady positions. By synthesizing findings from diverse research areas – ranging from applied cases to general theoretical issues – these journals help form a systematic understanding of tasks related to ecosystem protection and the genetic diversity of plants, while fostering new approaches to restoring natural landscapes (Figure 5).

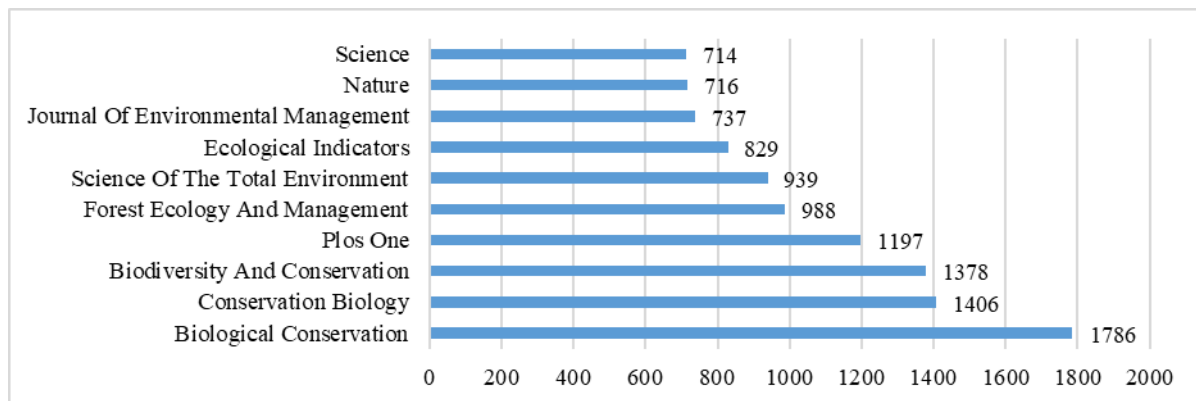


Figure 5 – Top 10 scientific journals by the number of publications on plant biodiversity conservation: analysis of Scopus data for 1973–2024
(Source: authors' calculations based on Scopus-indexed publications)

The ranking also includes journals covering related facets of ecology, sustainable resource use, and applied research, such as *Ecological Indicators* (829), *Journal of Environmental Management* (737), *Nature* (716), and *Science* (714). The presence of both specialized journals focusing on conservation and high-profile general-interest journals underscores the significance of the topic for a wide range of researchers and demonstrates the multidisciplinary character of modern scholarship on plant diversity conservation.

Occupying top positions by citation count are foundational works that address various aspects of biodiversity conservation and the related ecological risks. The most-cited publication is “*Biodiversity hotspots for conservation priorities*” by Myers, N., Mittermeyer, R.A., Mittermeyer, C.G., Da Fonseca, G.A.B., and Kent, J. (2000), with 22,942 referenc-

es, highlighting its role in shaping major directions in nature conservation studies. Next are “*Global consequences of land use*” (Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., et al., 2005) with 9,782 citations and “*A safe operating space for humanity*” (Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., et al., 2009) with 8,404, reflecting a strong focus on land-use change and global environmental security. Also included in this group of highly influential publications are “*Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems*” (Willett, W., Rockström, J., Loken, B., et al., 2019), with 6,329 citations, and “*Solutions for a cultivated planet*” (Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., et al., 2011) with 5,913, underscoring the significant role of the food system in the context of ecology and global development (Table 1).

Table 1 – Top 10 most-cited works in plant biodiversity conservation: Scopus-based analysis for 1973–2024

Title of the Work	Authors	Source	Year	Citations
<i>Article 1. Biodiversity hotspots for conservation priorities</i>	Myers, N., Mittermeyer, R.A., Mittermeyer, C.G., Da Fonseca, G.A.B., Kent, J.	<i>Nature</i> , 403(6772), стр. 853–858	2000	22942
<i>Review 2. Global consequences of land use</i>	Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Ramankutty, N., Snyder, P.K.	<i>Science</i> , 309(5734), стр. 570–574	2005	9782
<i>Short Survey 3. A safe operating space for humanity</i>	Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Crutzen, P., Foley, J.A.	<i>Nature</i> , 461(7263), стр. 472–475	2009	8404
<i>Review 4. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems</i>	Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Nishtar, S., Murray, C.J.L.	<i>The Lancet</i> , 393(10170), стр. 447–492	2019	6329
<i>Article 5. Solutions for a cultivated planet</i>	Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Tilman, D., Zaks, D.P.M.	<i>Nature</i> , 478(7369), стр. 337–342	2011	5913
<i>Article 6. Extinction risk from climate change</i>	Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Phillips, O.L., Williams, S.E.	<i>Nature</i> , 427(6970), стр. 145–148	2004	5857
<i>Review 7. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems</i>	Ostrom, E.	<i>Science</i> , 325(5939), стр. 419–422	2009	5426
<i>Review 8. Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges</i>	Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Stiassny, M.L.J., Sullivan, C.A.	<i>Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society</i> , 81(2), стр. 163–182	2006	5424
<i>Article 9. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture</i>	Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., Befort, B.L.	<i>Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America</i> , 108(50), стр. 20260–20264	2011	5404
<i>Article 10. Global threats to human water security and river biodiversity</i>	Vörösmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Liermann, C.R., Davies, P.M.	<i>Nature</i> , 467(7315), стр. 555–561	2010	5346

(Source: Authors' calculations based on the database of indexed articles in Scopus; Export Date: 4 January 2025)

Also noteworthy are other works, including “*Extinction risk from climate change*” (Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., et al., 2004), cited 5,857 times, as well as “*A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems*” (Ostrom, E., 2009) and “*Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges*” (Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., et al., 2006), with 5,426 and 5,424 citations respectively, indicating the interdisciplinary nature of this research and the widespread demand for its results in scientific discussions. Publications such as “*Global food demand and the sustainable intensification of agriculture*” (Tilman, D., Balzer, C., Hill,

J., Befort, B.L., 2011; 5,404 citations) and “*Global threats to human water security and river biodiversity*” (Vörösmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., et al., 2010; 5,346 citations) round out the top 10, underscoring strong interest in agricultural production, water security, and the preservation of freshwater ecosystems in the context of overall sustainable development.

An analysis of the five most-cited articles reveals principal lines of research in the study of linguistic conflicts and the interplay of language with human cognitive and emotional processes. In “Correspondence of the brain’s functional architecture during activation and rest” by Smith et al. (2009), resting-

state fMRI was used to explore structural connectivity in the brain, potentially resolving language conflicts at the neural level. Accumulating 3,947 citations, this article emphasizes the importance of investigating the brain's functional architecture to elucidate how language perception and regulation operate.

A comparative analysis of five of the most significant studies on plant biodiversity conservation reveals a range of theoretical and applied approaches to addressing global environmental issues. The review includes “*Biodiversity hotspots for conservation priorities*” (Myers, N., Mittermeyer, R.A., Mittermeyer, C.G., et al., 2000),

“*Global consequences of land use*” (Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., et al., 2005), “*A safe operating space for humanity*” (Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., et al., 2009), “*Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems*” (Willett, W., Rockström, J., Loken, B., et al., 2019), and “*Solutions for a cultivated planet*” (Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., et al., 2011). These works employ both qualitative and quantitative methods, along with interdisciplinary principles, to elucidate the link between the state of natural ecosystems, agricultural production, and human well-being (Table 2).

Table 2 – Top 5 comparative analysis of studies on plant biodiversity conservation: methods, results, and conclusions (top 5)

<i>Authors</i>	<i>The title of the work</i>	<i>Methods Used</i>	<i>Results</i>	<i>Conclusions</i>
Myers, N., Mittermeyer, R.A., Mittermeyer, C.G., Da Fonseca, G.A.B., Kent, J.	<i>Article</i> 1. Biodiversity hotspots for conservation priorities	The study employed a combination of qualitative and quantitative analyses to identify and evaluate biodiversity hotspots. The researchers expanded their criteria to include 25 hotspots, requiring that each hotspot contain endemic plant species comprising at least 0.5% of all plant species worldwide. The analysis incorporated data from over 100 scientists with extensive experience in the relevant countries and utilized around 800 references from the professional literature. Key questions regarding species/area ratios and congruence among taxa were also addressed, allowing for a comprehensive assessment of biodiversity in these critical regions.	The findings revealed that the identified hotspots contain a significant number of endemic species, with the total number of endemics being almost three times greater than in previous studies. For instance, the Tropical Andes was noted to have at least 20,000 known plant endemics, while the Cape Floristic Province was reported to have exactly 5,682 known plant endemics. The study highlighted the variability in data precision and accuracy, emphasizing that while some figures are rounded, they still provide a sound basis for conservation prioritization. The results underscored the urgent need for targeted conservation efforts in these biodiversity-rich areas.	The study concluded that focusing conservation efforts on biodiversity hotspots is essential for maximizing the impact of limited resources. By identifying and prioritizing these areas, conservation planners can effectively address the threats faced by unique species and their habitats. The authors argued that even in the face of data uncertainty, it is crucial to evaluate potential hotspots to ensure that their conservation needs are recognized and addressed. Ultimately, the research advocates for a strategic approach to conservation that prioritizes regions with high levels of endemism and significant threats, thereby enhancing global biodiversity preservation efforts.

Continuation of the table

<i>Authors</i>	<i>The title of the work</i>	<i>Methods Used</i>	<i>Results</i>	<i>Conclusions</i>
Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Ramankutty, N., Snyder, P.K.	<i>Review</i> 2. Global consequences of land use	In the article «Global Consequences of Land Use,» Jonathan A. Foley employs a comprehensive review of existing literature and data to analyze the impacts of land use on global ecosystems and agricultural productivity. The study synthesizes findings from various disciplines, including ecology, geography, and environmental science, to assess the effects of land conversion, agricultural practices, and urbanization on biodiversity, soil health, and ecosystem services. By integrating quantitative data on land use changes with qualitative assessments of ecological consequences, the research provides a holistic view of the challenges posed by modern land management practices.	The results of Foley's research indicate significant negative consequences of current land use practices on both agricultural productivity and ecological health. The study highlights that approximately 1.5 million hectares of arable land are lost annually due to salinization and soil degradation, leading to an estimated \$11 billion in lost agricultural production. Furthermore, it reveals that up to 40% of global croplands are experiencing issues such as soil erosion, reduced fertility, and overgrazing. The findings also emphasize the detrimental effects of habitat loss on pollinator populations, which are crucial for food production, thereby illustrating a trade-off between short-term agricultural gains and long-term sustainability.	Foley concludes that modern agricultural practices, while aimed at increasing food production, often result in long-term ecological damage that undermines future agricultural viability. The article calls for a reevaluation of land use strategies to prioritize sustainable practices that balance food security with environmental conservation. It advocates for integrated land management approaches that consider the ecological impacts of land use decisions, emphasizing the need for policies that promote biodiversity, soil health, and the preservation of ecosystem services essential for sustaining agricultural productivity in the long run.
Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Crutzen, P., Foley, J.A.	<i>Short Survey</i> 3. A safe operating space for humanity	The article employs a framework based on the concept of «planetary boundaries» to assess the limits within which humanity can safely operate without causing significant environmental degradation. This framework integrates data from various scientific disciplines, including ecology, climate science, and biogeochemistry. The authors analyze key Earth-system processes and their control variables, using both qualitative and quantitative methods to evaluate the current state of these processes against established thresholds.	The findings indicate that three of the nine identified planetary boundaries—namely, the rate of biodiversity loss, climate change, and human interference with the nitrogen cycle—have already been exceeded. The analysis reveals that these transgressions pose significant risks to the resilience of Earth's systems, potentially leading to abrupt and irreversible changes. The results underscore the urgent need for global action to mitigate these impacts and restore balance within the Earth system.	The article concludes that humanity is approaching critical thresholds that could lead to catastrophic environmental changes if not addressed promptly. It emphasizes the importance of recognizing and respecting planetary boundaries as a means to ensure sustainable development. The authors call for immediate and coordinated global efforts to reduce human impacts on the environment, highlighting that failure to act could result in severe consequences for both ecosystems and human societies.

(Source: authors' calculations based on Scopus-indexed articles; top 10 by number of citations)

The analysis of methods shows that – from identifying endemic “hotspots” of flora to assessing the impact of agricultural practices on soil and climate – the authors provide a comprehensive view of priority tasks in environmental conservation. The results, whether highlighting the rapid loss of biodiversity, evaluating risks to the food system, or defining planetary boundaries, underscore the pressing need for global actions and strategic planning. In their conclusions, the researchers unanimously point out that only by shifting toward sustainable resource management, preserving crucial ecosystem functions, and prioritizing the protection of unique endemic species can we ensure the long-term stability of the biosphere and the well-being of future generations.

Overall, the statistical and content analysis conducted indicates a sustained and steadily increasing interest among the global scientific community in plant biodiversity conservation, fostered by the interdisciplinary nature of research, broad geographic coverage, and the active role of large scientific organizations and journals. Year-by-year publication trends show a remarkable growth in the number of studies, confirming the lasting importance of the topic and its strong foothold in recent decades’ scientific discourse. Geographic distribution data reflect the involvement of researchers from almost every region of the globe and the formation of international scientific networks aimed at tackling key environmental problems. Examination of subject areas reveals a leading role for ecology and biology, while also highlighting the contributions of social, economic, and technical fields, illustrating the multifaceted tasks of nature protection. Analysis of leading organizations points to a handful of major research centers that generate a significant volume of results and shape the primary directions of scientific inquiry, while the study of prominent journals underscores the widespread demand for this topic both in specialized and interdisciplinary outlets. Finally, the assessment of citation counts for key publications and the review of methodological features in the most notable works confirm that sustainable ecosystem management, strategic prioritization of protected areas, and the synthesis of knowledge from multiple scientific spheres remain fundamental requirements for effective plant diversity conservation.

The goal of this study was to systematize and characterize publication activity related to plant biodiversity conservation based on Scopus data, encompassing an analysis of publication trends, geographic distribution, subject-area structures, leading

scientific organizations and sources, as well as the most-cited works.

A noticeable and steady rise in publications since the late 20th century underscores an increasing concern for flora conservation and demonstrates the scientific community’s recognition of the significance of this topic. Active research has been identified in numerous world regions, with leading participation from countries that possess traditionally strong scientific infrastructures and extensive experience in environmental studies, as confirmed by the quantity and quality of their publications.

Subsequent analysis showed that in addition to biological and ecological investigations, a substantial portion of studies is devoted to social, economic, and engineering approaches to preserving plant diversity. These interdisciplinary aspects underscore the need for integrated studies that bring together knowledge from various scientific domains, while the high citation rate of key articles reflects the relevance and value of their findings in global science.

The outcomes indicate that sharpening the focus on plant biodiversity conservation could substantially improve nature protection strategies, lead to more effective management and legislative frameworks, and foster the development of international partnerships and collaborations. Expanding and refining the empirical data pool will enhance the understanding of ecosystem processes, which in turn will boost the effectiveness of existing programs and help shape new initiatives targeting the long-term safeguarding of vulnerable plant communities. Notably, insight into genetic and ecosystem-level processes, as well as an assessment of the socio-economic factors influencing plant health, enables a more targeted and specific approach to preserving and restoring plant resources. Such a comprehensive strategy ultimately strengthens ecological stability in various regions and promotes a globally resilient network of natural systems.

Looking forward, the development of more precise biodiversity monitoring methods – including remote sensing and genetic analysis – and collaboration among research teams in diverse regions and fields are recommended for an all-encompassing perspective on the challenges. Particular attention should be paid to the economic, cultural, and social factors shaping decision-making around plant ecosystems, ensuring that proposed strategies remain both viable and grounded. The use of Big Data and innovative digital platforms for collecting, analyzing, and sharing information opens the door to quicker, more accurate scientific conclusions, potentially guiding adaptive policies and manage-

ment solutions. Involving local communities and NGOs in the planning and execution of flora protection measures, as well as advancing citizen science initiatives, can significantly broaden the scale and accelerate the pace of data gathering. Ultimately, effectively addressing the tasks of plant biodiversity conservation requires consolidated efforts among researchers, governments, international organizations, and businesses, guaranteeing a long-term and ecologically responsible utilization of resources.

Conclusion

The analysis performed enabled the tracing of a multi-decade trajectory of scientific interest in plant biodiversity conservation and identified key clusters of research activity. The rise in the number of publications, particularly in recent decades, points to heightened attention to ecological issues and underscores the necessity of strategic approaches that incorporate not only biological and genetic concerns, but also social, economic, and political factors. Pinpointing the major global research centers and leading journals in this field indicates the existence of established collaborative networks among researchers, experts, and practitioners working collectively to address the challenge of preserving unique flora.

The multifaceted nature of research-ranging from specialized morphological and genetic studies to wide-ranging reviews of ecosystem services and resource management policies – demonstrates the significance of an interdisciplinary approach. Aspects such as community involvement, the examination of legislative measures, and the application of remote sensing and other digital technologies have become crucial parts of a comprehensive strategy that can ensure long-term effectiveness in conserva-

tion efforts. The high citation counts of numerous fundamental and applied studies signal the broad demand for results that define future research pathways and establish a scientific base for management decisions.

The consolidation of knowledge and experience accumulated across different countries, as well as the adaptation of proven best practices to local contexts, are pivotal in enhancing the success of measures aimed at preserving and restoring valuable ecosystems. A deep understanding of biodiversity dynamics, including evaluating extinction risks and habitat shifts due to climate change or anthropogenic factors, offers opportunities for proactive planning. Global partnerships that unite scientists, policymakers, the business sector, and civil society can be a mainstay for creating more sustainable economic models oriented toward safeguarding natural heritage. This form of cooperation overcomes fragmented efforts and unifies diverse resources to support strategic research, implement new technologies, and launch outreach programs dedicated to fostering a culture of responsible stewardship toward plant life.

Conflict of interest

All authors read this article and were acquainted with the article content and they have no conflicts of interest.

Funding

This work was implemented within the framework of an education grant from the Ministry of Science and High Education of the Republic of Kazakhstan for the title of PhD in Biology, 2023-2025.

References

1. Serova, K. Plants of residential and industrial zones of Cherepovets //E3s Web of Conferences. – 2023. – 407. – 01010 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340701010>.
2. Haq, S., Pieroni, A., Bussmann, R., Abd-ElGawad, A., & Elansary, H. Integrating traditional ecological knowledge into habitat restoration: implications for meeting forest restoration challenges //Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine. – 2023. – 19(1). <https://doi.org/10.1186/s13002-023-00606-3>
3. Li, Y. and Gornish, E. General attributes and practice of ecological restoration in arizona and california, u.s.a., revealed by restoration stakeholder surveys //Restoration Ecology – 2020. – 28(5). – P. 1296-1307. <https://doi.org/10.1111/rec.13221>
4. Mokany, K., Prasad, S., & Westcott, D. Impacts of climate change and management responses in tropical forests depend on complex frugivore-mediated seed dispersal. //Global Ecology and Biogeography,– 2015. – 24(6). – P. 685-694. <https://doi.org/10.1111/geb.12292>
5. Vild, O. Long-term shift towards shady and nutrient-rich habitats in central european temperate forests. //New Phytologist. – 2024. – 242(3). – P. 1018-1028. <https://doi.org/10.1111/nph.19587>
6. Mugwedi, L., Egoh, B., Ramdhani, S., Slotow, R., & Rentería, J. An assessment of a community-based, forest restoration programme in durban (ethekweni), south africa //Forests. – 2017. – 8(8). – P. 255. <https://doi.org/10.3390/f8080255>

