

ISSN 1563-034X; eISSN 2617-7358

ӘЛ-ФАРАБИ атындағы ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

ХАБАРШЫ

Экология сериясы

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени АЛЬ-ФАРАБИ

ВЕСТНИК

Серия экологическая

AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY

EURASIAN JOURNAL

of Ecology

№4 (85)

Алматы
«Қазақ университеті»
2025



ХАБАРШЫ

ЭКОЛОГИЯ СЕРИЯСЫ №4 (85) желтоқсан



04. 05. 2017 ж. Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникация министрлігінде тіркелген

Күәлік № 16501-Ж

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

ЖАУАПТЫ РЕДАКТОР

Омирбекова А.А., PhD, доцент (Қазақстан)
e-mail: anel.omirbekova@kaznu.edu.kz

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

Заядан Б.К., б.ғ.д., профессор, ҚР ҰҒА академигі,
(ғылыми редактор) (Қазақстан)
Колумбаева С.Ж., б.ғ.д., профессор (ғылыми редактордың
орынбасары) (Қазақстан)
Қурманбаева М.С., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Жубанова А.А., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Шалахметова Т.М., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Кенжебаева С.С., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Атабаева С.Дж., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Садырова Г.А., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Абилев С.К., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Тажимаева Т.Л., б.ғ.к., профессор м.а. (Қазақстан)
Бияшева З.М., б.ғ.к., доцент (Қазақстан)

Мамилов Н.Ш., б.ғ.к., доцент (Қазақстан)
Инелова З.А., б.ғ.к., доцент (Қазақстан)
Кушнарченко С.В., б.ғ.к., доцент (Қазақстан)
Тастамбек Қ.Т., PhD, доцент (Қазақстан)
Дигель И., PhD докторы, профессор (Германия)
Маторин Д., б.ғ.д., профессор (Ресей)
Рахман Е., PhD, профессор (Қытай)
Liu Xiangrong, профессор (Қытай)
Тамо Тацуя, PhD, профессор (Жапония)
Аллахвердиев Сүлейман, б.ғ.д., профессор (Ресей)
Каримов Б., б.ғ.д., профессор (Өзбекстан)

ТЕХНИКАЛЫҚ РЕДАКТОР

Ахметова Г.А. PhD, аға оқытушы (Қазақстан)

Экология сериясы қоршаған ортаны қорғау және қоршаған ортаға антропогендік факторлардың әсері, қоршаған орта ластаушыларының биотаға және тұрғындар денсаулығына әсерін бағалау, биологиялық аулантүрлілікті сақтаудың өзекті мәселелері бағыттарын қамтиды.



Жоба менеджері
Гүлмира Шаққозова
Телефон: +7 701 724 2911
e-mail: Gulmira.Shakkozova@kaznu.kz

ИБ № 17018

Пішімі 60x84/8. Көлемі 12,8 б.т. Тапсырыс № 3072.
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
**ҚОРШАҒАН ОРТАНЫ ҚОРҒАУ
ЖӘНЕ ҚОРШАҒАН ОРТАҒА
АНТРОПОГЕНДІК ФАКТОРЛАРДЫҢ ӘСЕРІ**

Section 1
**ENVIRONMENTAL IMPACT
OF ANTHROPOGENIC FACTORS
AND ENVIRONMENTAL PROTECTION**

Раздел 1
**ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ
И ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Р.А. Турганова^{1,2*}, Р.Н. Тулеева^{1,2}

¹Университет Лотарингии, Нанси, Франция

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

*e-mail: ronagul.turganova@gmail.com

Сравнительный обзор эффективности, экологического воздействия и применений методов получения и очистки бактериальной целлюлозы