7. Ansell, D., Fifield, G., Munro, N., Freudenberger, D., & Gibbons, P. Softening the agricultural matrix: a novel agri-environment scheme that balances habitat restoration and livestock grazing // *Restoration Ecology*. – 2015. – 24(2). – P. 159-164. <https://doi.org/10.1111/rec.12304>
8. Bois, S. (2023). Challenges, successes, and recommendations for management of coastal sandplain grasslands as regional biodiversity hotspots in the northeastern united states // *Restoration Ecology*. – 2023. – 31(5). <https://doi.org/10.1111/rec.13928>
9. Cudlín, O., Řehák, Z., & Cudlín, P. (2016). Development of soil characteristics and plant communities on reclaimed and un-reclaimed spoil heaps after coal mining // *Top Conference Series Earth and Environmental Science*. – 2016. – 44. – 052030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/44/5/052030>
10. Gagnon, K., Rinde, E., Bengil, E., Carugati, L., Christianen, M., Danovaro, R., ... & Boström, C. (2020). Facilitating foundation species: the potential for plant–bivalve interactions to improve habitat restoration success // *Journal of Applied Ecology*. – 2020. – 57(6). – P. 1161-1179. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13605>
11. Rana, P. Cost-efficient management of peatland to enhance biodiversity in finland // *Scientific Reports*. – 2024. – 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52964-x>
12. Guo, Y., Hou, L., Zhang, Z., Zhang, J., Cheng, J., Wei, G., ... & Lin, Y. Soil microbial diversity during 30 years of grassland restoration on the loess plateau, china: tight linkages with plant diversity. *Land Degradation and Development*. – 2018. – 30(10). – 1172-1182. <https://doi.org/10.1002/ldr.3300>
13. Nicia, P., Bejger, R., Sterzyńska, M., & Zdrożny, P. (2020). Passive restoration of the mountain fens of the caltho alnetum community in the babia góra national park. *Geomatics and Environmental Engineering*, 14(2), 73-81. <https://doi.org/10.7494/geom.2020.14.2.73>
14. Gong, J., Xie, Y., Cao, E., Huang, Q., & Li, H. Integration of invest-habitat quality model with landscape pattern indexes to assess mountain plant biodiversity change: a case study of bailongjiang watershed in gansu province. *Journal of Geographical Sciences*. – 2019. – 29(7). – P. 1193-1210. <https://doi.org/10.1007/s11442-019-1653-7>
15. Stoddard, M., Miller, D., Thetford, M., & Branch, L. If you build it, will they come? use of restored dunes by beach mice // *Restoration Ecology*. – 2018. – 27(3). – P. 531-537. <https://doi.org/10.1111/rec.12892>
16. Wei, X., Song, W., Shao, Y., & Cai, X. Progress of ecological restoration research based on bibliometric analysis // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – 20(1). – 520. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010520>
17. Ma, B. Prioritization of ecological conservation and restoration areas through ecological networks: a case study of nanchang city, China // *Land*. – 2024. – 13(6). – 878. <https://doi.org/10.3390/land13060878>
18. Tian, M., Gao, J., & Yang, Z. Strategies of ecological restoration based on the processes of ecological degradation // *Atlantis Press: International Forum on Energy, Environment and Sustainable Development (IFEESD 2016)* – 2016. <https://doi.org/10.2991/ifeesd-16.2016.44>
19. Hong, W. Recovery capacity and ecological restoration strategy of urban green space based on the self-organization–resilience model // *Land Degradation and Development*. – 2023. – 35(1). – P. 76-87. <https://doi.org/10.1002/ldr.4898>
20. Paschke, M., Perkins, L., & Veblen, K. Restoration for multiple use // *Restoration Ecology*. – 2019. – 27(4). – P. 701-704. <https://doi.org/10.1111/rec.12949>
21. Huang, F., Lin, Y., Zhao, R., Qin, X., Chen, Q., & Lin, J. Dissipation theory-based ecological protection and restoration scheme construction for reclamation projects and adjacent marine ecosystems // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2019. – 16(21). – 4303. <https://doi.org/10.3390/ijerph16214303>
22. Liu, L., Song, W., Zhang, Y., Han, Z., Han, L., Yang, D., ... & Huang, Q. Zoning of ecological restoration in the qilian mountain area, china. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2021. – 18(23). – P. 12417. <https://doi.org/10.3390/ijerph182312417>
23. Zhang, H., Li, J., Tian, P., Pu, R., & Cao, L. Construction of ecological security patterns and ecological restoration zones in the city of ningbo, china // *Journal of Geographical Sciences*. – 2022. – 32(4). – P. 663-681. <https://doi.org/10.1007/s11442-022-1966-9>
24. Du, L. Identification of priority areas for ecological restoration in coal mining areas with a high groundwater table based on ecological security pattern and ecological vulnerability // *Sustainability*. – 2023. – 16(1). – 159. <https://doi.org/10.3390/su16010159>
25. Maniraho, L., Frietsch, M., Sieber, S., & Löhr, K. People's participation in social-ecological restoration toward a framework for drivers fostering social-ecological restoration within forest landscape // *Research Square*. – 2023. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2617117/v1>
26. Yuan, M., Ouyang, J., Shi, Z., Tian, Y., Sun, R., Bao, R., ... & Zhu, Y. Research on ecological effect assessment method of ecological restoration of open-pit coal mines in alpine regions // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – 19(13). – 7682. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137682>
27. Rossi, G., Orsenigo, S., Montagnani, C., Fenu, G., Gargano, D., Peruzzi, L., ... & Abeli, T. Is legal protection sufficient to ensure plant conservation? the italian red list of policy species as a case study // *Oryx*. – 2015. – 50(3). – P. 431-436. <https://doi.org/10.1017/s003060531500006x>
28. Cecco, V., Santo, M., Musciano, M., Manzi, A., Cecco, M., Ciaschetti, G., ... & Martino, L. The majella national park: a case study for the conservation of plant biodiversity in the italian apennines // *Italian Botanist*. – 2020. – 10. – P. 1-24. <https://doi.org/10.3897/italianbotanist.10.52952>
29. Mestanza-Ramón, C., Henkanaththegedara, S., Duchicela, P., Tierras, Y., Sánchez, M., Mejía, D., ... & Ramón, P. *In-situ* and *ex-situ* biodiversity conservation in ecuador: a review of policies, actions and challenges // *Diversity*. 2020. – 12(8). – P. 315. <https://doi.org/10.3390/d12080315>

30. Gao, H., Jiang, F., Zhang, J., Chi, X., Song, P., Li, B., ... & Zhang, T. Effects of ex situ conservation on diversity and function of the gut microbiota of the tibetan wild ass (*Equus kiang*) //Integrative Zoology. – 2023. – 18(6). – P. 1089-1104. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12726>
31. Farhadinia, M., Johnson, P., Zimmermann, A., McGowan, P., Meijaard, E., Stanley-Price, M., ... & Macdonald, D. *Ex situ* management as insurance against extinction of mammalian megafauna in an uncertain world //Conservation Biology. – 2020. – 34(4). – P. 988-996. <https://doi.org/10.1111/cobi.13496>
32. Braverman, I. (2014). Conservation without nature: the trouble with in situ versus ex situ conservation. *Geoforum*, 51, 47-57. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.09.018>
33. Schwartz, K., Parsons, E., Rockwood, L., & Wood, T. Integrating in-situ and ex-situ data management processes for biodiversity conservation //Frontiers in Ecology and Evolution. – 2017. – 5(120). <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00120>
34. Che-Castaldo, J., Grow, S., & Faust, L. Evaluating the contribution of north american zoos and aquariums to endangered species recovery //Scientific Reports. – 2018. – 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27806-2>
35. Rahman, W., Brehm, J., Maxted, N., Phillips, J., Contreras-Toledo, A., Faraji, M., ... & Quijano, M. Gap analyses of priority wild relatives of food crop in current *ex situ* and in situ conservation in Indonesia //Biodiversity and Conservation. – 2021. – 30(10). – P. 2827-2855. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02225-4>
36. Wei, X. and Jiang, M. Meta-analysis of genetic representativeness of plant populations under ex situ conservation in contrast to wild source populations //Conservation Biology. – 2020. – 35(1). – P. 12-23. <https://doi.org/10.1111/cobi.13617>
37. Brehm, J., Gaisberger, H., Kell, S., Parra-Quijano, M., Thormann, I., Dulloo, M., ... & Maxted, N. Planning complementary conservation of crop wild relative diversity in southern africa //Diversity and Distributions. – 2022. – 28(7). – P. 1358-1372. <https://doi.org/10.1111/ddi.13512>
38. Ng'uni, D., Munkombwe, G., Mwila, G., Gaisberger, H., Brehm, J., Maxted, N., ... & Thormann, I. Spatial analyses of occurrence data of crop wild relatives (CWR) taxa as tools for selection of sites for conservation of priority CWR in Zambia //Plant Genetic Resources. – 2019. – 17(2). – P. 103-114. <https://doi.org/10.1017/s1479262118000497>
39. Amancah, E. Integrating in situ conservation of plant genetic resources with ex situ conservation management: involving custodian farmers, benefits and their willingness to accept compensation. *Scientia Agropecuaria*. – 2023. – 14(4). – P. 447-464. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.038>
40. Edwards, C. and Jackson, P. The development of plant conservation in botanic gardens and the current and future role of conservation genetics for enhancing those conservation efforts //Molecular Frontiers Journal. – 2019. – 03(01). – P. 44-65. <https://doi.org/10.1142/s2529732519400078>
41. Dias, R. Ecological resilience in a changing world: challenges and opportunities in biodiversity conservation in the face of climate change. – 2023. – 176. – P. 1-30. <https://doi.org/10.56238/alookdevelopv1-176>
42. Valdez, J. Tailoring evidence into action: using a co-design approach for biodiversity information in the tropical andes //Conservation Science and Practice. 2023. – 5(12). – P. 1-19. <https://doi.org/10.1111/csp2.13035>
43. Simon, A., Adamczyk, E., Basman, A., Chu, J., Gartner, H., Fletcher, K., ... & Starzomski, B. Toward an atlas of salish sea biodiversity: the flora and fauna of galiano island, british columbia, canada. part i. marine zoology //Biodiversity Data Journal. – 2022. – 61 pp. <https://doi.org/10.3897/bdj.10.e76050>
44. Vogel, C., Mayer, V., Mkandawire, M., Küstner, G., Kerr, R., Krauß, J., ... & Steffan-Dewenter, I. Local and landscape scale woodland cover and diversification of agroecological practices shape butterfly communities in tropical smallholder landscapes //Journal of Applied Ecology. – 2023. – 60(8). – P. 1659-1672. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14446>
45. Madaki, K. Local community distribution and participation in biodiversity conservation in national parks: a case of gashaka gumti national park safety //International. J. of. Hum. Educ. Soc. Sci. – 2024. – 2(2). – P. 161-184. <https://doi.org/10.58578/ijhess.v2i2.3084>
46. Crowley, C., Flood, K., Caffrey, B., Dunford, B., Fitzpatrick, Ú., Hamilton, J., ... & O'Gorman, M. Engaging and empowering people in biodiversity conservation: lessons from practice. *Biology & Environment* //Proceedings of the Royal Irish Academy. – 2020. – 120B(2). – P. 175-185. <https://doi.org/10.1353/bae.2020.0010>
47. Uggle, Y. Framing and visualising biodiversity in eupolicy //Journal of Integrative Environmental Sciences. – 2018. – 15(1). – P. 99-118. <https://doi.org/10.1080/1943815x.2018.1455714>
48. Galbraith, M., Bolland-Breen, B., & Towns, D. The community-conservation conundrum: is citizen science the answer? //Land. – 2016. – 5(4). – 37. <https://doi.org/10.3390/land5040037>
49. Deguines, N., Princé, K., Prévot, A., & Fontaine, B. Assessing the emergence of pro-biodiversity practices in citizen scientists of a backyard butterfly survey //The Science of the Total Environment. – 2020. – 716 – 136842. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136842>
50. Gaia, S. and Jones, M. Biodiversity reporting for governmental organisations //Accounting Auditing & Accountability Journal. – 2019 – 33(1). – P. 1-31. <https://doi.org/10.1108/aaaj-05-2018-3472>

References

1. Amancah, E. (2023). Integrating in situ conservation of plant genetic resources with ex situ conservation management: involving custodian farmers, benefits and their willingness to accept compensation. *Scientia Agropecuaria*, 14(4), 447-464. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.038>
2. Ansell, D., Fifield, G., Munro, N., Freudenberger, D., & Gibbons, P. (2015). Softening the agricultural matrix: a novel agri-environment scheme that balances habitat restoration and livestock grazing. *Restoration Ecology*, 24(2), 159-164. <https://doi.org/10.1111/rec.12304>

3. Braverman, I. (2014). Conservation without nature: the trouble with in situ versus ex situ conservation. *Geoforum*, 51, 47-57. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.09.018>
4. Bois, S. (2023). Challenges, successes, and recommendations for management of coastal sandplain grasslands as regional biodiversity hotspots in the northeastern united states. *Restoration Ecology*, 31(5). <https://doi.org/10.1111/rec.13928>
5. Brehm, J., Gaisberger, H., Kell, S., Parra-Quijano, M., Thormann, I., Dulloo, M., ... & Maxted, N. (2022). Planning complementary conservation of crop wild relative diversity in southern africa. *Diversity and Distributions*, 28(7), 1358-1372. <https://doi.org/10.1111/ddi.13512>
6. Cecco, V., Santo, M., Musciano, M., Manzi, A., Cecco, M., Ciaschetti, G., ... & Martino, L. (2020). The majella national park: a case study for the conservation of plant biodiversity in the italian apennines. *Italian Botanist*, 10, 1-24. <https://doi.org/10.3897/italianbotanist.10.52952>
7. Che-Castaldo, J., Grow, S., & Faust, L. (2018). Evaluating the contribution of north american zoos and aquariums to endangered species recovery. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27806-2>
8. Crowley, C., Flood, K., Caffrey, B., Dunford, B., Fitzpatrick, Ú., Hamilton, J., ... & O’Gorman, M. (2020). Engaging and empowering people in biodiversity conservation: lessons from practice. *Biology & Environment Proceedings of the Royal Irish Academy*, 120B(2), 175-185. <https://doi.org/10.1353/bae.2020.0010>
9. Cudlín, O., Řehák, Z., & Cudlín, P. (2016). Development of soil characteristics and plant communities on reclaimed and unreclaimed spoil heaps after coal mining. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 44, 052030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/44/5/052030>
10. Deguines, N., Princé, K., Prévot, A., & Fontaine, B. (2020). Assessing the emergence of pro-biodiversity practices in citizen scientists of a backyard butterfly survey. *The Science of the Total Environment*, 716, 136842. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136842>
11. Dias, R. (2023). Ecological resilience in a changing world: challenges and opportunities in biodiversity conservation in the face of climate change.. <https://doi.org/10.56238/alookdevelopv1-176>
12. Du, L. (2023). Identification of priority areas for ecological restoration in coal mining areas with a high groundwater table based on ecological security pattern and ecological vulnerability. *Sustainability*, 16(1), 159. <https://doi.org/10.3390/su16010159>
13. Edwards, C. and Jackson, P. (2019). The development of plant conservation in botanic gardens and the current and future role of conservation genetics for enhancing those conservation efforts. *Molecular Frontiers Journal*, 03(01), 44-65. <https://doi.org/10.1142/s2529732519400078>
14. Farhadinia, M., Johnson, P., Zimmermann, A., McGowan, P., Meijaard, E., Stanley-Price, M., ... & Macdonald, D. (2020). Ex situ management as insurance against extinction of mammalian megafauna in an uncertain world. *Conservation Biology*, 34(4), 988-996. <https://doi.org/10.1111/cobi.13496>
15. Gagnon, K., Rinde, E., Bengil, E., Carugati, L., Christianen, M., Danovaro, R., ... & Boström, C. (2020). Facilitating foundation species: the potential for plant–bivalve interactions to improve habitat restoration success. *Journal of Applied Ecology*, 57(6), 1161-1179. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13605>
16. Gaia, S. and Jones, M. (2019). Biodiversity reporting for governmental organisations. *Accounting Auditing & Accountability Journal*, 33(1), 1-31. <https://doi.org/10.1108/aaaj-05-2018-3472>
17. Galbraith, M., Bollard-Breen, B., & Towns, D. (2016). The community-conservation conundrum: is citizen science the answer?. *Land*, 5(4), 37. <https://doi.org/10.3390/land5040037>
18. Gao, H., Jiang, F., Zhang, J., Chi, X., Song, P., Li, B., ... & Zhang, T. (2023). Effects of ex situ conservation on diversity and function of the gut microbiota of the tibetan wild ass (equus kiang). *Integrative Zoology*, 18(6), 1089-1104. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12726>
19. Gong, J., Xie, Y., Cao, E., Huang, Q., & Li, H. (2019). Integration of invest-habitat quality model with landscape pattern indexes to assess mountain plant biodiversity change: a case study of bailongjiang watershed in gansu province. *Journal of Geographical Sciences*, 29(7), 1193-1210. <https://doi.org/10.1007/s11442-019-1653-7>
20. Guo, Y., Hou, L., Zhang, Z., Zhang, J., Cheng, J., Wei, G., ... & Lin, Y. (2019). Soil microbial diversity during 30 years of grassland restoration on the loess plateau, china: tight linkages with plant diversity. *Land Degradation and Development*, 30(10), 1172-1182. <https://doi.org/10.1002/ldr.3300>
21. Hong, W. (2023). Recovery capacity and ecological restoration strategy of urban green space based on the self-organization–resilience model. *Land Degradation and Development*, 35(1), 76-87. <https://doi.org/10.1002/ldr.4898>
22. Haq, S., Pieroni, A., Busmann, R., Abd-ElGawad, A., & Elansary, H. (2023). Integrating traditional ecological knowledge into habitat restoration: implications for meeting forest restoration challenges. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s13002-023-00606-3>
23. Huang, F., Lin, Y., Zhao, R., Qin, X., Chen, Q., & Lin, J. (2019). Dissipation theory-based ecological protection and restoration scheme construction for reclamation projects and adjacent marine ecosystems. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(21), 4303. <https://doi.org/10.3390/ijerph16214303>
24. Li, Y. and Gornish, E. (2020). General attributes and practice of ecological restoration in arizona and california, u.s.a., revealed by restoration stakeholder surveys. *Restoration Ecology*, 28(5), 1296-1307. <https://doi.org/10.1111/rec.13221>
25. Liu, L., Song, W., Zhang, Y., Han, Z., Han, L., Yang, D., ... & Huang, Q. (2021). Zoning of ecological restoration in the qilian mountain area, china. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(23), 12417. <https://doi.org/10.3390/ijerph182312417>
26. Ma, B. (2024). Prioritization of ecological conservation and restoration areas through ecological networks: a case study of nanchang city, china. *Land*, 13(6), 878. <https://doi.org/10.3390/land13060878>

27. Madaki, K. (2024). Local community distribution and participation in biodiversity conservation in national parks: a case of gashaka gumti national park safety. *International. J. of. Hum. Educ. Soc. Sci.* 2(2), 161-184. <https://doi.org/10.58578/ijhess.v2i2.3084>
28. Maniraho, L., Frietsch, M., Sieber, S., & Löhr, K. (2023). People's participation in social-ecological restoration toward a framework for drivers fostering social-ecological restoration within forest landscape.. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2617117/v1>
29. Mestanza-Ramón, C., Henkanaththegedara, S., Duchicela, P., Tierras, Y., Sánchez, M., Mejía, D., ... & Ramón, P. (2020). In-situ and ex-situ biodiversity conservation in ecuador: a review of policies, actions and challenges. *Diversity*, 12(8), 315. <https://doi.org/10.3390/d12080315>
30. Mokany, K., Prasad, S., & Westcott, D. (2015). Impacts of climate change and management responses in tropical forests depend on complex frugivore-mediated seed dispersal. *Global Ecology and Biogeography*, 24(6), 685-694. <https://doi.org/10.1111/geb.12292>
31. Mugwedi, L., Egoh, B., Ramdhani, S., Slotow, R., & Rentería, J. (2017). An assessment of a community-based, forest restoration programme in durban (ethekwiní), south africa. *Forests*, 8(8), 255. <https://doi.org/10.3390/f8080255>
32. Ng'uni, D., Munkombwe, G., Mwila, G., Gaisberger, H., Brehm, J., Maxted, N., ... & Thormann, I. (2019). Spatial analyses of occurrence data of crop wild relatives (cwr) taxa as tools for selection of sites for conservation of priority cwr in zambia. *Plant Genetic Resources*, 17(2), 103-114. <https://doi.org/10.1017/s1479262118000497>
33. Nicia, P., Bejger, R., Sterzyńska, M., & Zadrozny, P. (2020). Passive restoration of the mountain fens of the caltho alnetum community in the babia góra national park. *Geomatics and Environmental Engineering*, 14(2), 73-81. <https://doi.org/10.7494/geom.2020.14.2.73>
34. Paschke, M., Perkins, L., & Veblen, K. (2019). Restoration for multiple use. *Restoration Ecology*, 27(4), 701-704. <https://doi.org/10.1111/rec.12949>
35. Rahman, W., Brehm, J., Maxted, N., Phillips, J., Contreras-Toledo, A., Faraji, M., ... & Quijano, M. (2021). Gap analyses of priority wild relatives of food crop in current ex situ and in situ conservation in indonesia. *Biodiversity and Conservation*, 30(10), 2827-2855. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02225-4>
36. Rana, P. (2024). Cost-efficient management of peatland to enhance biodiversity in finland. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52964-x>
37. Rossi, G., Orsenigo, S., Montagnani, C., Fenu, G., Gargano, D., Peruzzi, L., ... & Abeli, T. (2015). Is legal protection sufficient to ensure plant conservation? the italian red list of policy species as a case study. *Oryx*, 50(3), 431-436. <https://doi.org/10.1017/s003060531500006x>
38. Schwartz, K., Parsons, E., Rockwood, L., & Wood, T. (2017). Integrating in-situ and ex-situ data management processes for biodiversity conservation. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5. <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00120>
39. Serova, K. (2023). Plants of residential and industrial zones of cherepovets. *E3s Web of Conferences*, 407, 01010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340701010>
40. Simon, A., Adamczyk, E., Basman, A., Chu, J., Gartner, H., Fletcher, K., ... & Starzomski, B. (2022). Toward an atlas of salish sea biodiversity: the flora and fauna of galiano island, british columbia, canada. part i. marine zoology. *Biodiversity Data Journal*, 10. <https://doi.org/10.3897/bdj.10.e76050>
41. Stoddard, M., Miller, D., Thetford, M., & Branch, L. (2018). If you build it, will they come? use of restored dunes by beach mice. *Restoration Ecology*, 27(3), 531-537. <https://doi.org/10.1111/rec.12892>
42. Tian, M., Gao, J., & Yang, Z. (2016). Strategies of ecological restoration based on the processes of ecological degradation.. <https://doi.org/10.2991/ifeesd-16.2016.44>
43. Ugglä, Y. (2018). Framing and visualising biodiversity in eu policy. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 15(1), 99-118. <https://doi.org/10.1080/1943815x.2018.1455714>
44. Valdez, J. (2023). Tailoring evidence into action: using a co-design approach for biodiversity information in the tropical andes. *Conservation Science and Practice*, 5(12). <https://doi.org/10.1111/csp2.13035>
45. Vild, O. (2024). Long-term shift towards shady and nutrient-rich habitats in central european temperate forests. *New Phytologist*, 242(3), 1018-1028. <https://doi.org/10.1111/nph.19587>
46. Vogel, C., Mayer, V., Mkandawire, M., Küstner, G., Kerr, R., Krauß, J., ... & Steffan-Dewenter, I. (2023). Local and landscape scale woodland cover and diversification of agroecological practices shape butterfly communities in tropical smallholder landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 60(8), 1659-1672. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14446>
47. Wei, X., Song, W., Shao, Y., & Cai, X. (2022). Progress of ecological restoration research based on bibliometric analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 520. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010520>
48. Wei, X. and Jiang, M. (2020). Meta-analysis of genetic representativeness of plant populations under ex situ conservation in contrast to wild source populations. *Conservation Biology*, 35(1), 12-23. <https://doi.org/10.1111/cobi.13617>
49. Yuan, M., Ouyang, J., Shi, Z., Tian, Y., Sun, R., Bao, R., ... & Zhu, Y. (2022). Research on ecological effect assessment method of ecological restoration of open-pit coal mines in alpine regions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 7682. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137682>
50. Zhang, H., Li, J., Tian, P., Pu, R., & Cao, L. (2022). Construction of ecological security patterns and ecological restoration zones in the city of ningbo, china. *Journal of Geographical Sciences*, 32(4), 663-681. <https://doi.org/10.1007/s11442-022-1966-9>

Авторлар туралы мәлімет:

Бакытжанова Марал Сагындыковна – Phd докторанты, Абай атындағы қазақ Ұлттық Педагогикалық Университеті, Биология Кафедрасы (Алматы, Қазақстан, e-mail: maral.bakytzhanova@mail.ru);

Туякбаева Акмарал Усерхановна – биология ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, биотехнология және микробиология кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Астана, Қазақстан, e-mail: akmaral.t@inbox.ru);

Махмудова Карина Хамидовна – биология ғылымдарының кандидаты, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің аға оқытушысы, «Ботаника және фитоинтродукция институты» ШЖҚ РМК Тұқым банкі зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, ҚР ОБСЕМ (Алматы, Қазақстан, e-mail: carinamakhmudova2015@gmail.com).

Information about authors:

Bakytzhanova Maral Sagyndykovna – PhD student, Abai Kazakh National Pedagogical University, Department of Biology (Almaty, Kazakhstan, e-mail: maral.bakytzhanova@mail.ru);

Tuyakbayeva Akmaral Userkhanovna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: akmaral.t@inbox.ru);

Makhmudova Karina Khamidovna – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer, Department of Biology, Abai Kazakh National Pedagogical University, Leading Researcher, Seed bank laboratory of RSE REU “Institute of botany and phytointroduction” CFW MENR of the RK (Almaty, Kazakhstan, e-mail: carinamakhmudova2015@gmail.com).

Сведения об авторах:

Бакытжанова Марал Сагындыковна – PhD-докторант, кафедра биологии, Казахский национальный педагогический университет имени Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: maral.bakytzhanova@mail.ru);

Туякбаева Акмарал Усерхановна – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор кафедры биотехнологии и микробиологии, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан, e-mail: akmaral.t@inbox.ru);

Махмудова Карина Хамидовна – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры биологии Казахского национального педагогического университета имени Абая, ведущий научный сотрудник лаборатории банка семян Института ботаники и фитоинтродукции (Алматы, Казахстан, e-mail: carinamakhmudova2015@gmail.com).

Received May 28, 2025

Accepted August 20, 2025

А.С. Сейсенбаева ^{*}, С.Е. Әбдікерім , А.Д. Төлебаева ,
Г.М. Абылкасымова , А.В. Перфильева 

Физиология және генетика институты, Алматы, Қазақстан

*e-mail: S_akerke@mail.ru

ИТТЕРДІҢ ТҰҚЫМЫН САҚТАП ҚАЛУ ҮШІН ОЛАРДЫҢ ГЕРМОПЛАЗМАСЫН КРИОКОНСЕРВАЦИЯЛАУ ӘДІСТЕРІНЕ ӘДЕБИ ШОЛУ

Соңғы бірнеше онжылдықта үй жануарларының жүздеген экзотикалық түрлері мен тұқымдары жоғалды. Сондықтан қауіп төнген басқа жануарлардың жойылып кетуін болашақта болдырмау үшін және олардың аман қалуын қамтамасыз ету үшін құтқару стратегияларын әзірлеу және оларды қолдану өте маңызды. Жойылып кету қаупі төнген жабайы және үй жануарларының тұқымын сақтап қалудың бір жолы – олардың гаметаларының криобанкін құрастыру болып табылады. Қазіргі уақытта осы мақсатта жойылып бара жатқан жануарлардың генетикалық материалын сақтау үшін жануарлардың сперматозоидтарын, ооциттерін, эмбриондарын және аналық без ұлпасын криоконсервациялау әдістерін пайдалану қарқынды дамып келеді. Иттердің (*Canis lupus familiaris*) гаметалары мен жыныс бездерін криоконсервациялауда баяу мұздату және витрификациялау әдістері қолданылады. Бұл әдеби шолудың мақсаты осы криоконсервациялау әдістері туралы жаңа мәліметтер беру. Мұнда криоконсервациялау кезінде аталған жасушалар мен ұлпалардың құрылысына әсер ететін криозақымдану түрлері және зақымдану әсерлерінен жасушалардың функциональді бұзылыстары мен оларды болдырмаудың стратегиялық тәсілдері қарастырылады. Жасушаларды жеке және ұлпа түрінде криоконсервациялаудың ұқсастықтары мен айырмашылықтары, сондай-ақ криоконсервациялаудың белгілі бір түрін таңдаудың дәлелдемелері мен негізгі принциптері анықталады. Өртүрлі талдау аспектілері мен бұл жануарлардың жасушаларын криоконсервациялаудағы кедергілер мен жақсы нәтиже алынған тұстары талқыланады. Бұл ұсынылған мәліметтер өз кезегінде болашақта осы әдістердің тиімді шешімдерін құрастыру үшін пайдалы болуы мүмкін.

Түйін сөздер: иттер, гамета, криоконсервациялау, сперматозоид, ооцит, жыныс бездері, криопротекторлар, баяу мұздату, витрификациялау.

A.S. Seisenbayeva^{*}, S.E. Abdikerim, A.D. Tolebayeva,
G.M. Abylkassymova, A.V. Perfilyeva

Institute of Physiology and Genetics, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: S_akerke@mail.ru

Literature review of cryopreservation methods for dog germoplasm to preserve their breed

Many hundreds of exotic species and domestic animal breeds have been lost over the course of the last few decades. Therefore, it is very important to develop and apply rescue strategies to ensure the other animals threatened with extinction to ensure their survival for the future. One way to protect the endangered species of wild and domestic animals is to the creation of cryobanks of their gametes. Currently, to achieve this goal, the use of cryopreservation methods for sperm, oocytes, embryos and ovarian tissues of animals is rapidly developing to preserve the genetic material of endangered species. Slow freezing and vitrification methods are used in cryopreservation of dog gametes and gonads (*Canis lupus familiaris*). The purpose of this review is to provide new data on these cryopreservation methods. Here we consider the types of cryoinjury that affect the structure of these cells and tissues during cryopreservation, as well as functional disorders of cells from the effects of damage and strategic ways to protect them will be discussed. Differences and similarities between single cell or tissue cryopreservation will be highlighted, together with the evidence and basic principles of choosing a particular type of cryopreservation. The analysis of different aspects that still hamper the success of cryopreservation these animals' cells can help clarify where research is most needed. The data provided, in turn, can contribute to the development of effective solutions to these methods in the future.

Keywords: dogs, gamete, cryopreservation, sperm, oocyte, gonads, cryoprotectors, slow freezing, vitrification.

А.С. Сейсенбаева*, С.Е. Әбдікерім, А.Д. Толебаева,
Г.М. Абылкасымова, А.В. Перфильева
Институт физиологии и генетики, Алматы, Казахстан
*e-mail: S_akerke@mail.ru

Литературный обзор методов криоконсервации гермоплазмы собак для сохранения их породы

За последние несколько десятилетий были потеряны сотни экзотических видов и пород домашних животных. С целью предотвращения подобной участи других животных, находящихся под угрозой вымирания, крайне важно разработать и применить стратегии спасения, чтобы обеспечить их выживание в будущем. Одним из способов сохранения исчезающих видов диких и домашних животных является создание криобанка из их гамет. В настоящее время для достижения этой цели быстро развивается использование методов криоконсервации спермы, ооцитов, эмбрионов и тканей яичников животных для сохранения генетического материала находящихся под угрозой исчезновения. При криоконсервации гамет и гонад собак (*Canis lupus familiaris*) используются методы медленного замораживания и витрификации. Целью данного литературного обзора является предоставление данных об этих методах криоконсервации. Здесь рассматриваются типы криоповреждений, влияющих на функцию и структуры клеток при криоконсервации, и стратегические подходы к их предотвращению. Будут выделены различия и сходства между криоконсервацией отдельных клеток или тканей, а также доказательства и основные принципы выбора определенного типа криоконсервации. Обсуждаются различные аспекты анализа и барьеры для криоконсервации клеток этих животных, а также моменты, когда были получены хорошие результаты. Предоставленные данные, в свою очередь, могут способствовать разработке эффективных решений указанных методов в будущем.

Ключевые слова: собаки, гамета, криоконсервация, сперма, ооцит, гонады, криопротекторы, медленное замораживание, витрификация.

Кіріспе

Соңғы 100 жыл ішінде біз жабайы сүтқоректі жануарлар түрлерінің тез және үздіксіз азаюына және үй жануарларының тұқымдарының таңдаусыз сұрыпталуына байланысты сұйылуына тап болдық. Бүкіл әлемде сүтқоректі жануарлардың әрбір төртінші түрінің жойылып кету қаупі бар және апта сайын орта есеппен екі үй тұқымы жойылуда [1, 2].

Қазақ халқы ежелден көшпенді өмір салтын ұстанғандықтан әртүрлі ит тұқымдарын үй жануарларын (кой, сиыр, жылқы, түйе) бағуда, аң аулауда және күзетші ретінде кеңінен қолданған. Қазақстанда кездесетін ұлттық тұқымды иттердің шығу тегі қазақ халқының ежелгі тайпаларының жылқыны қолға үйретіп мінуімен байланысты деген деректер бар. Қазіргі кезде Қазақстанда кездесетін тазы мен төбет тұқымдары зерттелуде. Бұл тұқымдарды ата-бабаларымыз көптеген ғасырлар бойы жергілікті табиғи жағдайларына бейімдеп сұрыптап алған. Соңғы бірнеше онжылдықта Қазақстанда кездесетін көптеген жергілікті ұлттық тұқымды жануарлардың жойылып бара жатқаны белгілі. Ұлттық ит тұқымдарының да популяциясының азайып бара жатқаны байқалады [3, 4]. Сондықтан генетикалық әртүрлілікті сақтау үшін, әсіресе жойылып

кету қаупі төнген түрлер мен үй жануарларының жергілікті ұлттық тұқымдарын таза күйінде сақтау бағдарламаларын құрастыру аса қажетті үрдіс болып табылады [5].

Қазіргі таңда заманауи биотехнологиялық әдістер, яғни гаметаларды криоконсервациялау биологтардың, дәрігерлердің және үй жануарларының иелерінің назарын аударуда. Ұлттық ит тұқымдарының генотипін сақтауда немесе белгілі бір генотиптердің таралуын кеңейтуге, жойылу қаупі төнген жануарлардың биоалуантүрлілігін сақтау үшін пайдаланылатын әдістердің хаттамалары жылдар бойы құрастырылуда. Бұл саладағы зерттеулер әлі де өркендеп келеді [6, 7].

Иттердің гаметаларының криобанкін құру оларда кездесетін ауру түрлерін болдырмау, мінез-құлық үйлесімсіздігі туындаған жағдайда, кенеттен өліп кетуі кезінде, синхронды емес жетілу және аталық немесе аналық ұрықтардың болмай қалу жағдайында аса қажет болады. Әртүрлі репродуктивті әдістердің жетістіктеріне қарамастан бұл түрлердің негізгі репродуктивті биологиясы туралы білімнің және жануарлардың генетикалық материалын сақтаудың стандартты хаттамаларының болмауы және тұралық айырмашылықтар шектеуші факторлар болып табылады [7, 8, 9].

Криоконсервацияланған сперматозоидтар ұрғашы иттерді ұрықтандыруға оңтайлы және селекционерлер мен бұл жануарлардың иелерінің арасында танымал әдіс болып саналады. Себебі криоконсервацияланған сперматозоидтар егер жануарлар әртүрлі жерлерде өмір сүрсе немесе бір уақытта кездесе алмаса оңтайлы уақытында пайдалануға дайын және ұзақ уақыт сақталады [10, 11]. Криоконсервацияланған сперматозоидтар белгілі бір фенотиптік сипаттары бар асыл тұқымды иттерді немесе белгілі бір жұмысқа пайдалануға байланысты жоғары қабілеті бар (мысалы, қауіпсіздік саласындағы элиталық жұмысшы иттер) құнды субъектілердің генетикалық материалын және әртүрлілігін сақтау үшін пайдалы болып саналады [9, 12].

Сонымен қатар криоконсервацияланған сперматозоидтарды қолдану ұрықтандыру дозаларын дұрыс таңдауға және генетикалық сұрыптауды жеделдету үшін пайдаланылады, яғни ұрғашы иттердің көп бөлігі бірдей эякулятпен ұрықтандырылуы мүмкін [7]. Мұндай жағдайда жануарлар арасындағы тікелей байланысқа жол берілмейтіндіктен олардың репродуктивті жыныстық жолмен берілетін ауруларының таралуын азайту үшін тиімді болып табылады. Соның ішінде, жасанды ұрықтандыру үшін сперматозоидтарды криоконсервациялау бруцеллез және герпес вирусының инфекциясы сияқты жыныстық жолмен берілетін аурулардың алдын алады және тірі жануарларға карантин кезінде қолдануға ыңғайлы [13].

Көптеген жануарлардың түрі үшін сперматозоидтарды криоконсервациялау мен жасанды ұрықтандыру немесе экстракорпоральді ұрықтандыру әдістерін пайдалану арқылы олардың фертильділігін сақтау күшті құралға айналды [14, 15]. Керісінше, аналық гаметаларды сақтау әлі де қиындық туғызуда және бұл бағытта жасалған зерттеулердің нәтижелерінің табысты болуы шектеулі [16]. Бұл криоконсервациялауға немесе экстракорпоральді ұрықтануды жүзеге асыруға қажетті ооциттердің мөлшерінің аз болуымен және криоконсервациялаудан кейін олардың өміршеңдігінің төмен болуына байланысты. Сонымен қатар көптеген жабайы жануарлар табиғи ортада репродуктивті жетілу жасына жетпей немесе эстральді цикл кезінде өліп қалатындықтан криоконсервациялауға қажет ооциттерді алу қиындық туғызады.

Сондықтан ғалымдар жойылып кету қаупі төнген түрлерді сақтаудың тағы бір жолы, яғни ооциттердің пулы көп сақталған аналық без ұлпасын криоконсервациялау бағытында зерттеу-

лер жүргізе бастады. Бұл әдіс примордиальді және біріншілік фолликулдарды көп мөлшерде сақтап, болашақта олардан ұрықтандыруға керекті ооциттерді бөліп алуға мүмкіндік береді. Аналық без ұлпасының қыртысты бөлігінде көптеген ұсақ преантральді, атап айтқанда примордиальді фолликулдар бар. Бұл фолликулдардан алынған ооциттердің көпшілігі ешқашан толық дамымайды, яғни ұрықтану қабілеті бар ооциттерді түзбейді. Осы кішкентай фолликулдардың пулын сақтау және оларды ұрықтануға қабілеті бар ооциттері бар жетілген кезеңіне дейін өсіру ұрғашы жануарлардың жасына, репродуктивті кезеңіне қарамастан фертильділігін сақтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, аналық без ұлпасының қыртысты бөлігінде орналасқан примордиальді фолликулдардың мұздатудан кейінгі өміршеңдігінің көрсеткіші жеке жетілген ооциттерге қарағанда жақсы болып саналады. Аналық без ұлпасындағы примордиальді фолликулдарда орналасқан ооциттерді донорға ауто-трансплантациялау арқылы (адамдарда) немесе иммунодефицитті реципиенттерге ксенотрансплантациялау (жойылып бара жатқан жануарлар жағдайында) арқылы жетілдіріп, бөліп алуға болады [17, 18].

Жоғарыда аталған мәселелерді қорытындылай келе бұл мақаланың мақсаты иттердің гаметаларын криоконсервациялау саласындағы жетістіктер мен туындайтын мәселелерге қатысты алынған негізгі нәтижелерге шолу және болашақ зерттеулер мен перспективаларға сипаттама беру болып табылады.

1. Иттердің сперматозоидтарын криоконсервациялау

Жануарлардың сперматозоидтарын криоконсервациялау мұздату ерітіндісіне глицерин мен тауықтың сары уызын криопротектор ретінде қосудың пайдасының белгілі болуынан бастап кең таралды. 1969 жылы мұздатылған сперматозоидтармен жасанды ұрықтандыру әдісінің сәтті өтуінен [19] бастап криоконсервациялау хаттамалары мен қолданылатын ерітінділерді зерттеуде көптеген жетістіктерге қол жеткізілді [20]. Сперматозоидтарды криоконсервациялау үшін үш түрлі мұздату әдістері қолданылады: дәстүрлі мұздату әдісі, бағытталған мұздату және витрификациялау.

1.1 Дәстүрлі мұздату әдісі

Дәстүрлі мұздату әдісі бағдарламаланған және бағдарламаланбаған дәстүрлі мұздату деп екіге бөлінеді, оның ішінде қолмен мұздату әді-

сі ең көп қолданылады [9]. Бағдарламаланбаған дәстүрлі әдісте сұйытылған сперматозоидтармен толтырылған 0,25 немесе 0,5 мл пластикалық криотүтікшелерді сұйық азот буларында (LN_2) 4-5 см биіктікте 15 минуттан аспайтын уақытқа (мұнда 10 минут ұсынылады) ұстап, мұздатылған соң сұйық азотқа батырады. Мұздату жылдамдығы $\sim 60^\circ\text{C}/\text{мин}$. Бағдарламаланған дәстүрлі мұздату әдісінде арнайы биомұздатықыш аппараты қолданылады. Өртүрлі температура диапазоны үшін өртүрлі мұздату/қатыру жылдамдығы енгізілген бағдарлама арқылы осы аппаратта мұздатылып алынған криотүтікшелер артынша сұйық азотқа LN_2 батырылады. Мұздату бағдарламасы жануарлардың түріне байланысты мұздатылып/ерітілген сперматозоидтардың өміршеңдігінің сапасына байланысты өзгеріп отырады [21].

Бұл мұздату әдістерінде пайда болатын криозақымдану түрлерін азайту үшін мұздату жылдамдығы жоғары немесе төмен емес, оптималды болу керек. Себебі, мұздату жылдамдығы жоғары болса жасушаішілік мұз кристалдануынан болатын физикалық зақымдану туындайды. Ал егер төмен болса, жасушадан тыс мұз кристалдануына жауап ретінде шамадан тыс жасушалық дегидратациядан болатын “ерітінді әсері”, яғни осмостық зақымдану пайда болады. Дәл осындай принцип еріту жылдамдығына да қатысты, себебі температураның критикалық диапазонындағы төмен еріту жылдамдығы (-60°C – -15°C) мұздың қайта кристалдануына байланысты (кіші мұз кристалдары деформацияланған немесе үлкенірек мұз кристалдарын қалыптастыру үшін агрегациялануы) сперматозоидтарға осмостық зақым келтіреді. Мұндай жағдайда криопротекторлар жасушадан тез шыға алмайтындықтан, жасушадан тыс судың жасуша ішіне осмостық енуіне, жасушаның ісінуіне (45-60 секунд аралығында) алып келеді [14, 21]. Мұздатылған сперматозоидты ұрықтандырудан бұрын ерітіп, ерігеннен кейін бірден ұрықтандыру керек. Криотүтікшелерді контейнерден алып тастағаннан кейін оларды LN_2 контейнеріне қайта салуға болмайды. Дегенмен, сперматозоидтарды криоконсервациялаудың сәтті өтуі жалпы мұздату ортасы мен криопротекторлардың түріне, лецитин немесе ақуыз көзі (жұмыртқаның сары уызы, соя сүті немесе төмен тығыздықтағы липопротейдтер) сияқты факторларға, сондай-ақ тамшылату, сұйылту, араластыру, орау, сақтау және тасымалдау сияқты сперматозоидтарды өңдеуге байланысты механикалық тәсілдерге байланысты [22].

Трис – жұмыртқаның сары уызы – глицерин қоспасынан тұратын буферді ит сперматозоидтарын мұздату үшін ерітінді ретінде кеңінен қолданады. Бірақ жұмыртқаның сары уызын қолдануға қарсы дәлелдер көбейіп келеді. Негізгі кемшіліктер – партиялар арасындағы құрамның өзгергіштігі және жануарлардың өртүрлі ауру қоздырғыштарымен ластануы. Соңғысы, криоконсервацияланған сперматозоидтарды халықаралық алмасу кезінде қолдануда мәселе туғызуы мүмкін. Атап айтқанда, тауық жұмыртқасының сары уызы жақында таралған құс тұмауы сияқты құстарда кездесетін эндемиялық зооноздық ауруларына байланысты биологиялық қауіпті қосылыс болып табылады [23, 24]. Сондықтан жұмыртқаның сары уызын алмастыратын балама ерітінділерді зерттеу қажет және маңызды. Қазіргі таңда сперматозоидтарды криоконсервациялау үшін өртүрлі криопротекторлар қосылған ерітінділерді жақсарту үшін өртүрлі хаттамалар зерттелуде. Белгілі немесе тіркелген ерітінділерге қант пен антиоксиданттарды қосуға немесе бар ерітінділердің компоненттерін басқа химиялық заттармен алмастыруға көптеген әрекеттер жасалды. Алайда, осы модификацияланған ерітінділерді қолдану арқылы криоконсервацияланған сперматозоидтарды жасанды ұрықтандыруға бірнеше зерттеулер ғана тырысты. Білімнің жетіспеушілігі иттерге репродуктивті биотехнология әдістерін қолданудағы негізгі қиындықтарды көрсетеді.