Бактериальная целлюлоза это микробно синтезируемый биополимер, представляющий собой альтернативу целлюлозе растительного происхождения и отличающийся высокой степенью чистоты, кристалличностью и биосовместимостью. Структурные и функциональные свойства этого материала обеспечивают его применение в различных областях, таких как медицина, упаковка пищевых продуктов, текстиль и композиционные материалы. В настоящем исследовании рассматриваются основные микробные штаммы и питательные среды, используемые для получения бактериальной целлюлозы, а также возможности использования сельскохозяйственных и промышленных отходов в качестве источников углерода. Методы очистки (щелочная обработка, применение поверхностно-активных веществ, ферментативные и физические подходы) рассматриваются в сравнительном аспекте с точки зрения эффективности, экологической нагрузки и соответствия конечным областям применения. Сравнительный анализ показывает, что выбор подходящих углеродных источников и штаммов, а также оптимизация методов очистки позволяют повысить выход продукции и степень чистоты целлюлозы. Использование биоразлагаемых реагентов и безотходных технологий играет ключевую роль в повышении устойчивости производства бактериальной целлюлозы. В обзоре систематически рассматриваются технологические решения и перспективные направления, необходимые для промышленного применения бактериальной целлюлозы с учетом оценки жизненного цикла, экологической безопасности, производственных затрат и требований конечного использования.

Ключевые слова: бактериальная целлюлоза, методы очистки, эффективность производства, экологическая устойчивость, области применения.

Кіріспе

Бактериялық целлюлоза (БЦ) *Acetobacteraceae* тұқымдасына жататын бірнеше бактериялар (әсіресе *Komagataeibacter* түрлері) түзетін, ерекше тазалығы және механикалық қасиеттерімен танымал β -(1→4)-глюканның тұратын экстрацеллюлярлы биополимер табылады [1]. Өсімдік целлюлозасымен салыстырғанда, БЦ құрамында лигнин мен гемицеллюлоза болмайды, бұл оның бөліну процесін едәуір жеңілдетеді. Өсіру ортасында БЦ ылғалданған қабықша немесе талшықты тор түрінде қалыптасады және қоректік ортадан оңай ажыратылады [2]. БЦ-ның жоғары табиғи тазалығы мен биосәйкестілік қасиеттері оны биомедициналық қолданбаларда, сондай-ақ жоғары құрылымдық беріктік талап етілетін салаларда болашағы бар биоматериал ретінде қарастыруға мүмкіндік береді [3]. Шынында да, жоғары кристалдылығы, созылу беріктігі, ылғал ұстау қабілеті және биосәйкестілігі сияқты бірегей қасиеттерінің арқасында БЦ жараны тану материалдарында, тіндік тірек құрылымдарында, дәрілік заттарды жеткізу жүйелерінде, сондай-ақ тағам, тоқыма, қаптама және композиттік өнімдер өндірісінде кеңінен қолданылады [4]. Алайда, жоғары бастапқы тазалыққа қарамастан, әсіресе медициналық мақсаттарға

арналған БЦ қалдық жасушалардан, ақуыздардан және эндотоксиндерден мұқият тазартуды қажет етеді. Дәстүрлі тазарту әдістері (мысалы, сілтілік ерітіндіде қайнату) бактериялық жасушаларды тиімді түрде лизиске ұшыратса да, бұл процесс сілтілік қалдықтардың түзілуімен қатар жүреді және көп мөлшерде сумен шайып тазартуды талап етеді [5,6]. Қазіргі зерттеулер өндіріс тиімділігі мен өнім сапасын сақтай отырып, қоршаған ортаға әсерді азайтатын жасыл балама әдістерді іздеуде. Мысалы, биобдырайтын беттік-белсенді заттар және аса сығылған көмірқышқыл газы секілді заманауи технологиялар дәстүрлі қатты химиялық реагенттердің орнын басуға немесе толықтыруға ұсынылуда [7]. Бұл шолуда БЦ-ның алыну және тазартылу әдістері жүйелі түрде салыстырылып, олардың тиімділігі, қоршаған ортаға әсері және қолдану саласына қойылатын талаптар бойынша талданады. Алдымен өндіріс жолдары мен тазарту хаттамалары баяндалып, кейін кестелер түрінде салыстырмалы деректер ұсынылады. Қосымша мысалдар түрлі өндірістік шешімдердің БЦ-ның қолдану салаларына әсерін көрсетеді. Сонымен қатар шикізат ретінде өндірістік қалдықтарды пайдалану, өмірлік цикл талдауы және өндірістің тұрақтылығын арттыру бағыттары талқыланып, болашақ даму бағыттары ұсынылады.

Бактериялық целлюлозаны өндіру және бөліп алу әдістері

БЦ әдетте сірке қышқылды бактериялар (acetic acid bacteria) арқылы статикалық немесе араластырылған (динамикалық) дақылдарда өндіріледі [8]. Ең тиімді БЦ продуценттері ретінде *Komagataeibacter* туысына жататын *K. xylinus*, *K. hansenii*, *K. rhaeticus* және *K. sucrofermentans* түрлері кеңінен танылған [9,10]. Статикалық жағдайда ферментация кезінде БЦ ауа сұйықтық шекарасында желе тәрізді қабықша (пелликула) ретінде түзіледі, ал араластырылған жағдайда БЦ суспензия түрінде (флоктар немесе шашыраңқы талшықтар) қалыптасады [11]. Өсіру ортасы ретінде жиі қолданылатын стандартты қоректік орта Hestrin Schramm (HS), құрамында глюкоза бар сұйық қоректік ерітінді болып табылады [12]. Алайда соңғы жылдары өндіріс шығындарын азайту үшін әртүрлі арзан баламалар қолданылып жүр, олардың қатарына жеміс қалдықтары, меласса, ауылшаруашылық субстраттар мен өзге де органикалық қалдықтар жатады [13-15]. Ферментация үрдісі әдетте 1–2 аптаға созылады. Осы кезеңнен кейін түзілген БЦ қабаты жиналады, бұл процесс қолмен немесе центрифугалау арқылы жүзеге асады [16]. Жиналғаннан кейін артық ылғалды кетіру үшін өнім сығылады. Шикі БЦ құрамында бактериялық жасушалар мен өсу ортасының қалдықтары сақталады. Сондықтан экстракция кезеңінде физикалық бөлу әдістері пайдаланылады, мысалы, центрифугалау немесе сүзу арқылы БЦ қабығын бөліп алу. Осыдан кейін ылғалды целлюлоза қабаты арнайы химиялық немесе биологиялық өңдеуден өтеді, бұл талшық құрылымын босатып, өнімді тазартуға бағытталған [17,18].

Бактериялық целлюлозаны тазарту әдістері

БЦ тазартудың басты мақсаты бактериялық жасушаларды, ақуыздарды, ДНҚ-ны, пигменттерді және өсу ортасының басқа да компоненттерін целлюлозалық матрицаны зақымдамай жою болып табылады [19]. Ең жиі қолданылатын тәсіл БЦ-ны сұйылтылған натрий гидроксиді (NaOH) ерітіндісінде қайнату немесе сіңдіру. NaOH бактериялық жасуша қабықшасын ыдыратып, ақуыздарды денатурациялайды [20]. Мысалы, БЦ пелликуласын 0.1–1 N NaOH ерітіндісінде 60–100 °C температурада 20–60 минут қайнату ақуыз құрамын бастапқы мөлшерінің бірнеше пайызынан ғана қалдырады. Бұл өңдеуден кейін өнімді мұқият шаю қажет (көбі-

несе бейтарап рН-қа дейін) қалған сілтіні және еріген қалдықтарды кетіру үшін. Қажет болған жағдайда, өнімді ағарту үшін сутек асқын тотығы (H₂O₂) немесе натрий гипохлориті (NaClO) қолданылады. Бұл тотығу қадамы қалдық пигменттерді жоюға бағытталған [21,22].

Иондық және ионсыз беттік-белсенді заттар липидтер мен ақуыздарды еріту қабілетіне ие. Мысалы, анионды SDS (натрий додецил сульфаты) және ионсыз Triton X-100 әдетте тіндерді деклетизациялауда қолданылады, алайда БЦ тазартуда да тиімділігі дәлелденген [21,23]. Зерттеулерге сәйкес, 2% SDS ерітіндісінде 60 °C-та 3 сағат өңделген БЦ үлгілерінде ~94% ақуыз жойылған. Алайда, SDS және осыған ұқсас синтетикалық заттар биоыдырамайтын болғандықтан, оларды пайдаланғаннан кейін де ұзақ әрі мұқият шаю қажет [23,24]. Соңғы жылдары бұл кемшілікті жою мақсатында табиғи майлар негізінде алынған биоыдырайтын беттік-белсенді заттарды қолдану ұсынылуда. Мысалы, натрий кокоил изетионаты (SCI) немесе децилглюкозид сияқты қосылыстардың тиімділігі зерттелуде. Атап айтқанда, 60 °C температурада 3 сағат бойы SCI ерітіндісімен өңделген БЦ үлгілерінен ақуыздың шамамен 84%-ы тиімді түрде алынғаны көрсетілген [23,25,26].