Мұздатылып-ерітілген сперматозоидтардың өміршеңдігінің сапасын анықтайтын негізгі параметрлеріне олардың қозғалғыштығын және цитоплазмалық мембранасы мен митохондрияның тұтастығын жатқызады. Жоғарыда сипатталғандай, жұмыртқаның сары уызы ұзақ уақыт бойы иттердің сперматозоидтарын криоконсервациялау үшін жасушаға енбейтін криопротектор ретінде қолданылып келгеніне қарамастан стандартты хаттамалар жасалмаған және аурулардың жұғу қаупі бар. Сондықтан жұмыртқа сары уызын алмастыра алатын криопротекторлар ретінде бірнеше материалдар зерттелген. Солардың ішінде тек тығыздығы төмен липопротейдтер (ТТЛ) [25] мен майсыз сүт [26] сперматозоидтардың өміршеңдігіне жақсы әсер ететін ерітінділер ретінде жақсы бағаланады. ТТЛ мұздату кезінде сперматозоидтардың мембранасында орналасқан фосфолипидтер мен холестериннің ағып кетуіне жол бермейді, керісінше олардың мембранаға қосылуына әсер етеді [25]. Иттердің сперматозоидтарын криоконсервациялау үшін майсыз сүтке қосымша глюкоза, рафи-

ноза немесе трегалоза қанттарын криопротектор ретінде пайдаланған зерттеулер бар. Мұнда глюкозаға қарағанда осылардың ішінде рафиноза мен трегалоза қанттары криоконсервациялаудан кейін сперматозоидтардың қозғалғыштығы мен орташа жылдамдығын сақтауда жақсы нәтиже көрсеткен. Сонымен қатар, лецитин, липопро-теин және липосомалар жұмыртқаның сары уызын алмастыратын балама ерітінді ретінде сперматозоидтардың қозғалғыштығына жақсы әсер ететіні туралы зерттеулер белгілі [27, 28].

Ит сперматозоидтары үшін глицерин криопротекторы жасушаішілік крипротектор ретінде кең қолданылады [29]. Сонымен қатар, этиленгликоль, пропиленгликоль, диметилсульфоксид (ДМСО), метилформамид, диметилформамид, метилацетамид және NN-диметилформамид жасушаішілік криопротекторлары да жиі қолданылады [30, 31, 32, 33].

Дәстүрлі мұздату әдістерімен байланысты кемшіліктерге мыналар жатады: 1) гетерогенді мұздың пайда болуы немесе жылдамдық пен морфология тұрғысынан бақыланбайтын мұз кристалдарының өсуі, бұл сперматозоидтарды бұзады және өлтіреді, 2) жасырын жылудың тиімсіз таралуы, яғни жасушаларға механикалық зақым келтіретін мұзды фронттағы қайталанатын мұздату/еріту циклдары. Бұл кемшіліктер криоконсервацияның жаңа әдісіне, атап айтқанда бағытталған мұздату әдісіне алып келеді.

1.2 Бағытталған мұздату әдісі

Криоконсервациялаудың балама әдісі – бағытталған мұздату әдісі. Бұл әдісте көп термиялық градиент аппаратын пайдаланады [22]. Криомұздатқыш ерітіндісімен сұйытылған сперматозоидтарды 4-5°C дейін салқындатады, содан кейін алдын ала салқындатылған пробиркаларға (көлемі 5, 8, және 12 мл) құйып $\approx 0,3^\circ\text{C}/\text{мин}$ мұздату жылдамдығымен қатырады. Пробиркалар сызықтық температура градиенті арқылы 5°C-тан (жылы блок) -50°C-қа дейін (суық блок) тұрақты жылдамдықпен 1 мм/сек (1,0-1,5 мм/сек) өтеді. Осыдан кейін 60 секунд ішінде сидинг жүзеге асырылады және суық блок арқылы аппараттың келесі бөлігінде пробиркалар жинау камерасына (-100°C) ауыстырылады. Содан кейін бұл пробиркалар жиналып, сақтау үшін сұйық азотқа LN_2 батырылады. Мұздатылған сперматозоидтардың сапасын бағалау үшін пробиркаларды бөлме температурасында 90 секунд ұстайды, содан кейін 60 секунд ішінде 37°C температурасында су моншасының ішіне пробиркаларды ерітуге арналған арнайы қондырғыға (Interface

Multigrad Technology) орналастырады. Saragusty J. және оның әріптестері бағытталған мұздату әдісін қолдану арқылы сперматозоидтарды үлкен көлемде мұздату кезінде сидинг қажет емес екендігін ұсынған [34]. Кейінірек құнды аталықтардың сперматозоидтарын пайдалану үшін қосарланған мұздату әдісі енгізілді. Мұнда қолдан ұрықтандыруға арналған сперматозоидтарды алдымен мұздатады, содан кейін бағытталған мұздату әдісі арқылы екінші рет қатырады [35].

Автоматты түрде байланысқан сидинг, бір-келкі салқындату, жасырын жылуды тиімді тарау және сақтау үнемділігінің жоғары болуы бұл әдісті дәстүрлі мұздату әдісімен салыстырғанда тиімді және жақсы екенін көрсетеді [36]. Бұл әдіс пробиркаларды көп рет пайдалануға және сперматозоидтарды үлкен көлемде мұздатуға мүмкіндік береді. Ол өз кезегінде мұздатылып ерітілгеннен кейін сперматозоидтардың өміршеңдігінің жоғары болуына алып келеді [37]. Осы аталған әдіс арқылы сперматозоидтарды криоконсервациялау үй және жабайы жануарлар түрлерінде [38] кең ауқымда сипатталған және криотүтікшелерде мұздатылатын дәстүрлі әдіске қарағанда тиімдірек.

1.3 Витрификациялау

Витрификация – құрамында криопротекторлардың жоғары мөлшері бар ерітіндідегі биологиялық материалдарды мұз кристалдарының түзілуін болдырмау үшін төменгі температурада өте тез жылдамдықта мұздатылып шыны тәрізде күйге айналуы. Витрификацияның сәтті өту ықтималдығына әсер ететін негізгі факторлар: мұздату жылдамдығы, ерітіндінің тұтқырлығы және көлемі. Бұл қарқынды дамып келе жатқан әдіске жатады және басқа криоконсервация әдістеріне қарағанда тиімді. Себебі мұнда эквilibрация уақыты қысқа, мұздату жылдамдығы тез, қымбат мұздату аппараты қажет емес және жасушаларды физикалық зақымдайтын мұз кристалдары түзілмейді. Бұл әдіс басқа әдістермен салыстырғанда салыстырмалы түрде арзан, қолдануға ыңғайлы және көп уақытты алмайды.

Сперматозоидтарды витрификациялау әдісі алғашқы рет 1938 жылы Basile J. Luyet пен Eugene L. Nodapp ғалымдарының бақа сперматозоидтарын қатыруынан басталды. Иттерде витрификация хаттамасын қолданып жарияланған зерттеулер аз [39, 40] және иттердің сперматозоидтарын криоконсервациялау үшін көбінесе баяу мұздату әдісі жиі қолданылады. Бұл сперматозоидты витрификациялауға қолданылатын

ерітінді құрамындағы жасушаға енетін криопротекторлардың жоғарғы концентрациясынан (30-50%) туындайтын летальді осмотық әсерге байланысты. Бірақ, Isachenko V. және оның әріптестері сперматозоидтарды жасушаға енетін криопротекторларды қолданбай витрификациялап еріткеннен кейін сперматозоидтардың қозғалғыштығының криопротекторлар қосылған дәстүрлі мұздату әдісімен салыстырғанда жоғары болатынын көрсетті. Олар адамның сперматозоидтарын 0,25 мл көлеміндегі ұрықтандыру түтікшелеріне криопротекторлар қосылған дәстүрлі мұздату әдісі мен криопротекторлар қосылмаған витрификациялау (витрификациялау ерітіндісі: адам спермасына 1% адамның сары су альбумині мен 0,25 М сахароза қосылған) әдісімен салыстырды. Витрификациялау үшін 0,25 мл көлеміндегі ұрықтандыру түтікшелерін 100 мкл сперма суспензиясымен толтырып, көлемі 0,5 мл түтікшелеріне орналастырып, екі жағынан герметикалық түрде жауып сұйық азотқа батырды. Сперматозоидтардың өміршеңдігін тексеру үшін түтікшелерді 42°C температурада су моншасында 20 секунд ұстады. Мұнда екі әдісте ұқсас нәтиже көрсеткен [41]. Адам сперматозоидтарының витрификациясы он жылдан астам уақыт бойы кеңінен зерттелді және көптеген өзгертулер енгізілді [42]. Адам сперматозоидтары басқа жануарлардың сперматозоидтарымен салыстырғанда өте кішкентай және максималды криостабильділікті көрсетеді. Егер криостабильділік қасиетін төмендеу ретімен орналастырсақ келесідей схема аламыз: адамның сперматозоиды>жылқы>ит>мысық>қоян>қой>бұқа>қабан. Бұқа мен қабанның сперматозоидтары басының үлкен, жалпақ және пышақ тәрізді болуына байланысты мұздатуға төзімділігі төмен болғандықтан витрификациялау процесіне төтеп беру ықтималдығы төмен. Жалпы, сперматозоидтардың басының мөлшері мен витрификацияның сәттілігі арасында теріс корреляция байқалады [43]. Сперматозоидтарды витрификациялау әртүрлі нәтижелермен иттерде [44], мысықтарда [45] және қошқарларда [46] тіркелген. Nouri Gharaejaei және оның әріптестері сүт немесе жұмыртқаның сары уызын қосу арқылы алынған еріткіштерде витрификацияланған сперматозоидтардың өміршеңдігі мен қозғалғыштығының жақсы нәтиже көрсеткені туралы хабарлаған. Sanchez C. және оның әріптестері сахароза мен трегалозаны витрификациялау ерітіндісіне қолданып, 0,25 М сахарозаның сперматозоидтардың сапасына – өміршеңдігінің сақталуына жақсы әсер ететінін көрсеткен, бірақ акросома-

ның тұтастығы яғни қозғалғыштығы төмен болған [47]

Жоғарыда аталған көптеген зерттеулерде сұйылту ерітіндісі ретінде бөтен жануарлардың ақуыздары (сиыр сары су альбумині, сүт немесе жұмыртқаның сары уызы) қолданылды, мұндай жолмен мұздатылған сперматозоидтар халықаралық тасымалдауда қиындық туғызуы мүмкін. Иттердің сперматозоидтары туралы жақында жарияланған зерттеуде соя лецитинінің криоконсервацияланған ит сперматозоидтарының митохондриялық белсенділігіне және қозғалғыштығына, яғни өміршеңдігіне жұмыртқаның сары уызына ұқсас альтернативті әсер ететіні белгілі болды. Сонымен қатар, соя лецитині негізінде дайындалған ерітіндіде мұздатылған үлгілерде жұмыртқаның сары уызы негізінде дайындалған ерітінділермен салыстырғанда липидтердің асқын тотығуының төмен болғаны көрсетілген. Бұл өте маңызды, өйткені тотығу стрессі сперматозоидтарды криоконсервациялаудағы негізгі мәселелердің бірі болып табылады [48].

Сперматозоидтарды криоконсервациялауда бағытталған мұздату және витрификациялау әдістерінің біраз артықшылықтарына қарамастан, дәстүрлі криоконсервациялау әдісі үй жануарларының сперматозоидтарын мұздату үшін әлемдегі ең кең таралған әдіс болып саналады.

2. Иттердің ооциттері мен эмбриондарын криоконсервациялау

Аналық жыныс гаметаларының көлемі үлкен жасушалар екені белгілі. Олардың беттік ауданы үлкен және су мөлшері жоғары. Көлемдік қатынасы, *zona pellucida*, кейде жетілмеген ооцитті қоршап тұрған кумулустық жасушалар су мен криопротекторлардың жасуша мембранасына енуіне кедергі жасап, жасушада мұз кристалдарының түзілуіне байланысты ооциттердің криоконсервациясын қиындатады, мембраналар мен жасушаішілік органоидтарды зақымдайды. Оның үстіне, олардың ооплазмасында орналасқан липидтік тамшылардың едәуір мөлшері криоконсервациялауға сезімталдықты арттыруы мүмкін [49, 50]. Аталған қиындықтарға қарамастан ооциттердің криобанкін құру қазіргі кезде маңызды тақырып. Ооциттер мен эмбриондарды криоконсервациялау кезінде де екі мұздату әдісін пайдаланады: баяу мұздату және витрификациялау.

Ит ооциттері диаметрі және цитоплазмалық липидтердің жоғарғы мөлшері бойынша шошқа ооциттеріне ұқсас. Сол себептен шошқа ооциттерін криоконсервациялау үшін қолданылатын

әдіс ит ооциттеріне де жарамды болуы мүмкін. Иттердің кумулус ооцит комплексі аналық бездерден бөлініп алынған соң ДМСО (DAP213) қосылған ерітіндіде криопробиркада немесе этиленгликоль (E30S) қосылған ерітіндіде криотоп пластинкасында витрификациялағанда ерітілгеннен кейін екі әдістің арасында морфологиялық айырмашылық (59%–62%) байқалмаған [51]. Жетілмеген ит ооциттерінің цитоплазмалық мембранасының тұтастығын 44% [52] сақтай отырып витрификациялап, содан кейін мейозды қайта жаңарту арқылы ооциттерді метафаза II кезеңіне дейін дамытуға болады [53].

Эмбриондарды криоконсервациялау және оларды артынша трансплантациялау ауылшаруашылық жануарларын көбейтуге және адамдардың бедеулігін емдеуге үлкен үлес қосты. Алайда ит эмбриондарын криоконсервациялау бойынша зерттеулер аз жүргізілді және оларды тәжірибиеде қолдану түсініксіз болып қалды [54, 55]. Мүздатылған эмбриондардан иттердің алғашқы ұрпақтарының пайда болуы туралы 2011 жылы [54], ал экстракорпоральді ұрықтандыру нәтижесінде алынған ұрпақтар туралы зерттеулер 2015 жылы [17] жарияланды. Ал адамдардың ең бірінші пробиркадан алынған баланың дүниеге келуі жайлы ақпарат 40 жыл бұрын жарияланған болатын. Иттердің зиготалары мен эмбриондарын E30S ерітіндісінде витрификациялағанда олардың 80% көп бөлігі 1 жасушалы кезеңнен морулға дейін қалыпты морфологиясын көрсеткен. Алайда, криоконсервацияланған бластоцисталарды еріткеннен кейін көпшілігінде морфологиялық зақымданулар байқалған. Морфологиялық тұрғыдан қалыпты эмбриондардың өміршеңдігінің көрсеткіші 1-16 жасушада 90-100%, морулада 50% және бастоцистада 40% көрсеткен. Имплантация алдындағы иттердің эмбриондарының дифференциациясы олардың витрификациялау кезіндегі сезімталдығына әсер етеді. Сонымен қатар, ит ооциттері/эмбриондарының криоконсервациялау кезіндегі сезімталдығының жоғарылауы олардың цитоплазмасындағы липидтердің көп мөлшерде болуына байланысты болуы мүмкін. Олардың криоконсервациялауға төзімділігін арттыру үшін липидтердің мөлшерін азайту керек. Әзірше мұндай технология зерттелмеген. Ең бірінші жарияланған зерттеуде сұйық азотта сақталған 4 жасушалы морула деңгейінде сақталған 77 витрификацияланған эмбриондарды аналық реципиенттерге трансплантациялағанда бесеуі буаз болған. Олардың төртеуі 7 күшік туған (9,1%) [53]. Ал, 8-ден 16-ға дейінгі жасу-

шалық даму кезеңіндегі эмбриондарды трансплантациялағанда нәтиже 15,9% (7/44) көрсеткен [55]. Ең бірінші мүздатылған эмбрионнан алынған иттің күшіктері 4 жасушалы кезеңінде витрификацияланған 19 эмбриондарды хирургиялық жолмен аналық реципиентке трансплантациялағаннан кейін алынған [54].

Эмбриондарды криоконсервациялау және трансплантациялау әдістерін құрастыру үшін барлық сүтқоректілердің бастапқы *in vivo* эмбриональді даму кезеңдерін жақсы түсіну керек. Алайда репродуктивті ерекшеліктеріне байланысты дамудың бастапқы механизмдері, яғни ооциттердің жетілуі, ұрықтану және эмбриогенез кезеңдері басқа үй жануарларымен салыстырғанда иттерде толық зерттелмеген және бақыланбаған. Осыған қарамастан, бұл әдіс көптеген сүтқоректі жануарлардың ооциттері мен эмбриондарын қатыруға кең қолданылады.

3. Иттердің жыныс бездерінің ұлпаларын криоконсервациялау

Репродуктивті медицинада адамдардың аналық без ұлпасын криоконсервациялау арқылы фертильділікті сақтау жақсы нәтижелер көрсеткен [17]. Бірақ иттердің аналық без ұлпасын криоконсервациялау туралы зерттеулер өте аз.

Иттердің аналық без ұлпасының сәтті криоконсервациясы иммун тапшылығы бар тышқандарға мүздатылып ерітілген аналық безі ұлпасын ксенотрансплантациялаудан басталды [56]. Аналық без ұлпасын трансплантациялаудың негізгі кемшілігі реваскуляризацияның кешігуіне байланысты ишемияның әсерінен фолликулдардың жойылуы мен апоптоз үрдісінің жүруі болып табылады [57]. Иттердің аналық без ұлпасын витрификациялау [58] және ксенотрансплантациялау [59] жайлы бірнеше зерттеулер бар. Бұл зерттеулер иттердің аналық безін криоконсервациялау үшін ксенотрансплантациялау кезінде [60] көптеген фолликулдардың жойылуына қарамастан витрификациялау әдісін қолданған тиімді деп көрсетеді [61, 62]. Иттердің аналық безін витрификациялау үшін эритропозитинді қолдану ксенотрансплантациялаудан кейін фолликулдардың жойылуын азайтқан [62].

Криопротекторлардың жоғарғы концентрациясын пайдалану ооциттерге цитотоксіндік және осмостық эффект жолымен кері әсер етіп зақымдайтыны белгілі. Криопротектор қосындыларының тиімділігі жануарлардың түріне байланысты әртүрлі болады. Сондықтан әртүрлі жануарларға тиімді криопротектор түрін және

оның минимальді эффективті концентрациясын зерттеп табу негізгі хаттамаларды құрастыру үшін өте маңызды болып табылады. Мысалы, баяу мұздату әдісінде 1,3-пропандиол кеміргіштердің (*Dasyprocta aguti*) фолликулдарының ультра құрылысын сақтауда ДМСО-пен салыстырғанда жақсы көрсеткіш көрсетсе [63], ал ешкілер үшін ДМСО керісінше фолликулдардың тұтастығын сақтауда жақсы нәтиже көрсеткен [64]. Cláudio A. және оның әріптестері иттердің аналық безін баяу мұздату әдісімен криоконсервациялау үшін ДМСО мен 1,3-пропандиол криопротекторларын салыстырып зерттегенде 1,3-пропандиолға (49%) қарағанда ДМСО криопротекторын (65%) қолдану мұздатудан кейін фолликулдардың өміршілдігіне жақсы әсер еткенін хабарлаған [65]. Кейбір ғалымдар криопротекторлардың токсинділігін төмендету үшін жасушаға енбейтін синтетикалық полимер – поливинилпирролидон мен ДМСО криопротекторының қосындысын пайдалану арқылы иттердің аналық без ұлпасын витрификациялаған. Бұл зерттеуде витрификацияланған аналық без ұлпасындағы фолликулдардың өміршендігін зерттеу үшін ксенотрансплантациялау әдісі қолданылған. Нәтижесінде аталған екі криопротекторларды жеке қолданғаннан, екеуінің қосылған комбинациясын пайдалану тиімді екені белгілі болған [66].

Иттердің аналық без ұлпасын криоконсервациялау бойынша жарияланған зерттеулердің нәтижелері баяу мұздату әдісіне қарағанда витрификациялау әдісі тиімді екенін көрсетті.

Талқылау

Тіршілік ортасын сақтау түрлердің өмір сүруі үшін оларды қорғау мен өсірудің жалпы қабылданған тәсілі болып табылады. Алайда, адамның іс-әрекеті бірнеше түрлердің санының, әртүрлілігінің және таралуының төмендеуіне әкелгенін ескеру керек. Сирек кездесетін тұқымдардың, жойылып кету қаупі төнген түрлердің және коммерциялық қызығушылық тудыратын жануарлардың генетикалық материалын сақтауға мүмкіндік беру арқылы криобиология репродуктивті зерттеуде үлкен төңкеріс жасады деуге болады. Бағалы үй жануарлары мен сирек кездесетін жануарлар түрлерінің ұрық жасушаларын сақтау гаметалар криобанкін құрудың негізгі мақсаты болып табылады. Мұндай жануарларға генетикалық құндылығы жоғары ұлттық ит тұқымдарын да жатқызуға болады. Биоалуантүрлілікті сақтау үшін жауарлардың аталық және аналық

гаметалары мен эмбриондарын көп мөлшерде және көптеген донорлардан алу керек [67].