Протеолитикалық ферменттер (мысалы, трипсин, папаин) ақуыз қалдықтарын жұмсақ жағдайда ыдыратуға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл әсіресе тіндік тірек құрылымдарын стерильдеуде кең таралғанымен, БЦ тазарту саласында әлі жеткілікті зерттелмеген. Ферменттік әдістің артықшылығы оның жоғары селективтілігінде, яғни целлюлозаны бұзбай, тек ақуыздарды ыдыратады. Алайда бұл процесс ұзақ уақыт пен нақты бақылауды талап етеді [27,28]. Жаңаша бағыттардың бірі аса сығылған көмірқышқыл газы (scCO₂) арқылы өңдеу. Жоғары қысымдағы CO₂ БЦ құрылымына еніп, бактерияларды инактивациялап, химиялық қалдықсыз стерильдеуді қамтамасыз ете алады [29,30]. Pigaleva және әріптестері жүргізген зерттеуде scCO₂ көмегімен БЦ-ның ішінде қалған жасушалардың сыртқы қабықшалары жойылып, эндотоксин деңгейі едәуір төмендетілген. Дегенмен, бұл әдіспен медициналық стандарттарға толық сәйкес тазарту әлі қол жеткізілген жоқ, әрі арнайы құрал-жабдықты талап етеді [31]. Басқа физикалық әдістер (мысалы, мұздатып еріту циклдары, ультрадыбыстық өңдеу) талшықтарды дисперсиялау үшін зерттелгенімен, олар кеңінен стандартталмаған.

БЦ тазарту бірнеше дәйекті кезеңнен тұрады және алынған өнімнің сапасын, функционалдық қасиеттерін айқындайтын маңызды технологиялық қадам болып табылады (1-сурет). Бастапқы шаю кезеңінде БЦ пелликуласы ферментация ортасынан бөлініп алынып, дистилденген немесе деиондалған сумен жуылады. Бұл қадам өсу ортасының қалдықтарын (қант, органикалық қышқылдар, тұздар) жоюға бағытталған және келесі тазарту кезеңдерінің тиімділігін арттырады [32]. Негізгі өңдеу кезеңі бактериялық жасушалар мен ақуыздардың жойылуын қамтамасыз етеді. Бұл сатыда БЦ-ға сілтілік ерітінділер (мысалы, NaOH) немесе беттік-белсенді заттармен (мысалы, SDS, Triton X-100 немесе биоыдырайтын детергенттер) бір немесе бірнеше рет әсер ету жүзеге асы-

рылады. Қолданылатын реагенттің түрі мен концентрациясы, сондай-ақ өңдеу уақыты, БЦ-ның тазалық деңгейіне және соңғы қолдану саласына байланысты таңдалады. Қайта шаю кезеңінде БЦ үлгілері бейтарап рН мәніне дейін бірнеше рет жуылады. Бұл кезең реагенттердің қалдықтарын, еріген лизаттарды және ыдырау өнімдерін толығымен жоюға бағытталған. Кептіру кезеңі соңғы өнімді тұрақтандыру және сақтау қасиеттерін қамтамасыз ету мақсатында жүргізіледі. Тиісті кептіру әдістеріне вакуумдық кептіру, мұздатып кептіру немесе төмен температурада конвективті кептіру жатады. Таңдалған әдіс өнімнің құрылымдық және функционалдық қасиеттеріне әсер етуі мүмкін, сондықтан оны қолдану мақсатына сәйкес бейімдеу қажет [33,34].



1-сурет – Бактериялық целлюлозаны ауылшаруашылық қалдықтарынан өндіру және тазарту қадамдары.

(А) Бактериялық целлюлоза өндірісі ауылшаруашылық қалдықтарын жинаудан басталады.

Бұл шикізат физикалық (ұсақтау, сүзу) және химиялық (гидролиз және алдын ала өңдеу) әдістермен дайындалып, қоректік субстратқа айналдырылады. Алынған субстраттан қоректік орта дайындалып, оған бактериялар (мысалы, *Komagataeibacter* spp.) инокуляцияланады. Ферментация нәтижесінде пайда болған

БЦ арнайы құрылғылар арқылы жиналады. (Ә) Тазарту кезеңінде жиналған БЦ алдымен бастапқы шаюдан өтеді, содан соң химиялық реагенттер (NaOH, детергенттер) көмегімен өңделіп, микроорганизмдер мен ақуыз қалдықтарынан тазартылады. Бұдан кейін бірнеше қайта шаю сатылары жүргізіліп, соңында БЦ өнімінің құрылымын сақтау үшін кептіріледі.

Ескерту: Сурет BioRender көмегімен жасалды, лицензия нөмірі: TX28H9XR8U

Бактериялық целлюлоза өндірісінің тиімділігі: әдістерді салыстырмалы бағалау

БЦ өндірісі тиімділігі қолданылатын штаммның ерекшелігіне, көміртек көзіне және өсу жағдайларына тікелей байланысты. *Komagataeibacter xylinus* штаммы HS қоректік ортасында статикалық жағдайда өсірілгенде, әдетте, бір апта ішінде 0.5–2.0 г/л аралығында БЦ түзеді [35,36]. Әртүрлі зерттеулерден алынған өнім шығымдары 1-кестеде салыстырмалы түрде келтірілген. Айта кетерлік жайт балама-

лы көміртек көздерін қолдану БЦ өнімділігін едәуір арттырады. Мысалы, *Gluconacetobacter xylinus* сахароза (20 г/л) немесе глицерин негізіндегі ортада 3.8 г/л-ге дейін өнім берген, бұл глюкозаға қарағанда әлдеқайда жоғары көрсеткіш [37]. Сол сияқты, өсу ортасын өнеркәсіптік қалдық гидролизаттарымен (мысалы, жеміс қабықтары) толықтыру немесе алмастыру да оң нәтиже береді. Мәселен, *Achromobacter* S3 штаммы манго қабығының қалдықтарын пайдалану арқылы 1.22 г/л БЦ өндірген, бұл

стандартты HS ортасымен салыстырғанда (0.52 г/л) 2.5 есе артық [36]. Бұған қоса, бейімделген эволюция және генетикалық инженерия әдістері өндірісті тиімді арттыруға мүмкіндік береді. Мысалы, маннитолда бейімделген *K. xylinus* штаммы 3.43 г/л БЦ синтездеген, ал бұл ата-аналық глюкоза ортасындағы штамм үшін шамамен 1.7–2.3 г/л ғана болған [35]. Сонымен қатар, *K. sucrofermentans* штаммында глюкоза дегидрогеназа генін инактивациялау және эта-

нол қосу арқылы БЦ өнімділігі ~0.25 г/л-ден 2.0 г/л-ге дейін артқан [38]. Жалпы алғанда, заманауи әдістер көміртек көзін оңтайландыру, корректік ортаның құнын төмендету және штамм метаболизмін бағыттап өзгерту арқылы БЦ өнімділігін бірнеше есе арттыруға мүмкіндік береді. Өндірістік тиімділікке қол жеткізудегі негізгі факторлар көміртек көзін белсенді игеру мен оның целлюлоза синтезіне бағытталған ағынын күшейту [38,39].

1-кесте – Әртүрлі көміртек көздері мен бактериялық штаммдарға байланысты БЦ өнімділігі

Көміртек көзі / Шикізат	Бактериялық штамм	БЦ өнімділігі (г/л)	Сілтеме
Синтетикалық HS ортасы (глюкоза)	<i>Achromobacter</i> S3	0.52 (базальдық деңгей)	[36]
Манго қабығы гидролизаты (агрокалдык)	<i>Achromobacter</i> S3	1.22 (2.5× HS)	[36]
Сахароза (20 г/л)	<i>G. xylinus</i> ATCC 53524	3.83	[37]
Глицерин (20 г/л)	<i>G. xylinus</i> ATCC 53524	3.75	[37]
Маннитол (бейімделген ALE-штамм)	<i>K. xylinus</i> K2G30 (adapted)	3.43	[35]
Глюкоза + этанол (HS + 1% EtOH)	<i>K. sucrofermentans</i> KS003	1.99	[38]

Ескертпе: ALE – adaptive laboratory evolution (бейімделген лабораториялық эволюция); өнімділік мәндері сәйкес әдебиет көздерінен алынған.