Криоконсервациялау әдістерін пайдалану арқылы сперматозоидтарды ұзақ сақтауға, алыс жерлерге стрессіз тасымалдау арқылы шығындарды азайтуға және санитарлық шектеу кезінде кедергісіз тасымалдауға болады [68]. Сперматозоидтарды криоконсервациялау үшін дәстүрлі мұздату, бағытталған мұздату және витрификациялау әдістері ұсынылады. Қазіргі таңда баяу мұздату иттердің сперматозоидтарын криоконсервациялау үшін қолданылатын стандартты әдіс болып табылады. Бұл әдіс ұзақ эквипирациялау уақытын, арнайы ерітінділерді және күрделі құрылғыны қажет етеді және мұз кристалдарының пайда болуына байланысты температуралық және осмостық стресстер туғызып, көбінесе сперматозоидтардың зақымдалуына алып келеді. Мұз кристалдарының пайда болуынан болатын зақымдауларды болдырмаудың бір жолы – сперматозоидтарды витрификациялау [69], ол әртүрлі жануарларда және адамдарда баяу мұздату әдісіне балама ретінде зерттелген [69, 70]. Криопротекторлардың жоғарғы концентрациясын пайдалану арқылы витрификациялау кезінде мұз кристалдары пайда болмайды, жасуша сұйықтығының тұтқырлығының жоғарылауына байланысты мұздату кезінде ол әйнек тәрізді қатып қалады. Бірақ, мұз кристалдары витрификацияланған жасушаларды еріту кезінде пайда болуы мүмкін және криопротекторлардың жоғарғы концентрациясы жасушаларға токсинді әсер етіп, тотығу стресстерін туғызады. Сперматозоидтар криопротекторлардың жоғарғы концентрациясына өте сезімтал. Сперматозоидтарды криоконсервациялаудың негізгі мәселесі мұздату үрдістерінен туындайтын зақымдауларды болдырмау болып табылады. Криоконсервациялау әдісі жасушаның метаболизмдік процестерін тоқтату арқылы сақтауға бағытталған. Бұл процесс жасушаларды тірі күйінде ұзақ уақытқа сақтауға мүмкіндік берсе де мұздату және еріту кезінде туындайтын температураның төмендеуі, содан кейін жоғарылауы, әсіресе -15°C және -60°C зонасындағы температура аралық өзгерістер [71] криозақымданулар туғызып, олардың өліміне алып келуі мүмкін. Жасушалар мен ұлпаларды криоконсервациялау кезінде температураның күрт өзгеруі (температуралық стресстер), криопротекторларға байланысты осмостық немесе токсинді стресстер және негізінен тотығу стрессіне байланысты пайда болған белсенді оттегі түрлерінің әсері олардың құрылымдық және функционалдық зақымдалуына әкеледі.

Температуралық стресс липидтердің фазалық өзгерістеріне және мембрананың функциональді күйінің өзгеруімен байланысты. Себебі мұздату және еріту кезінде мембранада фазалық бөліну, яғни сұйық күйден гель тәрізді күйге өзгеруі байқалады [72]. Бұл жағдайда мембрананың зақымдануын төмендету үшін бірнеше қадамдар жасалған. Мұздату ерітіндісіне циклодекстриннің әртүрлі концентрацияларын қосу арқылы ірі қара малдарға [73], буйвол бұқаларына [74], қойларға [75], айғырларға [76] және қабандарға [77] жасалған зерттеулерде сперматозоидтардың мұздатудан кейінгі өміршеңдігінің жақсарғаны байқалған. Криоконсервациялау кезінде туындайтын температуралық стресс сперматозоидтардың акросомасын зақымдайды [78]. Бұл сперматозоидтардың басының көлемінің өзгеруіне алып келеді. Баяу мұздату кезінде сперматозоидтарының басының кішіреюі, ал витрификациялау кезінде керісінше үлкеюі байқалған. Температуралық стрессті болдырмау үшін мұздату ерітіндісіне ақуыздар мен жасушаға енбейтін криопротекторларын қосады. Бұл заттар мұздату кезінде жасушалардың мембранасының тұтастығын сақтауға оң әсер етеді. Иттердің сперматозоидтарын криоконсервациялауда сүт, жұмыртқаның сары уызы және сахароза жиі қолданылады. Сүт пен жұмыртқа сары уызы жасушадан тыс мұз кристалдарының түзілуін болдырмайды, сперматозоидтарды жеткілікті түрде энергиямен қамтамасыз етеді және фосфаттық буфердің рөлін атқарады. Алайда, бұл заттарды қолдану мұздатылған ұрықтарды халықаралық алмасуда қолдау таппады. Сондықтан сахарозаның әртүрлі концентрацияларын тексерген зерттеулерде ит сперматозоидтарын криоконсервациялау үшін оның 0,25 М концентрациясын ерітіндіге қосу жақсы нәтиже көрсететіні анықталған [47].

Мұздату ерітіндісіне криопротекторларды қосу олардың жасушаларға ену қабілетіне байланысты *осмотық немесе токсинді стресстер* туғызады. Бұл стресстер мұз кристалдарының түзілуінің нәтижесінде мұздатылмаған фракциядағы осмотық қысымға байланысты болады. Мұндай стрессті төмендету үшін ғалымдар мұздату ерітінділеріне әртүрлі антифриздерді қосуды ұсынады. Антифриздерді әртүрлі полярлық белдеуде тіршілік ететін жануарлардан немесе суыққа төзімді өсімдіктерден бөліп алады. Мұндай зерттеу жұмыстары ірі қара малдардың, қойлардың және буйволдардың сперматозоидтарын [79, 80, 81] мұздату кезінде қолданылған. Мұздату процесінің тиімділігін арттыру үшін

мұздату жылдамдығын, криопротекторлардың түрі мен концентрациясын дұрыс тандап алу керек. Иттердің сперматозоидтарын криоконсервациялау үшін глицерин криопротекторын жиі қолданады [29, 30, 31]. Глицериннің осмотық және токсиндік әсері бар және басқа криопротекторларға қарағанда сперматозоид жасушасының мембранасынан өту қабілеті төмен [82]. Сондықтан ғалымдар глицеринді этиленгликоль криопротекторымен салыстырған. Этиленгликольдің молекулалық массасы глицеринге қарағанда кіші, ол токсинділікті төмендетіп, жасушаға ену қабілетін жоғарылатуы мүмкін [29]. Бірақ зерттеудің нәтижесі 5%, 10% этиленгликоль концентрациясын баяу мұздату кезінде қолданғанда олардың глицериннен артықшылығы жоқ екенін көрсеткен. Этиленгликольдің 10% концентрациясы сперматозоидтарға токсинді әсер еткен. Жалпы сперматозоид жасушасының құрылысының және қызметінің тұтастығына этиленгликольдің 5% концентрациясына қарағанда 5% глицерин криопротекторы жақсы әсер ететіні белгілі болды [30].

Криоконсервациялау кезінде туындайтын *тотығу стрессі* сперматозоидтарды еріткеннен кейін олардың сапасына теріс әсер ететін маңызды факторлардың бірі болып табылады. Тотығу стрессі оттегінің белсенді түрлерін өндіру мен биологиялық жүйенің оларды детоксикациялау қабілеті арасындағы дисбаланстың пайда болуынан, яғни тотықтырғыштар антиоксиданттардан асып кеткенде туындайды. Оттегінің белсенді түрлері криоконсервациялау процедурасының барлық кезеңінде пайда болады. Алайда, олардың шамадан тыс мөлшері көптеген зақымданулар туғызады. Табиғатының жоғарғы реактивтілігіне байланысты олар басқа да молекулалармен байланысып, оларды тотықтырып, нәтижесінде жасушаның құрылымдық және функциональді бұзылыстарына алып келеді. Жасушаның барлық компоненттері, сонымен қатар липидтер, ақуыздар, нуклеин қышқылдары мен қанттар тотығу стрессінің потенциалды нысаны болып табылады. Сперматозоидтарды криоконсервациялау кезінде тотығу стресрін азайту үшін оттегінің белсенді түрлерін нейтрализациялауға немесе стресстің пайда болу көздерінің деңгейін төмендетуге болады. Мұндай жағдайда ферменттік, ферменттік емес, өсімдік антиоксиданттарын немесе тотықсыздандырғыштарды пайдалануға болады. Ферменттік антиоксиданттарға супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионпероксидаза және глутатионредуктазасы жатады. Ал, ферменттік емес антиоксидантар-

ға С және Е витаминдері, темір сульфаты, В12 витамині, атаксантин, L-глутамин, раффиноза, трегалоза, таурин, цистеинмелатонин т.б. көптеген химиялық заттар жатады. Маја Z. және оның әріптестері ит сперматозоидтарын витрификациялайтын ерітіндіге антиоксидант ретінде 1% соя лецитинін қосу арқылы жасалған зерттеуінде мұздатудан кейін сперматозоидтардың өміршеңдігінің 59% болғанын хабарлаған. Мұнда соя лецитині альбумин және жұмыртқаның сары уызы сияқты жануарлар ақуызын алмастыратын ақуыз ретінде қолданылады. Бұл халықаралық алмасу кезінде мәселе туғызбайды. Бірақ бұл зерттеуде сперматозоид ерітінділерінің тамшыларын 33 мкл көлемінде сұйық азотқа 11 см биіктікте тамшылатып, витрификациялап, мұздатылған тамшыларды крипробиркаға салып, азотқа батырған. Бұл сұйық азотта сақталатын кейбір бактериялармен сперматозоидтардың ластануын туғызып, ұрықтандыру кезінде инфекциялардың жұғуына алып келуі мүмкін [48].

Иттерде витрификациялау хаттамасын қолдана отырып жарияланған зерттеулер өте аз [40, 44]. Сондықтан баяу мұздату әдісі әлі күнге дейін ит сперматозоидтарын криоконсервациялау үшін көп қолданылады.

Иттердің сперматозоидтарын криоконсервациялауда жануарлардың ақуыздарын қолданбау, жасушаға енетін немесе енбейтін криопротекторлардың оптимальді концентрациясын таңдап алу, эквilibрациялау уақытын дұрыс анықтау, оларды мұздату кезінде сұйық азотқа тікелей тамшылататын әдістерді пайдалану кезінде инфекциялық агенттердің жұғу мүмкіндігін ескеру және өміршеңдігін тексеру кезінде морфологиялық және қозғалғыштық қасиетінен басқа ультрақұрылымдық бағалау әдістерін пайдаланған жөн деп есептейміз. Сонымен қатар зерттеу кезінде алынған сперматозоидтардың морфологиялық өзгерістерінің нәтижелеріне қолданылған бояу әдістерімен өңдеу, микроскопты пайдалану немесе арнайы бағалау бағдарламаларының әсері де болуы мүмкін, зерттеу нәтижелерін қорытындылау кезінде бұл мәселені де ескеру қажет. Сондықтан ит сперматозоидтарын криоконсервациялау әдістерін жетілдіру әлі де зерттеуді қажет етеді.

Жануарлардың ұрықтарын сақтаудың тағы бір жолы ооциттер мен эмбриондарды криоконсервациялау әдісі репродуктивті технологияның ажырамас бір бөлігі болып табылады. Репродуктивті технологияларды иттерге қолданудың негізгі кедергісі IVM-нен (*in vitro maturation*) кейінгі жетілген ооциттер (яғни метафаза II,

МII) пайызының төмен болуы болып табылады. Қазіргі уақытқа дейін зерттелген сүтқоректі жануарлармен салыстырғанда иттердің ооциттері ерекше. Оларда овуляция жылына бір немесе екі рет жүреді және басқа сүтқоректі жануарларда овуляция кезінде бөлінген ооциттер МII стадиясында болатын болса, иттерде ооциттер мейоздық бөлінудің профаза I стадиясында болады және олар жұмыртқа жолында 60-72 сағат ішінде ядролық жетілуді аяқтайды [83]. Ооциттердің *in vitro* жетілуін жақсарту мақсатында бірнеше зерттеулер жүргізілді, алайда ит ооциттерінің ядролық жетілуі 20% аспады [84, 85]. Сұйық азотта мұздатылған және сақталған криоконсервацияланған тышқан ооциттерінен тірі ұрпақ алынғаны туралы 1977 жылы хабарланған. Кейіннен ооциттердің сәтті криоконсервациясына сүтқоректілердің басқа түрлерінде [86], соның ішінде адамдарда да [87] қол жеткізілді. Алайда иттерде *in vitro* жетілген ооциттерден алынған эмбриондарды трансплантациялау арқылы туылған күшіктер туралы хабарламалар жоқ. Иттердің ооциттерінің IVM тиімділігінің төмен болуына қарамастан ооциттерді криоконсервациялау әдісін құрастыру жойылып бара жатқан ит тұқымдарының криобанкін құруда маңызды болып табылады [84].

1970 жылы тышқандардың эмбриондарын сәтті криоконсервациялаған сәттен бастап бұл технология көптеген сүтқоректі жануарларда кеңінен таралды [88]. Басқа сүтқоректі жануарлар сияқты иттер үшін де эмбриондарды криоконсервациялау, одан кейін трансплантациялау генетикалық ресурстарды оптимальді пайдалану үшін маңызды болып саналады. Криоконсервациялаудан кейін эмбриондардың өміршеңдігіне әсер ететін факторларға мыналарды жатқызамыз: иттің тұқымы, эмбриондардың даму сатысы, шығу көзі (*in vivo* немесе *in vitro*), криоконсервациялау тәсілі, криопротекторлар және цитоплазмаишілік липидтердің мөлшері. Иттердің эмбриондарын криоконсервациялау кезінде туындайтын ең маңызды мәселелердің бірі цитоплазмадағы липидтердің көп мөлшері. Липидті тамшылар шошқалар мен сиырлардың эмбриондарында да байқалады, бірақ ит эмбриондарындағы липидтердің тығыздығы әлдеқайда жоғары [53]. Kim Y. және оның әріптестері глицерин криопротекторын пайдалану арқылы баяу мұздату әдісімен ит эмбриондарын криоконсервациялаған, бірақ олар ерігеннен кейін эмбриондардың өміршеңдігін тексермеген және ерітілген эмбриондарды ұрғашы-реципиент иттерге трансплантациялағаннан кейін ұрпақ алмаған [89]. Керісінше, Abe

Ү. және оның әріптестері ит эмбриондарын витрификациялау арқылы эмбриондардан морула сатысында 50% және бластоциста сатысында 40% өміршендігіне қол жеткізген. 2011 жылы Abe Y. және оның әріптестері криоконсервацияланған төрт жасушадан морула сатысына дейінгі эмбриондарды 9 ұрғашы-реципиенттерге хирургиялық емес жолмен цитоскоп арқылы трансплантациялау арқылы 4 реципиенттен 7 күшік алғаны туралы жариялаған [53]. Витрификацияланған эмбриондардың трансплантациялауға дейінгі дамуына кедергі келтіретін факторлардың аяғына дейін дұрыс зерттелмегеніне қарамастан иттердің эмбриондарын криоконсервациялау үшін витрификациялау әдісі тиімді болып табылады.

Ит моноэстральді полиовуляциялық маусымдық емес жануар түріне жатады. Иттердің репродуктивті физиологиясы басқа сүтқоректі жануарлардан айтарлықтай ерекшеленеді. Иттердің ооциттері аналық жыныс безінен ұрық көпіршігі сатысында овуляцияланады және жұмыртқа жолында мейоздық жетілуді аяқтайды. Осылайша, иттердің ооциттері мен эмбриондары имплантациялануға дейін репродуктивті жолда көп уақыт жұмсайды. Аталған ерекшеліктеріне байланысты иттерде ооциттердің жетілуі, ұрықтану және эмбриогенез кезеңі басқа сүтқоректілермен салыстырғанда толық зерттелмеген. Эмбриогенез уақыты, яғни овуляциядан бастап эмбриондардың жатырға имплантациялануына дейінгі уақыты анықталмаған [90].

Болашақ зерттеулерде ооциттер мен эмбриондарды криоконсервациялау әдістерін одан әрі жетілдіру үшін эмбриондардың даму жылдамдығын жақсарту керек және витрификациялау үшін тиісті эмбриональді кезеңдерін зерттеу керек. Сондай-ақ эмбриондарды трансплантациялау үшін реципиенттердің лютеиндік гормондарының (ЛГ) жоғарылауынан кейінгі қолайлы уақытты дұрыс таңдап алуды зерттеу қажет.

Аналық без ұлпасын криоконсервациялау аналық жыныс жасушаларын көп мөлшерде сақтауға болатын, соның ішінде препубертальді кезеңде өлген жануарлардың аналық жасушаларын сақтаудың жалғыз жолы болып табылады. Себебі, аналық бездің кортикальді қабатында мыңдаған примордиальді фолликулдар бар, олар жануар өлгеннен кейін бірнеше сағат өтсе де өміршендігін сақтайды. Бұл фолликулдарды алып, криоконсервациялап, болашақта ксенотрансплантациялауға [91] немесе фолликулдарды аналық безден бөліп алып ұрықтануға қабілетті

ооциттерді алу мақсатында *in vitro* өсіруге болады. Осылайша, аналық гаметаларды сақтау үшін тұтастай аналық безді, оның қыртысты бөлігін немесе жеке бөлініп алынған фолликулдарды криоконсервациялап, генофондты кеңейтуге болады. Аналық без ұлпасын криоконсервациялау үшін баяу мұздату және витрификациялау әдістерін қолданады. Аналық без ұлпасын сақтау криобиологиялық тұрғыдан қиын, себебі оның құрамына көптеген жасуша түрлері және арнайы жасушадан тыс матрикс компоненттері кіреді [18]. Алайда, криозақымдану фактілеріне қарамастан осы технология арқылы әртүрлі жануарларға жасалған зерттеулерде тышқандарда [92], егеуқұйрықтарда [93], қояндарда [17], қойларда [94] және адамдарда [61] жетілген ооциттер мен тірі туылған ұрпақтар туралы жарияланған.

Қазіргі таңда аналық без ұлпасының ксенотрансплантациясы жойылып кету қаупі төнген түрлер үшін сипатталған жалғыз мүмкіндік болып табылады. Ол көбінесе аналық без ұлпасының криоконсервациясымен біріктіріледі және осы уақытқа дейін сыналған барлық модельдерде ерітілгеннен кейін трансплантанттың және оның ішінде орналасқан примордиальді фолликулдардың өміршендігінің жақсы сақталғаны туралы зерттеулер бар [91, 95].

Болашақта әлі де жетілдіруді талап ететін әдістерге трансплантацияланған аналық без ұлпасындағы фолликулдарды антральді фолликулдарға дейін индукциялау, содан кейін ооциттердің жетілуі және экстрокорпоральді ұрықтандыру әдістері жатады.

Қорытынды

Жақын арада адамдардың іс-әрекетінің әсерінен көптеген жануарлар түрлері мен тұқымдары жойылып кетуі мүмкін. Сондықтан репродуктивті биотехнологиядағы жаңа әдістерді қалай пайдалануға болатынын қарастыру қажет. Жойылып кету қаупі төнген түрлер мен тұқымдардың соматикалық ұлпалары қазіргі кезде ұлпа банктерінде сақталған. Жойылып кеткен *Capra pyrenaica pyrenaica* сүтқоректі түрінің мұздатылған соматикалық жасушаларын клондау және репродуктивті технологияларды пайдалану арқылы ұрпақ алынғаны туралы деректер бар [96].

Тұқымдарды сақтау бағдарламалары үшін репродуктивті басқару саласындағы жетістіктерге қарамастан жабайы жануарлар мен көптеген жергілікті үй жануарлары тұқымдарының репродуктивті физиологиясы толық зерттел-

меген және мұндай жануарларға репродуктивті биотехнология әдістерін қолдану арқылы зерттелген жұмыстардың сәтті нәтижелері өте аз. Негізгі шектеуші факторларға түрлердің репродуктивті биологиясы туралы білімнің жетіспеушілігін, аналық генетикалық материалдарды сақтаудың стандартты хаттамаларының

болмауын және тұраралық айырмашылықтарды жатқызамыз.

Қаржыландыру көзі

Мақала ҚР ҒЖБМ ҒК нөмері BR21881977 мемлекеттік гранты аясында жазылды.

Әдебиеттер

1. IUCN Species Survival Commission, 2010. IUCN Red List Categories and Criteria, Version 3. 1. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
2. FAO, 2009. Domestic animal genetic diversity. Available from: <http://www.fao.org/biodiversity/geneticresources/bio-domesticanimals/en/>.
3. Perfilyeva, A. Kira Bespalova, Sergey Bespalov, Mamura Begmanova. et al. Kazakh national dog breed tazy: what do we know? // PLoS One 18. – 2023.
4. Perfilyeva A., Bespalova K., Mussabayev R., Begmanova V. et al. // Genetic diversity and origin of Kazakh Tobet Dogs. // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – P. 23137
5. Mason SJ. Current review of artificial insemination in dogs // Vet Clin North Am Small Anim Pract – 2018. – 48. – P. 567–580.
6. Nagashima JB, Sylvester SR, Nelson JL, Cheong SH, Mukai C, Lambo C, Flanders JA, Meyers-Wallen VN, Songsasen N, Travis AJ. Live births from domestic dog (*Canis familiaris*) embryos produced by in vitro fertilization // PLoS One. – 2015. – №10(12). – P. e0143930.
7. Leibo, S.P.; Songsasen, N. Cryopreservation of gametes and embryos of non-domestic species // Theriogenology. – 2002. – Vol. 57. – P. 303–326.
8. Linde-Forsberg, C. Regulations and recommendations for international shipment of chilled and frozen canine semen // Recent Adv. Small Anim. Reprod. – 2001. – Vol. 21 – P. 1–5.
9. Barbas, J.P.; Mascarenhas, R.D. Cryopreservation of domestic animal sperm cells // Cell Tissue Bank. – 2009. – Vol. 10. – P. 49–62.
10. Mahiddine, F.Y., Kim, M.J. Overview on the antioxidants, egg yolk alternatives, and mesenchymal stem cells and derivatives used in canine sperm cryopreservation // Animals. – 2021. – Vol. 11. – P. 1930.
11. Thomassen, R., Sanson, G., Krogenæs, A., Fougner, J.A., Andersen Berg, K., Farstad, W. Artificial insemination with frozen semen in dogs: A retrospective study of 10 years using a non-surgical approach // Theriogenology. – 2006. – Vol. 66. – P. 1645–1650.
12. Hesser, A., Darr, C., Gonzales, K., Power, H., Scanlan, T., Thompson, J., Love, C., Christensen, B., Meyers, S. Semen evaluation and fertility assessment in a purebred dog breeding facility // Theriogenology. – 2017. – Vol. 87. – P. 115–123.
13. Miller, C.D. Optimizing the use of frozen-thawed equine semen // Theriogenology. – 2008. – Vol. 70. – P. 463–468.
14. Luvoni, G.C.; Colombo, M. Cold case: Small animal gametes cryobanking // Theriogenology. – 2020. – Vol. 150. – P. 445–451.
15. Norton BG. The preservation of species // New Jersey: Princeton University Press. – 2014.
16. Ringleb J, Waurich R, Wibbelt G, Streich WJ, Jewgenow K. Prolonged storage of epididymal spermatozoa does not affect their capacity to fertilise in vitro-matured domestic cat (*Felis catus*) oocytes when using ICSI // Reprod Fertil Dev. – 2011. – Vol. 23. – P. 818–25.
17. Donnez J, Dolmans MM. Ovarian cortex transplantation: 60 reported live births brings the success and worldwide expansion of the technique towards routine clinical practice // J Assist Reprod Genet. – 2015. – Vol. 32. – P. 1167–70.
18. Smits J, Dolmans MM, Donnez J, Fortune JE, Hovatta O, Jewgenow K, et al. Current achievements and future research directions in ovarian tissue culture, in vitro follicle development and transplantation: implications for fertility preservation // Hum Reprod Update. – 2010. – Vol. 16. – P. 395–414.
19. Seager SWJ. Successful pregnancies utilizing frozen dog semen // AI Digest. – 1969. – Vol. 17. – P. 6–7.
20. Belala R, Briand-Amirat L, Vinciguerra L, Tainturier D, Kaidi R, Thorin C, Michaud S, Anton M, Bencharif D. Effect of equilibration time on the motility and functional integrity of canine spermatozoa frozen in three different extenders // Res Vet Sci. – 2016. – Vol. 106. – P. 66–73.
21. Gao D, Critser JK. Mechanisms of cryoinjury in living cells // ILAR J. – 2000. – Vol. 41. – P. 187–196.
22. Arav A. Device and methods for multigradient directional cooling and warming of biological samples // US Patent 5,873,254. Interface Multigrad Technology, United States. – 1999.
23. Sánchez-Calabuig MJ, Maillou V, Beltrán-Breña P, de la Fuente Martínez J, GaleraCarrillo S, Pérez-Gutiérrez JF, Pérez-Cereales S. Cryopreservation of canine sperm using egg yolk and soy bean based extenders // Reprod Biol. – 2017. – Vol. 17. – P. 233–238.

24. Abe Y, Lee DS, Sano H, Akiyama K, Yanagimoto-Ueta Y, Asano T, Suwa Y, Suzuki H. Artificial insemination with canine spermatozoa frozen in a skim milk/glucose-based extender // *J Reprod Dev.* – 2008. – Vol. 54. – P. 290–294.
25. Bencharif D, Amirat-Briand L, Garand A, Anton M, Schmitt E, Desherces S, Delhomme G, Langlois ML, Barrière P, Destrumelle S, Vera-Munoz O, Tainturier D. Freezing canine sperm: comparison of semen extenders containing Equex and LDL (Low Density Lipoproteins) // *Anim Reprod Sci.* – 2010. – Vol. 119. – P. 305–313.
26. Bencharif D, Amirat-Briand L, Garand A, Anton M, Schmitt E, Desherces S, Delhomme G, Langlois ML, Barrière P, Destrumelle S, Vera-Munoz O, Tainturier D. The advantages of using a combination of LDL and glutamine in comparison with TRIS egg yolk and Equex® STAMP extenders in the cryopreservation of canine semen // *Res Vet Sci.* – 2012. – Vol. 93. – P. 440–447.
27. Beccaglia M, Anastasi P, Luvoni GC. Freezing of canine semen in an animal-free protein extender // *Vet Res Commun.* – 2009. – Vol. 33. – P. 77–80.
28. Olar TT, Bowen RA, Pickett BW. Influence of extender, cryoperservative and seminal processing procedures on postthaw motility of canine spermatozoa frozen in straws // *Theriogenology.* – 1989. – Vol. 31. – P. 451–461.
29. Rota A, Milani C, Cabianca G, Martini M. Comparison between glycerol and ethylene glycol for dog semen cryopreservation // *Theriogenology.* – 2006. – Vol. 65. – P. 1848–1858.
30. Rota A, Milani C, Romagnoli S, Zucchini P, Mollo A. Pregnancy and conception rate after two intravaginal inseminations with dog semen frozen either with 5% glycerol or 5% ethylene glycol // *Anim Reprod Sci.* – 2010. – Vol. 118. – P. 94–97.
31. Cheema RS, Kaur S, Mavi GK, Singh AK, Honparkhe M, Gandotra VK. In vitro evaluation of Labrador dog spermatozoa cryopreserved in Tris-citric acid-fructose buffer supplemented with different combinations of extracellular and intracellular cryoprotectants // *Anim Biotechnol.* – 2021. – Vol. 32. – P. 352–365.
32. Futino DO, Mendes MCB, Matos WNL, Mondadori RG, Lucci CM. Glycerol, methylformamide and dimethyl-formamide in canine semen cryopreservation // *Reprod Domest Anim.* – 2010. – Vol. 45. – P. 214–220.
33. Hernández-Avilés C, Ruíz-Cristancho A, Vergara-Galván M, Zambrano-Varón J, Jiménez-Escobar C. The Effect of N-N-dimethylformamide on the membrane characteristics of canine spermatozoa after cryopreservation, and its relationship with post-thaw motility // *Top Companion Anim Med.* – 2020. – Vol. 38. – P. 100372.
34. Saragusty J, Osmers JH, Hildebrandt TB. Controlled ice nucleation—Is it really needed for large-volume sperm cryopreservation? // *Theriogenology.* – 2016. – Vol. 85. – P. 1328–1333.
35. Saragusty J, Gacitua H, Zeron Y, Rozenboim I, Arav A. Double freezing of bovine semen // *Anim Reprod Sci.* – 2009. – Vol. 115. – P. 10–17.
36. Arav A, Saragusty J. Directional freezing of sperm and associated derived technologies // *Anim Reprod Sci.* – 2016. – Vol. 169. – P. 6–13.
37. Arav A, Yavin S, Zeron Y, Natan D, Dekel I, Gacitua H. New trends in gamete's cryopreservation // *Mol Cell Endocrinol.* – 2002. – Vol. 187. – P. 77–81.
38. Reid CE, Hermes R, Blottner S, et al. Split-sample comparison of directional and liquid nitrogen vapour freezing method on post-thaw semen quality in white rhinoceroses (*Ceratotherium simum simum* and *Ceratotherium simum cottoni*) // *Theriogenology.* – 2009. – Vol. 71. – P. 275–291.
39. Hayakawa H, Yamazaki T, Oshi M, Hoshino M, Dochi O, Koyama H. Cryopreservation of conventional and sexsorted bull sperm using a directional freezing method // *Reprod Fertil Dev.* – 2007. – Vol. 19. – P. 176–177.
40. Saragusty J, Gacitua H, Pettit MT, Arav A. Directional freezing of equine semen in large volumes // *Reprod Domest Anim.* – 2007. – Vol. 42. – P. 610–615.
41. Isachenko V, Isachenko E, Katkov II, et al. Cryoprotectant-free cryopreservation of human spermatozoa by vitrification and freezing in vapor: Effect on motility, DNA integrity, and fertilization ability // *Biol Reprod.* – 2004. – Vol. 71. – P. 1167–1173.
42. Mohamed MS. Slow cryopreservation is not superior to vitrification in human spermatozoa; an experimental controlled study // *Iranian J Reprod Med.* – 2015. – Vol. 13. – P. 633.
43. Isachenko E, Mallmann P, Rahimi G, et al. Vitrification technique-new possibilities for male gamete lowtemperature storage // In: Katkov II (ed). *Current Frontiers in Cryobiology*. ISBN: 978-953-51-0191-8. Croatia: IntechOpen. – 2012. – P. 41–76.
44. Sa'nchez R, Risopatro'n J, Schulz M, et al. Canine sperm vitrification with sucrose: Effect on sperm function // *Andrologia.* – 2011. – Vol. 43. – P. 233–241.
45. Vizuete G, Jime'nez E, Agu'era EI, Pe'rez-Mari'n CC. Impact of ultra-rapid freezing on the motility, morphology, viability and acrosome integrity of epididymal cat sperm diluted in sucrose-based extenders // *Reprod Domest Anim.* – 2014. – №49(1). – P. e5–8.
46. Jime'nez-Rabada'n P, Garcí'a-A'lvarez O, Vidal A, et al. Effects of vitrification on ram spermatozoa using free-egg yolk extenders // *Cryobiology.* – 2015. – Vol. 71. – P. 85–90.
47. Caturla-Sánchez, E., Sánchez-Calabuig, M., Gutiérrez, J.F.P., Cerdeira, J., Castaño, C., Santiago-Moreno, J. Vitrification of dog spermatozoa: Effects of two cryoprotectants (sucrose or trehalose) and two warming procedures // *Cryobiology.* – 2018. – Vol. 80. – P. 126–129.
48. Maja Zakošek Pipan, Margret L. Casal, Nataša Šterbenc, Irma Virant Klun and Janko Mrkun. Vitrification Using Soy Lecithin and Sucrose: A New Way to Store the Sperm for the Preservation of Canine Reproductive Function // *Animals.* – 2020. – Vol. 10. – P. 653.
49. Saragusty J, Arav A. Current progress in oocyte and embryo cryopreservation by slow freezing and vitrification // *Reproduction.* – 2011. – №141(1). – P.1–19.
50. Moussa M, Shu J, Zhang X, Zeng F. Cryopreservation of mammalian oocytes and embryos: current problems and future perspectives // *Sci China Life Sci.* – 2014. – Vol. 57. – P. 903–914.

51. Abe Y, Asano T, Ali M, Suzuki H. Vitrification of canine cumulus-oocyte complexes in DAP213 with a cryotop holder // *Reprod Med Biol.* – 2010. – Vol. 9 – P. 115–120.
52. Turathum B, Saikhun K, Sangsuwan P, Kitiyanant Y. Effects of vitrification on nuclear maturation, ultrastructural changes and gene expression of canine oocytes // *Reprod Biol Endocrinol.* – 2010. – Vol. 8. – P. 70.
53. Abe Y, Suwa Y, Asano T, Ueta YY, Kobayashi N, Ohshima N, Shirasuna S, AbdelGhani MA, Oi M, Kobayashi Y, Miyoshi M, Miyahara K, Suzuki H. Cryopreservation of canine embryos // *Biol Reprod.* – 2011. – Vol. 84. – P. 363–368.
54. Nagashima JB, Songsasen N. Canid Reproductive Biology: Norm and Unique Aspects in Strategies and Mechanisms // *Animals.* – 2021. – №11(3). – P. 653
55. Hori T, Ushijima H, Kimura T, Kobayashi M, Kawakami E, Tsutsui T. Intrauterine embryo transfer with canine embryos cryopreserved by the slow freezing and the Cryotop method // *J Vet Med Sci.* – 2016. – Vol. 78. – P. 1137–1143.
56. Ishijima T, Kobayashi Y, Lee DS, Ueta YY, Matsui M, Lee JY, Suwa Y, Miyahara K, Suzuki H. Cryopreservation of canine ovaries by vitrification // *J Reprod Dev.* – 2006. – Vol. 52. – P. 293–299.
57. Hariya M, Suzuki H. Incidence of apoptotic cells after vitrification in canine ovarian tissues // *J Mamm Ova Res.* – 2016. – Vol. 33. – P. 69–75.
58. Ackermann CL, Asa CS, Krisher R, Bauman K, Casey S, Lopes MD. Evaluation of follicular growth and tissue viability in vitrified/warmed domestic dog ovaries after in vitro culture // *Reprod Domest Anim.* – 2017. – №52(2). – P. 77–81.
59. Hirayama Y, Inoue K, Suzuki H. Effect of intraperitoneal administration of desialylated erythropoietin on the follicular survival in cryopreserved canine ovaries after xenotransplantation // *J Mamm Ova Res.* – 2011. – Vol. 28. – P. 143–147.
60. Wakasa I, Hayashi M, Abe Y, Suzuki H. Distribution of follicles in canine ovarian tissues and xenotransplantation of cryopreserved ovarian tissues with even distribution of follicles // *Reprod Domest Anim.* – 2017. – №52(2). – P. 219–223.
61. Jivago JLPR, Paulini F, Silva RC, Araujo MS, Marinho APS, Lucci CM. Cryopreservation and characterization of canine preantral follicles // *Cryobiology.* – 2018. – Vol. 81. – P. 34–42.
62. Commin L, Buff S, Rosset E, Galet C, Allard A, Bruyere P, Joly T, Guérin P, Neto V. Follicle development in cryopreserved bitch ovarian tissue grafted to immunodeficient mouse // *Reprod Fertil Dev.* – 2012. – Vol. 24. – P. 461–471.
63. Wanderley LS, Machado Luz HK, Faustino LR, Lima IMT, Lopes CAP, Silva AR, et al. Ultrastructural features of agouti (*Dasyprocta aguti*) preantral follicles cryopreserved using dimethyl sulfoxide, ethylene glycol and propanediol // *Theriogenology.* – 2012. – Vol. 77. – P. 260–7.
64. Castro SV, De Carvalho AA, Da Silva CMG, Faustino LR, Campello CC, Lucci CM, et al. Freezing solution containing dimethylsulfoxide and fetal calf serum maintains survival and ultrastructure of goat preantral follicles after cryopreservation and in vitro culture of ovarian tissue // *Cell Tissue Res.* – 2011. – Vol. 346. – P. 283–92.
65. Lopes CAP, Alves AMCV, Jewgenow K, Bão SN, de Figueiredo JR. Cryopreservation of canine ovarian cortex using DMSO or 1,3-propanediol // *Theriogenology.* – 2016. – Vol. 86. – P. 1165–1174.
66. Fujihara M, Kaneko T, Inoue-Murayama M. Vitrification of canine ovarian tissues with polyvinylpyrrolidone preserves the survival and developmental capacity of primordial follicles // *Sci Rep.* – 2019. – Vol. 9. – P. 3970.
67. Wildt, D.E. Genome resource banking for wildlife research, management, and conservation // *ILAR J.* – 2000. – Vol. 41. – P. 228–234.
68. Peña F.J., Núñez-Martínez I., Morán J.M. Semen technologies in dog breeding: an update // *Reprod Domest Anim.* – 2006. – №41(2). – P. 21–9.
69. Kumar, A.; Prasad, J.; Srivastava, N.; Ghosh, S. Strategies to Minimize Various Stress-Related Freeze-Thaw Damages During Conventional Cryopreservation of Mammalian Spermatozoa // *Biopreservation Biobanking.* – 2019. – Vol. 17. – P. 603–612.
70. Isachenko, V.; Rahimi, G.; Mallmann, P.; Sanchez, R.; Isachenko, E. Technologies of cryoprotectant-free vitrification of human spermatozoa: asepticity as criterion of effectiveness // *Andrology.* – 2017. – Vol. 5. – P. 1055–1063.
71. Mazur, P. Freezing of living cells: mechanisms and implications // *Am. J. Physiol.* – 1984. – Vol. 247. – P. 125–142.
72. Drobnis EZ, Crowe LM, Berger T, Anchordoguy TJ, et al. Cold shock damage is due to lipid phase transitions in cell membranes: A demonstration using sperm as a model // *J Exp Zool.* – 1993. – Vol. 265. – P. 432–437.
73. Purdy PH, Graham JK. Effect of adding cholesterol to bull sperm membranes on sperm capacitation, the acrosome reaction, and fertility // *Biol Reprod.* – 2004. – Vol. 71. – P. 522–527.
74. Rajoriya JS, Prasad JK, Ramteke SS, et al. Enriching membrane cholesterol improves stability and cryosurvival of buffalo spermatozoa // *Anim Reprod Sci.* – 2016. – Vol. 164. – P. 72–81.
75. Moce´ E, Purdy PH, Graham JK. Treating ram sperm with cholesterol-loaded cyclodextrins improves cryosurvival // *Anim Reprod Sci.* – 2010. – Vol. 118. – P. 236–247.
76. Moore AI, Squires EL, Graham JK. Adding cholesterol to the stallion sperm plasma membrane improves cryosurvival // *Cryobiology.* – 2005. – Vol. 51. – P. 241–249.
77. Galantino-Homer HL, Zeng WX, Megee SO, Dallmeyer M, Voelkl D, Dobrinski I. Effects of 2-hydroxypropyl- β -cyclodextrin and cholesterol on porcine sperm viability and capacitation status following cold shock or incubation // *Mol Reprod Dev.* – 2006. – Vol. 73. – P. 638–650.
78. Buendia P., Soler C., Paolicchi F., Gago G., Urquieta B., Perez-Sanchez F., BustosObregon E., Morphometric characterization and classification of alpaca sperm heads using the sperm-class analyzer computer-assisted system // *Theriogenology.* – 2002. – Vol. 57. – P. 1207–1218.
79. Prathalingam NS, Holt WV, Revell SG, Mirczuk S, Fleck RA, Watson PF. Impact of antifreeze proteins and antifreeze glycoproteins on bovine sperm during freeze-thaw // *Theriogenology* – 2006. – Vol. 66. – P. 1894–1900.

80. Qadeer S, Khan MA, Ansari MS, et al. Evaluation of antifreeze protein III for cryopreservation of Nili-Ravi (*Bubalus bubalis*) buffalo bull sperm // *Anim Reprod Sci.* – 2014. – Vol. 148. – P. 26–31.
81. Qadeer S, Khan MA, Shahzad Q, et al. Efficiency of beetle (*Dendroides canadensis*) recombinant antifreeze protein for buffalo semen freezability and fertility // *Theriogenology.* – 2016. – Vol. 86. – P. 1662–1669.
82. Guthrie, H.D., Liu, J., Critser, J.K. Osmotic tolerance limits and effects of cryoprotectants on motility of bovine spermatozoa // *Biol.Reprod.* – 2002. – Vol. 67. – P. 1811–1816
83. Reynaud K, Fontbonne A, Marseloo N, Thoumire S, Chebrou M, de Lesegno CV, Chastant-Maillard S. In vivo meiotic resumption, fertilization and early embryonic development in the bitch // *Reproduction.* – 2005. – Vol. 130. – P. 193–201.
84. Songsasen N, Wildt DE. Oocyte biology and challenges in developing in vitro maturation systems in the domestic dog // *Anim Reprod Sci.* – 2007. – Vol. 98. – P. 2–22.
85. Saikhun J, Sriussadaporn S, Thongthip N, Pinyopummin A, Kitiyanant Y. Nuclear maturation and development of IVM/IVF canine embryos in synthetic oviductal fluid or in co-culture with buffalo rat liver cells // *Theriogenology.* – 2008. – Vol. 69. – P. 1104–1110
86. Vieira AD, Mezzalana A, Barbieri DP, Lehmkuhl RC, Rubin MIB, Vajta G. Calves born after open pulled straw vitrification of immature bovine oocytes // *Cryobiology.* – 2002. – Vol. 45. – P. 91–94.
87. Tao T, Valle AD. Human oocyte and ovarian tissue cryopreservation and its application // *J Assist Reprod Genet.* – 2008. – Vol. 25. – P. 287–296.
88. Whittingham DG, Leibo SP, Mazur P. Survival of mouse embryos frozen to minus 196 degree C and minus 269 degree C // *Science.* – 1972. – Vol. 178. – P. 411–414
89. Kim YJ, Kim BJ, You IJ. Embryo transfer with frozen embryos in the dog // *J Vet Clin.* – 2002. – Vol. 19. – P. 73–79.
90. Reynaud K, Fontbonne A, Marseloo N, de Lesegno CV, Saint-Dizier M, Chastant-Maillard S. In vitro canine oocyte maturation, fertilization and early embryogenesis: a review // *Theriogenology.* – 2006. – Vol. 66. – P. 1685–1693.
91. Paris, M.C., Snow, M., Cox, S.L., Shaw, J.M. Xenotransplantation: a tool for reproductive biology and animal conservation? // *Theriogenology.* – 2004. – Vol. 61. – P. 277–291.
92. Kagawa, N., Kuwayama, M., Nakata, K., Vajta, G., Silber, S., Manabe, N., Kato, O. Production of the first offspring from oocytes derived from fresh and cryopreserved pre-antral follicles of adult mice // *Reprod. Biomed.* – 2007. – Vol. 14. – P. 693–699.
93. Wang, X., Cheng, H., Yin, H., Kim, S.S., Lin Tan, S., Gosden, R.G. Fertility after intact ovary transplantation // *Nature.* – 2002. – Vol. 24. – P. 385.
94. Gosden, R.G., Baird, D.T., Wade, J.C., Webb, R. Restoration of fertility to oophorectomized sheep by ovarian autografts stored at –196 degrees C // *Hum. Reprod.* – 1994. – Vol. 9. – P. 597–603.
95. Paris, M.C.J., Schlatt, S. Ovarian and testicular tissue xenografting: its potential for germline preservation of companion animals, non-domestic and endangered species // *Reprod. Fertil. Dev.* – 2007. – Vol. 19. – P. 1–12
96. Folch, J., Cocero, M.J., Chesné, P., Alabart, J.L., Domínguez, V., Cognié, Y., Roche, A., Fernández-Arias, A., Martí, J.I., Sánchez, P., Echegoven, E., Beckers, J.F., Bonastre, A.S., Vignon, X. First birth of an animal from an extinct subspecies (*Capra pyrenaica pyrenaica*) by cloning // *Theriogenology.* – 2009. – Vol. 71. – P. 1026–1034.

References

1. Abe Y, Lee DS, Sano H, Akiyama K, Yanagimoto-Ueta Y, Asano T, Suwa Y, Suzuki H. Artificial insemination with canine spermatozoa frozen in a skim milk/glucose-based extender // *J Reprod Dev.* – 2008. – Vol. 54. – P. 290–294.
2. Abe Y, Asano T, Ali M, Suzuki H. Vitrification of canine cumulus-oocyte complexes in DAP213 with a cryotop holder // *Reprod Med Biol.* – 2010. – Vol. 9 – P. 115–120.
3. Abe Y, Suwa Y, Asano T, Ueta YY, Kobayashi N, Ohshima N, Shirasuna S, AbdelGhani MA, Oi M, Kobayashi Y, Miyoshi M, Miyahara K, Suzuki H. Cryopreservation of canine embryos // *Biol Reprod.* – 2011. – Vol. 84. – P. 363–368.
4. Ackermann CL, Asa CS, Krisher R, Bauman K, Casey S, Lopes MD. Evaluation of follicular growth and tissue viability in vitrified/warmed domestic dog ovaries after in vitro culture // *Reprod Domest Anim.* – 2017. – №52(2). – P. 77–81.
5. Arav A. Device and methods for multigradient directional cooling and warming of biological samples // US Patent 5,873,254. Interface Multigrad Technology, United States. – 1999.
6. Arav A, Yavin S, Zeron Y, Natan D, Dekel I, Gacitua H. New trends in gamete's cryopreservation // *Mol Cell Endocrinol.* – 2002. – Vol. 187. – P. 77–81.
7. Arav A, Saragusty J. Directional freezing of sperm and associated derived technologies // *Anim Reprod Sci.* – 2016. – Vol. 169. – P. 6–13.
8. Barbas, J.P.; Mascarenhas, R.D. Cryopreservation of domestic animal sperm cells // *Cell Tissue Bank.* – 2009. – Vol. 10. – P. 49–62.
9. Beccaglia M, Anastasi P, Luvoni GC. Freezing of canine semen in an animal-free protein extender // *Vet Res Commun.* – 2009. – Vol. 33. – P. 77–80.
10. Belala R, Briand-Amirat L, Vinciguerra L, Tainturier D, Kaidi R, Thorin C, Michaud S, Anton M, Bencharif D. Effect of equilibration time on the motility and functional integrity of canine spermatozoa frozen in three different extenders // *Res Vet Sci.* – 2016. – Vol. 106. – P. 66–73.
11. Bencharif D, Amirat-Briand L, Garand A, Anton M, Schmitt E, Desherces S, Delhomme G, Langlois ML, Barrière P, Destrumelle S, Vera-Munoz O, Tainturier D. Freezing canine sperm: comparison of semen extenders containing Equex and LDL (Low Density Lipoproteins) // *Anim Reprod Sci.* – 2010. – Vol. 119. – P. 305–313.

12. Bencharif D, Amirat-Briand L, Garand A, Anton M, Schmitt E, Desherces S, Delhomme G, Langlois ML, Barrière P, Destrumelle S, Vera-Munoz O, Tainturier D. The advantages of using a combination of LDL and glutamine in comparison with TRIS egg yolk and Equex® STAMP extenders in the cryopreservation of canine semen // *Res Vet Sci.* – 2012. – Vol. 93. – P. 440–447.
13. Buendia P., Soler C., Paolicchi F., Gago G., Urquieta B., Perez-Sanchez F., BustosObregon E., Morphometric characterization and classification of alpaca sperm heads using the sperm-class analyzer computer-assisted system // *Theriogenology.* – 2002. – Vol. 57. – P. 1207–1218.
14. Castro SV, De Carvalho AA, Da Silva CMG, Faustino LR, Campello CC, Lucci CM, et al. Freezing solution containing dimethylsulfoxide and fetal calf serum maintains survival and ultrastructure of goat preantral follicles after cryopreservation and in vitro culture of ovarian tissue // *Cell Tissue Res.* – 2011. – Vol. 346. – P. 283–92.
15. Caturla-Sánchez, E., Sánchez-Calabuig, M., Gutiérrez, J.F.P., Cerdeira, J., Castaño, C., Santiago-Moreno, J. Vitricification of dog spermatozoa: Effects of two cryoprotectants (sucrose or trehalose) and two warming procedures // *Cryobiology.* – 2018. – Vol. 80. – P. 126–129.
16. Cheema RS, Kaur S, Mavi GK, Singh AK, Honparkhe M, Gandotra VK. In vitro evaluation of Labrador dog spermatozoa cryopreserved in Tris-citric acid-fructose buffer supplemented with different combinations of extracellular and intracellular cryoprotectants // *Anim Biotechnol.* – 2021. – Vol. 32. – P. 352–365.
17. Commin L, Buff S, Rosset E, Galet C, Allard A, Bruyere P, Joly T, Guérin P, Neto V. Follicle development in cryopreserved bitch ovarian tissue grafted to immunodeficient mouse // *Reprod Fertil Dev.* – 2012. – Vol. 24. – P. 461–471.
18. Donnez J, Dolmans MM. Ovarian cortex transplantation: 60 reported live births brings the success and worldwide expansion of the technique towards routine clinical practice // *J Assist Reprod Genet.* – 2015. – Vol. 32. – P. 1167–70.
19. Drobnis EZ, Crowe LM, Berger T, Anchordoguy TJ, et al. Cold shock damage is due to lipid phase transitions in cell membranes: A demonstration using sperm as a model // *J Exp Zool.* – 1993. – Vol. 265. – P. 432–437.
20. FAO, 2009. Domestic animal genetic diversity. Available from: <http://www.fao.org/biodiversity/geneticresources/bio-domesticanimals/en/>.
21. Folch, J., Cocero, M.J., Chesné, P., Alabart, J.L., Domínguez, V., Cognié, Y., Roche, A., Fernández-Arias, A., Martí, J.I., Sánchez, P., Echegoven, E., Beckers, J.F., Bonastre, A.S., Vignon, X. First birth of an anima from an extinct subspecies (*Capra pyrenaica pyrenaica*) by cloning // *Theriogenology.* – 2009. – Vol. 71. – P. 1026–1034.
22. Fujihara M, Kaneko T, Inoue-Murayama M. Vitricification of canine ovarian tissues with polyvinylpyrrolidone preserves the survival and developmental capacity of primordial follicles // *Sci Rep.* – 2019. – Vol. 9. – P. 3970.
23. Futino DO, Mendes MCB, Matos WNL, Mondadori RG, Lucci CM. Glycerol, methylformamide and dimethyl-formamide in canine semen cryopreservation // *Reprod Domest Anim.* – 2010. – Vol. 45. – P. 214–220.
24. Galantino-Homer HL, Zeng WX, Megee SO, Dallmeyer M, Voelkl D, Dobrinski I. Effects of 2-hydroxypropyl- β -cyclodextrin and cholesterol on porcine sperm viability and capacitation status following cold shock or incubation // *Mol Reprod Dev.* – 2006. – Vol. 73. – P. 638–650.
25. Gao D, Critser JK. Mechanisms of cryoinjury in living cells // *ILAR J.* – 2000. – Vol. 41. – P. 187–196.
26. Gosden, R.G., Baird, D.T., Wade, J.C., Webb, R. Restoration of fertility to oophorectomized sheep by ovarian autografts stored at –196 degrees C // *Hum. Reprod.* – 1994. – Vol. 9. – P. 597–603.
27. Guthrie, H.D., Liu, J., Critser, J.K. Osmotic tolerance limits and effects of cryoprotectants on motility of bovine spermatozoa // *Biol.Reprod.* – 2002. – Vol. 67. – P. 1811–1816
28. Hariya M, Suzuki H. Incidence of apoptotic cells after vitricification in canine ovarian tissues // *J Mamm Ova Res.* – 2016. – Vol. 33. – P. 69–75.
29. Hayakawa H, Yamazaki T, Oshi M, Hoshino M, Dochi O, Koyama H. Cryopreservation of conventional and sexsorted bull sperm using a directional freezing method // *Reprod Fertil Dev.* – 2007. – Vol. 19. – P. 176–177.
30. Hesser, A., Darr, C., Gonzales, K., Power, H., Scanlan, T., Thompson, J., Love, C., Christensen, B., Meyers, S. Semen evaluation and fertility assessment in a purebred dog breeding facility // *Theriogenology.* – 2017. – Vol. 87. – P. 115–123.
31. Hernández-Avilés C, Ruíz-Cristancho A, Vergara-Galván M, Zambrano-Varón J, Jiménez-Escobar C. The Effect of N-N-dimethylformamide on the membrane characteristics of canine spermatozoa after cryopreservation, and its relationship with post-thaw motility // *Top Companion Anim Med.* – 2020. – Vol. 38. – P. 100372.
32. Hirayama Y, Inoue K, Suzuki H. Effect of intraperitoneal administration of desialylated erythropoietin on the follicular survival in cryopreserved canine ovaries after xenotransplantation // *J Mamm Ova Res.* – 2011. – Vol. 28. – P. 143–147.
33. Hori T, Ushijima H, Kimura T, Kobayashi M, Kawakami E, Tsutsui T. Intrauterine embryo transfer with canine embryos cryopreserved by the slow freezing and the Cryotop method // *J Vet Med Sci.* – 2016. – Vol. 78. – P. 1137–1143.
34. Isachenko V, Isachenko E, Katkov II, et al. Cryoprotectant-free cryopreservation of human spermatozoa by vitricification and freezing in vapor: Effect on motility, DNA integrity, and fertilization ability // *Biol Reprod.* – 2004. – Vol. 71. – P. 1167–1173.
35. Isachenko E, Mallmann P, Rahimi G, et al. Vitricification technique-new possibilities for male gamete lowtemperature storage // In: Katkov II (ed). *Current Frontiers in Cryobiology.* ISBN: 978-953-51-0191-8. Croatia: IntechOpen. – 2012. – P. 41–76.
36. Isachenko, V.; Rahimi, G.; Mallmann, P.; Sanchez, R.; Isachenko, E. Technologies of cryoprotectant-free vitricification of human spermatozoa: asepticity as criterion of effectiveness // *Andrology.* – 2017. – Vol. 5. – P. 1055–1063.
37. Ishijima T, Kobayashi Y, Lee DS, Ueta YY, Matsui M, Lee JY, Suwa Y, Miyahara K, Suzuki H. Cryopreservation of canine ovaries by vitricification // *J Reprod Dev.* – 2006. – Vol. 52. – P. 293–299.
38. IUCN Species Survival Commission, 2010. IUCN Red List Categories and Criteria, Version 3. 1. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.

39. Jime'nez-Rabada'n P, Garcí'a-A'lvarez O, Vidal A, et al. Effects of vitrification on ram spermatozoa using free-egg yolk extenders // *Cryobiology*. – 2015. – Vol. 71. – P. 85–90.
40. Jivago JLPR, Paulini F, Silva RC, Araujo MS, Marinho APS, Lucci CM. Cryopreservation and characterization of canine preantral follicles // *Cryobiology*. – 2018. – Vol. 81. – P. 34–42.
41. Kagawa, N., Kuwayama, M., Nakata, K., Vajta, G., Silber, S., Manabe, N., Kato, O. Production of the first offspring from oocytes derived from fresh and cryopreserved pre-antral follicles of adult mice // *Reprod. Biomed.* – 2007. – Vol. 14. – P. 693–699.
42. Kim YJ, Kim BJ, You IJ. Embryo transfer with frozen embryos in the dog // *J Vet Clin.* – 2002. – Vol. 19. – P. 73–79.
43. Kumar, A.; Prasad, J.; Srivastava, N.; Ghosh, S. Strategies to Minimize Various Stress-Related Freeze-Thaw Damages During Conventional Cryopreservation of Mammalian Spermatozoa // *Biopreservation Biobanking*. – 2019. – Vol. 17. – P. 603–612.
44. Leibo, S.P.; Songsasen, N. Cryopreservation of gametes and embryos of non-domestic species // *Theriogenology*. – 2002. – Vol. 57. – P. 303–326.
45. Linde-Forsberg, C. Regulations and recommendations for international shipment of chilled and frozen canine semen // *Recent Adv. Small Anim. Reprod.* – 2001. – Vol. 21 – P. 1–5.
46. Lopes CAP, Alves AMCV, Jewgenow K, Bão SN, de Figueiredo JR. Cryopreservation of canine ovarian cortex using DMSO or 1,3-propanediol // *Theriogenology*. – 2016. – Vol. 86. – P. 1165–1174.
47. Luvoni, G.C.; Colombo, M. Cold case: Small animal gametes cryobanking // *Theriogenology*. – 2020. – Vol. 150. – P. 445–451.
48. Maja Zakošek Pipan, Margret L. Casal, Nataša Šterbenc, Irma Virant Klun and Janko Mrkun. Vitrification Using Soy Lecithin and Sucrose: A New Way to Store the Sperm for the Preservation of Canine Reproductive Function // *Animals*. – 2020. – Vol. 10. – P. 653.
49. Mahiddine, F.Y., Kim, M.J. Overview on the antioxidants, egg yolk alternatives, and mesenchymal stem cells and derivatives used in canine sperm cryopreservation // *Animals*. – 2021. – Vol. 11. – P.1930.
50. Mason SJ. Current review of artificial insemination in dogs // *Vet Clin North Am Small Anim Pract* – 2018. – 48. – P. 567–580.
51. Mazur, P. Freezing of living cells: mechanisms and implications // *Am. J. Physiol.* – 1984. – Vol. 247. – P. 125–142.
52. Miller, C.D. Optimizing the use of frozen-thawed equine semen // *Theriogenology*. – 2008. – Vol. 70. – P. 463–468.
53. Moce' E, Purdy PH, Graham JK. Treating ram sperm with cholesterol-loaded cyclodextrins improves cryosurvival // *Anim Reprod Sci.* – 2010. – Vol. 118. – P. 236–247.
54. Mohamed MS. Slow cryopreservation is not superior to vitrification in human spermatozoa; an experimental controlled study // *Iranian J Reprod Med.* – 2015. – Vol. 13. – P. 633.
55. Moore AI, Squires EL, Graham JK. Adding cholesterol to the stallion sperm plasma membrane improves cryosurvival // *Cryobiology*. – 2005. – Vol. 51. – P. 241–249.
56. Moussa M, Shu J, Zhang X, Zeng F. Cryopreservation of mammalian oocytes and embryos: current problems and future perspectives // *Sci China Life Sci.* – 2014. – Vol. 57. – P. 903–914.
57. Nagashima JB, Sylvester SR, Nelson JL, Cheong SH, Mukai C, Lambo C, Flanders JA, Meyers-Wallen VN, Songsasen N, Travis AJ. Live births from domestic dog (*Canis familiaris*) embryos produced by in vitro fertilization // *PLoS One*. – 2015. – №10(12). – P. e0143930.
58. Nagashima JB, Songsasen N. Canid Reproductive Biology: Norm and Unique Aspects in Strategies and Mechanisms // *Animals*. – 2021. – №11(3). – P. 653
59. Norton BG. The preservation of species // New Jersey: Princeton University Press. – 2014
60. Olar TT, Bowen RA, Pickett BW. Influence of extender, cryopervative and seminal processing procedures on postthaw motility of canine spermatozoa frozen in straws // *Theriogenology*. – 1989. – Vol. 31. – P. 451–461.
61. Paris, M.C., Snow, M., Cox, S.L., Shaw, J.M. Xenotransplantation: a tool for reproductive biology and animal conservation? // *Theriogenology*. – 2004. – Vol. 61. – P. 277–291.
62. Paris, M.C.J., Schlatt, S. Ovarian and testicular tissue xenografting: its potential for germline preservation of companion animals, non-domestic and endangered species // *Reprod. Fertil. Dev.* – 2007. – Vol. 19. – P. 1–12
63. Perfía F.J., Núñez-Martínez I., Morán J.M. Semen technologies in dog breeding: an update // *Reprod Domest Anim.* – 2006. – №41(2). – P. 21–9.
64. Perfilyeva, A. Kira Bepalova, Sergey Bepalov, Mamura Begmanova. et al. Kazakh national dog breed tazy: what do we know? // *PLoS One*18. – 2023.
65. Perfilyeva A., Bepalova K., Mussabayev R., Begmanova V. et al. // Genetic diversity and origin of Kazakh Tobet Dogs. // *Scientific Reports*. – 2024. – Vol.14. – P. 23137
66. Prathalingam NS, Holt WV, Revell SG, Mirczuk S, Fleck RA, Watson PF. Impact of antifreeze proteins and antifreeze glycoproteins on bovine sperm during freeze-thaw // *Theriogenology* – 2006. – Vol. 66. – P. 1894–1900.
67. Purdy PH, Graham JK. Effect of adding cholesterol to bull sperm membranes on sperm capacitation, the acrosome reaction, and fertility // *Biol Reprod.* – 2004. – Vol. 71. – P. 522–527.
68. Qadeer S, Khan MA, Ansari MS, et al. Evaluation of antifreeze protein III for cryopreservation of Nili-Ravi (*Bubalus bubalis*) buffalo bull sperm // *Anim Reprod Sci.* – 2014. – Vol. 148. – P. 26–31.
69. Qadeer S, Khan MA, Shahzad Q, et al. Efficiency of beetle (*Dendroides canadensis*) recombinant antifreeze protein for buffalo semen freezability and fertility // *Theriogenology*. – 2016. – Vol. 86. – P. 1662–1669.
70. Rajoriya JS, Prasad JK, Ramteke SS, et al. Enriching membrane cholesterol improves stability and cryosurvival of buffalo spermatozoa // *Anim Reprod Sci.* – 2016. – Vol. 164. – P. 72–81.

71. Reid CE, Hermes R, Blottner S, et al. Split-sample comparison of directional and liquid nitrogen vapour freezing method on post-thaw semen quality in white rhinoceroses (*Ceratotherium simum simum* and *Ceratotherium simum cottoni*) // *Theriogenology*. – 2009. – Vol. 71. – P. 275–291.
72. Reynaud K, Fontbonne A, Marseloo N, Thoumire S, Chebrou M, de Leseqno CV, Chastant-Maillard S. In vivo meiotic resumption, fertilization and early embryonic development in the bitch // *Reproduction*. – 2005. – Vol. 130. – P. 193–201.
73. Reynaud K, Fontbonne A, Marseloo N, de Leseqno CV, Saint-Dizier M, Chastant-Maillard S. In vitro canine oocyte maturation, fertilization and early embryogenesis: a review // *Theriogenology*. – 2006. – Vol. 66. – P. 1685–1693.
74. Ringleb J, Waurich R, Wibbelt G, Streich WJ, Jewgenow K. Prolonged storage of epididymal spermatozoa does not affect their capacity to fertilise in vitro-matured domestic cat (*Felis catus*) oocytes when using ICSI // *Reprod Fertil Dev*. – 2011. – Vol. 23. – P. 818–25.
75. Rota A, Milani C, Cabianca G, Martini M. Comparison between glycerol and ethylene glycol for dog semen cryopreservation // *Theriogenology*. – 2006. – Vol. 65. – P. 1848–1858.
76. Rota A, Milani C, Romagnoli S, Zucchini P, Mollo A. Pregnancy and conception rate after two intravaginal inseminations with dog semen frozen either with 5% glycerol or 5% ethylene glycol // *Anim Reprod Sci*. – 2010. – Vol. 118. – P. 94–97.
77. Saikhun J, Sriussadaporn S, Thongthip N, Pinyopummin A, Kitiyanant Y. Nuclear maturation and development of IVM/IVF canine embryos in synthetic oviductal fluid or in co-culture with buffalo rat liver cells // *Theriogenology*. – 2008. – Vol. 69. – P. 1104–1110.
78. Sa'nchez R, Risopatro'n J, Schulz M, et al. Canine sperm vitrification with sucrose: Effect on sperm function // *Andrologia*. – 2011. – Vol. 43. – P. 233–241.
79. Sánchez-Calabuig MJ, Mailló V, Beltrán-Breña P, de la Fuente Martínez J, GaleraCarrillo S, Pérez-Gutiérrez JF, Pérez-Cereales S. Cryopreservation of canine sperm using egg yolk and soy bean based extenders // *Reprod Biol*. – 2017. – Vol. 17. – P. 233–238.
80. Saragusty J, Gacitua H, Pettit MT, Arav A. Directional freezing of equine semen in large volumes // *Reprod Domest Anim*. – 2007. – Vol. 42. – P. 610–615.
81. Saragusty J, Gacitua H, Zeron Y, Rozenboim I, Arav A. Double freezing of bovine semen // *Anim Reprod Sci*. – 2009. – Vol. 115. – P. 10–17.
82. Saragusty J, Arav A. Current progress in oocyte and embryo cryopreservation by slow freezing and vitrification // *Reproduction*. – 2011. – №141(1). – P.1–19.
83. Saragusty J, Osmers JH, Hildebrandt TB. Controlled ice nucleation—Is it really needed for large-volume sperm cryopreservation? // *Theriogenology*. – 2016. – Vol. 85. – P. 1328–1333.
84. Seager SWJ. Successful pregnancies utilizing frozen dog semen // *AI Digest*. – 1969. – Vol. 17. – P. 6–7.
85. Smitz J, Dolmans MM, Donnez J, Fortune JE, Hovatta O, Jewgenow K, et al. Current achievements and future research directions in ovarian tissue culture, in vitro follicle development and transplantation: implications for fertility preservation // *Hum Reprod Update*. – 2010. – Vol. 16. – P. 395–414.
86. Songsasen N, Wildt DE. Oocyte biology and challenges in developing in vitro maturation systems in the domestic dog // *Anim Reprod Sci*. – 2007. – Vol. 98. – P. 2–22.
87. Tao T, Valle AD. Human oocyte and ovarian tissue cryopreservation and its application // *J Assist Reprod Genet*. – 2008. – Vol. 25. – P. 287–296.
88. Thomassen, R., Sanson, G., Krognæs, A., Fougner, J.A., Andersen Berg, K., Farstad, W. Artificial insemination with frozen semen in dogs: A retrospective study of 10 years using a non-surgical approach // *Theriogenology*. – 2006. – Vol. 66. – P. 1645–1650.
89. Turathum B, Saikhun K, Sangsuwan P, Kitiyanant Y. Effects of vitrification on nuclear maturation, ultrastructural changes and gene expression of canine oocytes // *Reprod Biol Endocrinol*. – 2010. – Vol. 8. – P. 70.
90. Vieira AD, Mezzalana A, Barbieri DP, Lehmkuhl RC, Rubin MIB, Vajta G. Calves born after open pulled straw vitrification of immature bovine oocytes // *Cryobiology*. – 2002. – Vol. 45. – P. 91–94.
91. Vizuete G, Jimenez E, Agüera EI, Pérez-Marín CC. Impact of ultra-rapid freezing on the motility, morphology, viability and acrosome integrity of epididymal cat sperm diluted in sucrose-based extenders // *Reprod Domest Anim*. – 2014. – №49(1). – P. e5–8.
92. Wakasa I, Hayashi M, Abe Y, Suzuki H. Distribution of follicles in canine ovarian tissues and xenotransplantation of cryopreserved ovarian tissues with even distribution of follicles // *Reprod Domest Anim*. – 2017. – №52(2). – P. 219–223.
93. Wanderley LS, Machado Luz HK, Faustino LR, Lima IMT, Lopes CAP, Silva AR, et al. Ultrastructural features of agouti (*Dasyprocta aguti*) preantral follicles cryopreserved using dimethyl sulfoxide, ethylene glycol and propanediol // *Theriogenology*. – 2012. – Vol. 77. – P. 260–7.
94. Wang, X., Cheng, H., Yin, H., Kim, S.S., Lin Tan, S., Gosden, R.G. Fertility after intact ovary transplantation // *Nature*. – 2002. – Vol. 24. – P. 385.
95. Whittingham DG, Leibo SP, Mazur P. Survival of mouse embryos frozen to minus 196 degree C and minus 269 degree C // *Science*. – 1972. – Vol. 178. – P. 411–414. Wildt, D.E. Genome resource banking for wildlife research, management, and conservation // *ILAR J*. – 2000. – Vol. 41. – P. 228–234.
96. Wildt, D.E. Genome resource banking for wildlife research, management, and conservation // *ILAR J*. – 2000. – Vol. 41. – P. 228–234.

Авторлар туралы мәліметтер:

Сейсенбаева Акерке Сенбаевна (автор корреспондент) – аға ғылыми қызметкер, Физиология және генетика институты (Алматы қ., Қазақстан, *e-mail: S_akerke@mail.ru).

Әбдікерім Салтанат Ержанқызы – ғылыми қызметкер, Физиология және генетика институты (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: abdikerimse@gmail.com).

Төлебаева Анар Дүйсембекқызы – магистр, аға ғылыми қызметкер, Физиология және генетика институты (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: tolebaeva_anara@mail.ru).

Абылкасымова Гульнар Мухтаргазыевна – Томск мемлекеттік университетінің аспиранты (Томск қ., Ресей), аға ғылыми қызметкер, Физиология және генетика институты (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: gulyam05@mail.ru).

Перфильева Анастасия Викторовна – биология ғылымының кандидаты, ассоциирленген профессор, аға ғылыми қызметкер, Физиология және генетика институты (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: nastyaper2009@mail.ru).

Information about authors:

Seisenbayeva Akerke Senbayevna (corresponding author) – senior researcher, “Institute of Genetics and Physiology” (Almaty, Kazakhstan, *e-mail: S_akerke@mail.ru).

Abdikerim Saltanat Yerzhankyzy – junior researcher, “Institute of Genetics and Physiology” (Almaty, Kazakhstan, e-mail: abdikerimse@gmail.com).

Tolebayeva Anar Duisembekkyzy – master, senior researcher, “Institute of Genetics and Physiology” (Almaty, Kazakhstan, e-mail: tolebaeva_anara@mail.ru).

Abylkassymova Gulnar Muchtargazyevna – postgraduate student of Tomsk State University, (Tomsk, Russian Federation), senior researcher, “Institute of Genetics and Physiology” (Almaty, Kazakhstan, e-mail: gulyam05@mail.ru).

Perfilyeva Anastasiya Victorovna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, leading researcher, “Institute of Genetics and Physiology” (Almaty, Kazakhstan, e-mail: nastyaper2009@mail.ru).

Сведения об авторах:

Сейсенбаева Акерке Сенбаевна (автор-корреспондент) – старший научный сотрудник, Институт физиологии и генетики (Алматы, Казахстан, e-mail: S_akerke@mail.ru);

Әбдікерім Салтанат Ержанқызы – младший научный сотрудник, Институт физиологии и генетики (Алматы, Казахстан, e-mail: abdikerimse@gmail.com);

Төлебаева Анар Дүйсембекқызы – магистр, старший научный сотрудник, Институт физиологии и генетики (Алматы, Казахстан, e-mail: tolebaeva_anara@mail.ru);

Абылкасымова Гульнар Мухтаргазыевна – аспирант Томского государственного университета (Томск, Российская Федерация), старший научный сотрудник Института физиологии и генетики (Алматы, Казахстан, e-mail: gulyam05@mail.ru);

Перфильева Анастасия Викторовна – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, ведущий научный сотрудник, Институт физиологии и генетики (Алматы, Казахстан, e-mail: nastyaper2009@mail.ru).

Келіп түсті 12 наурыз 2025 жыл

Қабылданды 20 тамыз 2025 жыл

АВТОРЛАРҒА АРНАЛҒАН АҚПАРАТ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ INFORMATION FOR AUTHORS

Требования к научной статье для опубликования в журнале «Вестник КазНУ. Серия биологическая»:

- ✓ Редакционная коллегия принимает ранее неопубликованные экспериментальные статьи по научным направлениям журнала. Статья представляется в электронном формате (в форматах .doc, .docx, .rtf) ТОЛЬКО посредством ее загрузки через функционал сайта журнала (Open Journal System или Editorial Manager).
- ✓ Кегль шрифта – 12 (аннотация, ключевые слова, литература – 10, текст таблиц – 9-11), шрифт – Times New Roman, выравнивание – по ширине текста, интервал – одинарный, абзацный отступ – 0,8 см, поля: верхнее и нижнее – 2 см, левое и правое – 2 см.
- ✓ Объем статьи (без учета названия, сведений об авторах, аннотации, ключевых слов, библиографического списка) должен составлять не менее 1 500-7 000 слов для естественнонаучных и технических направлений.
- ✓ При подаче статьи авторы должны отправить заполненную заявку, сопроводительное письмо и рукопись статьи, оформленную по нижеуказанным правилам.
- ✓ Авторы в ОБЯЗАТЕЛЬНОМ порядке должны указать в сопроводительном письме в системе Open Journal System или Editorial Manager о том, что направляемая статья/рукопись нигде ранее не публиковалась, и что в статье отсутствуют заимствованные фрагменты текста из других работ без ссылок на них.
- ✓ Порядок оплаты и стоимость за публикацию статьи устанавливается издательским домом «Қазақ университеті» и производится автором после одобрения внешними рецензентами и научным редактором.

Структура статьи:

Работы, оформленные без соблюдения этих правил, возвращаются без рассмотрения.

Первая страница:

Первая строка – номер МРНТИ

Название статьи (Заголовок)

Автор(ы) статьи

Орсид ID номера авторов

Сокращения и обозначения

Аннотация

Ключевые слова/словосочетания

Первая строка – номер МРНТИ (в исключительных случаях УДК), выравнивание – по левому краю, шрифт – полужирный. Номер МРНТИ необходимо найти на сайте <http://grnti.ru/>.

Название статьи (Заголовок) должно отражать суть и содержание статьи и привлекать внимание читателя. Название должно быть кратким, информативным и не содержать жаргонизмов или аббревиатур. Оптимальная длина заголовка – 5-7 слов (в некоторых случаях 10-12 слов). Название статьи должно быть представлено на русском, казахском и английском языках. Название статьи представляется полужирным шрифтом строчными буквами, выравнивание – по центру.

✓ **Автор(ы) статьи** – количество авторов не ограничено. В список должны входить данные авторов, которые имеют прямое отношение к написанию статьи, те кто выполнял эксперименты и получил данные и результаты, отраженные в статье, те кто является автором основной идеи публикации.

Сведения об авторах представляются обычным шрифтом строчными буквами, выравнивание – по центру. Принадлежность авторов к определенному месту работы указывается в виде надстрочных индексов до фамилии^{1,2,3}. Авторы из одной и той же организации указываются под одинаковой надстрочной цифрой. Для авторов КазНУ обязательное указание ID номеров ORCID с использованием гиперссылки в значке , для авторов сторонних организаций по желанию. Корреспондентный автор отмечается надстрочным знаком*.

¹Инициалы и фамилия, ²Инициалы и фамилия*

¹место работы (аффилиация), страна, город

²место работы (аффилиация), страна, город

*Корреспондентный автор – e-mail

Корреспондентным автором является тот автор, который ведет переписку с редакцией до и после печати и отвечает на все замечания и исправления по статье. Важно указать действующий электронный адрес и контактные данные при подачи статьи.

-
1. **Сокращения и обозначения** – если имеются.
 - ✓ **Аннотация** объемом **не менее 150 слов, не более 300 слов** на русском, казахском и английском языках.
 - Структура аннотации включает в себя следующие **ОБЯЗАТЕЛЬНЫЕ пункты**:
 1. Вступительное слово о теме исследования.
 2. Цель, основные направления и идеи научного исследования.
 3. Краткое описание научной и практической значимости работы.
 4. Краткое описание методологии исследования.
 5. Основные результаты и анализ, выводы исследовательской работы.
 6. Ценность проведенного исследования (внесенный вклад данной работы в соответствующую область знаний).
 7. Практическое значение итогов работы.
 - ✓ **Ключевые слова/словосочетания** – количеством 3-5 на русском, казахском и английском языках.

Последующая страница (новая):

Введение

Материалы и Методы

Результаты и Обсуждение

Заключение, выводы

Благодарности

Источник финансирования

Конфликт интересов

Литература

Введение состоит из следующих основных элементов:

- ✓ Обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы. В обосновании выбора темы на основе описания опыта предшественников сообщается о наличии проблемной ситуации (отсутствие каких-либо исследований, появление нового объекта и т.д.). Актуальность темы определяется общим интересом к изученности данного объекта, но отсутствием исчерпывающих ответов на имеющиеся вопросы, она доказывается теоретической или практической значимостью темы.
- ✓ В секции должны быть охвачены фундаментальные и новые труды по исследуемой тематике зарубежных авторов на английском языке (не менее 15 трудов), анализ данных трудов с точки зрения их научного вклада, а также пробелы в исследовании, которые Вы дополняете в своей статье.
- ✓ Определение объекта, предмета, целей, задач, методов, подходов, гипотезы и значения вашей работы. Цель исследования связана с доказательством тезиса, то есть представлением предмета исследования в избранном автором аспекте.

Материалы и Методы – должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

✓ Характеристика или описание материала исследования включает его представление в качественном и количественном отношении. Характеристика материала – один из факторов, определяющий достоверность выводов и методов исследования.

✓ В этом разделе описывается, как проблема была изучена: подробная информация без повторения ранее опубликованных установленных процедур; используется идентификация оборудования (программного обеспечения) и описание материалов, с обязательным внесением новизны при использовании материалов и методов.

- ✓ Научная методология должна включать в себя:
 - ✓ - исследовательский вопрос(-ы);
 - ✓ - выдвигаемую гипотезу (тезис);
 - ✓ - этапы исследования;
 - ✓ - методы исследования;
 - ✓ - результаты исследования.
- ✓ НЕДОПУСТИМО наличие множества ссылок, не имеющих отношения к работе, или неуместные суждения о ваших собственных достижениях, ссылки на Ваши предыдущие работы.

Результаты и Обсуждение – приводится анализ и обсуждение полученных вами результатов исследования. Приводятся выводы по полученным в ходе исследования результатам, раскрывается основная суть. И это один из самых важных разделов статьи. В нем необходимо провести анализ результатов своей работы и обсуждение соответствующих результатов в сравнении с предыдущими работами иностранных и отчетственных авторов, анализами и выводами.

Заключение, выводы

Обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором, и заключение автора об изменении научного знания с учетом полученных результатов. Выводы не должны быть абстрактными, они должны быть использованы для обобщения результатов исследования в той или иной научной области, с описанием предложений или возможностей дальнейшей работы.

Структура заключения должна содержать следующие вопросы: Каковы цели и методы исследования? Какие результаты получены? Каковы выводы? Каковы перспективы и возможности внедрения, применения разработки?

Конфликт интересов – желательно указать имеющиеся конфликты интересов со стороны авторов и соавторов касательно материалов статьи. Если нет никаких конфликтов к опубликованию материалов в статье, указать, что авторы не имеют конфликта интересов.

Благодарности – Перечислите людей, которые оказали помощь во время исследования (например, предоставили помощь в переводе, письменную помощь или предоставили материал/оборудование для работы и т.д.)

Источник финансирования – Следует указать в рамках какого проекта или программы была выполнена работа, указать год и номер договора по проекту/программе.

Литература

Список используемой литературы, или Библиографический список состоит из не менее 25 наименований литературы для естественнонаучных и технических направлений и из общего числа наименований на английском языке должно быть не менее 50%.

Для естественнонаучных статей ссылки оформляются в квадратных скобках с указанием нумерации по мере появления цитируемых работ в тексте. Стиль оформления списка литературы согласно ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления» (требование к изданиям, входящих в перечень ККСОН).

Далее следует второй список литературы (**References**, который должен быть предоставлен в другой форме, то есть – романизированным алфавитом (транслитерация). **References** ТОЛЬКО те работы, которые цитируются в тексте. Reference оформляется в алфавитном порядке!

Романизированный список литературы должен выглядеть в следующем виде для источников на кириллице: автор(-ы) (транслитерация) → (год в круглых скобках) → название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках], название русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название – если есть), выходные данные с обозначениями на английском языке.

Например: Gokhberg L., Kuznetsova T. (2011) Strategiya-2020: novye kontury rossiiskoi innovatsionnoi politiki [Strategy 2020: New Outlines of Innovation Policy]. *Foresight-Russia*, vol. 5, no 4, pp. 8–30.

Стиль оформления Романизированного списка литературы из источников на английском (другом иностранном) языке для естественнонаучных и технических направлений – Chicago Style (www.chicagomanualofstyle.org).

Cramer W., Bondeau A., Woodward F.I., Prentice I.C., Betts R.A., Brovkin V., Cox P.M., Fisher V., Foley J.A., Friend A.D., Kucharik C., Lomas M.R., Ramankutty N., Sitch S., Smith B., White A., Young-Molling C. (2001) Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: Results from six dynamic global vegetation models. *Glob. Change Biol.*, vol. 7, pp. 357–373.

В данном разделе необходимо учесть:

- Цитируются основные научные публикации, передовые методы исследования, которые применяются в данной области науки и на которых основана работа автора.
- Избегайте чрезмерных самоцитирований.
- Избегайте чрезмерных ссылок на публикации авторов СНГ/СССР, используйте мировой опыт (Pubmed, Web of Science). Не следует ссылаться на энциклопедии, монографии, диссертации и материалы, на которые нет общего доступа.
- Библиографический список должен содержать фундаментальные и наиболее актуальные труды, опубликованные известными зарубежными авторами и исследователями по теме статьи.

Стоимость публикации – 2000 тенге/страница

Реквизиты:

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный университет имени Аль-Фараби»

Индекс 050040

адрес: г. Алматы, пр. аль-Фараби 71

БИН 990140001154

КБЕ 16

АО «First Heartland Jýsan Bank»

ИИК KZ19998CTB0000567141 – тенге

ИИК KZ40998CTB0000567151 – USD

БИК TSESKZKA

МАЗМҰНЫ – CONTENTS – СОДЕРЖАНИЕ

1-бөлім Ботаника

Section 1 Botany

Раздел 1 Ботаника

Л.А. Кызметова, А.Д. Мырзахан, Е.В. Рахимова, Г. Сыпабеккызы
Предварительный аннотированный список видов мико- и лишенобиоты Мангистауской области.....

Алдасугурова Ч.Ж., Аметов А.А., Назарбекова С.Т., Чилдибаева А.Ж., Рысқали Т.Б., Манкибаева С.А.,
Нармуратова М.Х.
Іле Алатауы Түрген шатқалындағы *Rosa potentilliflora* chrshan. et. m. pop. кездесетін өсімдіктер қауымдастығының
флоралық құрамы

K.A. Dautlet, A.B. Kusmangazinov, S.T. Nazarbekova, A.I. Bidauletova
Current distribution of the species *Eremurus robustus* and *E. tianschanicus*

R.K. Anatoliy, M.S. Kurmanbayeva, D.E. Karabalayeva
Evolutionary development of the genus *Populus* L. (*Salicaceae* mirb.) in Western Kazakhstan.....

4-бөлім Зоология

Section 4 Zoology

Раздел 4 Зоология

И.И. Арифүлова, М.А. Чирикова
Аномалии озерных лягушек комплекса *Pelophylax ridibundus* из водоемов природного парка «Роща баума»
на территории города Алматы

Г.К. Хасенгазиева, Н.Ш. Мамилов
Сравнительный анализ питания голого османа *Gymnodiptychus dybowskii* в реках Шелек и Борохузир
(Балкашский бассейн, Республика Казахстан).....

3-бөлім Экология

Section 3 Ecology

Раздел 3 Экология

Г.А. Конарбаева, З.М. Сергазинова, В.В. Дёмин
К вопросу о потерях брома в почвенных образцах в результате длительного хранения

G. Kairanova, A. Mamurova, G. Yeszhanova, A. Rakhymzhan, A. Beyatli
Environmental and Biological Features and Assessment of the Current State of *Zygophyllum fabago* L. (*Zygophyllaceae*)
Populations in the Ile-Balkhash Region.....

Z. Nurakyn, B. Tynybekov, A. Ydyrys, M. Nurtayeva, N. Mamytova, E. Turarova, M. Imanaliyeva
Ecological and geographical features of astragalus *Ammodendron* (*fabaceae*) in Kazakhstan.....

P.V. Vesselova, G.M. Kudabayeva, D.Sh. Abdildanov, S. Ussen
Influence of disturbance factors on the composition and structure of vegetation in the desert part of the Syrdarya river valley
(Kyzylorda region).....

5-бөлім Биотехнология

Section 5 Biotechnology

Раздел 5 Биотехнология

А.С.Кистаубаева, Л.Н.Сайдуллаева, Ж.К.Батықова, А.А.Мамирова, Ү.Қ.Аханов
Соң ризосферасынан бөлінген ризобактериялардың ферментативтік қасиеттері мен өсуін ынталандыру потенциалы ...

6-бөлім Адам мен жануарлар физиологиясы	Section 6 Humans and animalsphysiology	Раздел 6 Физиология человека и животных
A.A. Arystanbay, N.K. Smagulov, G.M. Tykezhanova Impact of educational process factors on the health of teachers of educational institutions		
N.F. Murotov, N.B. Yuldashev, F.P. Sultanov Changes in Humoral Immunity Among Individuals with Early-Stage HIV Infection		
Шолу мақалалар	Review articles	Обзорные статьи
M. Bakytzhanova, K.Kh. Makhmudova, A.U. Tuyakbayeva International experience of research on plant biodiversity conservation.....		
A.C. Сейсенбаева, С.Е. Әбдікерім, А.Д. Төлебаева, Г.М. Абылкасымова, А.В. Перфильева Иттердің тұқымын сақтап қалу үшін олардың гермоплазмасын криоконсервациялау әдістеріне әдеби шолу		
Авторларға арналған ақпарат.....		194