Тазарту тиімділігі және экологиялық әсері

БЦ тазарту тиімділігі өнімнен ақуыз және ДНҚ қалдықтарының қаншалықты толық жойылғанына қарай бағаланады. Сілтілік өңдеу (0.1–1 М NaOH, 60–100 °С) ең жоғары тиімділік көрсеткен әдістердің бірі [40]. Мысалы, Nikbakht және әріптестері жүргізген зерттеуде NaOH ерітіндісімен өңделген БЦ-да бастапқы ақуыздың тек 3%-ы (яғни 96.4% жойылған), ал ДНҚ-ның 2.2%-ы (97.8%) қалған [21]. Синтетикалық детергенттер де жоғары тиімділік көрсеткен 2% DS ерітіндісімен 60 °С-та өңделген жағдайда ~94% ақуыз және ~88% ДНҚ алынған. Ал биодырайтын беттік-белсенді зат SCI шамамен 84% ақуыз және 86% ДНҚ жойылуын қамтамасыз еткен [21,41]. Салыстыру үшін, тек су (қайнату) арқылы өңдеу кезінде кейбір ластаушылар жойылғанымен, бұл нәтиже сілті немесе беттік-белсенді заттармен салыстырғанда айтарлықтай төмен [42]. Экологиялық тұрғыдан алғанда NaOH қолдану белгілі бір мәселелер туындатады сілтілік ағындарды бейтараптандыру қажет әрі қыздыру үшін қосымша энергия жұмсалады [43,44]. Синтетикалық детергенттер (мысалы, SDS немесе Triton X-100) тұрақты экологиялық ластаушылар болып саналады [45]. Ал өсімдік майларынан алынған биодырайтын детергенттер экологиялық тұр-

ғыда анағұрлым қауіпсіз балама болып табылады [46]. Аса сығылған көмірқышқыл газы (scCO₂) қолданылған тазарту әдісі жасыл химия тұрғысынан тиімді шешім [47,48]. Бұл әдісте еріткіш қалдықтары болмайды, бірақ тазарту тиімділігі орташа деңгейде деп бағаланады.

Қолдану саласына қарай бактериялық целлюлозаға қойылатын талаптар

БЦ тазалығы мен соңғы формасы оның қолданылатын саласына тікелей байланысты. Әсіресе, биомедициналық қолдану үшін стерильдік пен биологиялық ластаушылардың болмауы негізгі талаптар [49,50]. Тіпті өте аз мөлшердегі эндотоксин де иммундық реакцияларды тудыруы мүмкін, сондықтан қатаң стерильдеу әдістері (мысалы, автоклавтау немесе γ-сәулемен өңдеу) және эндотоксиндерді толық жою шаралары міндетті түрде жүргізілуі тиіс [51].

БЦ-ның жоғары су мөлшері мен кеуектілігі оны жараларды таңуға және шеміршекке ұқсас құрылымдарды жасауға өте қолайлы етеді. Сонымен қатар, оның жоғары кристалдылығы мен созылуға беріктігі композитті материалдар мен электрондық құрылғыларда қолдануға мүмкіндік береді [52]. Тағам қаптамасы мен тағаммен жанасатын материалдар үшін тазалыққа қойы-

латын талаптар салыстырмалы түрде төмен бұл жағдайда қалған биохимиялық заттар әдетте қауіпсіз болып есептеледі. Бұл салаларда БЦ-ның қабықша түзуші қабілеті мен оттегі өткізбейтін қасиеттері жоғары бағаланады. Дегенмен, өндірістің өзіндік құны бұл салалардағы кең қолдануға елеулі кедергі болып отыр [53,54]. Көп жағдайда, БЦ полимерлермен араластырылады немесе талшықтарға жабыстырылады, бұл оның механикалық беріктігі мен газға өткізбейтіндігін жақсартады. БЦ-ның нанопибрилдері композиттік материалдың қаттылығын арттырып, өтімділігін азайтады [55]. Тоқыма және композиттік материалдарда БЦ әдетте күшейткіш талшық немесе гель түрінде қолданылады. Мысалы, ол иірім жіптердің бетіне қабықша түрінде қалыптасып, теріге ұқсас парақтарға қалыптастырылуы мүмкін. Оның жоғары кристалдылығы мен суды сіңіру қабілеті маталарға ерекше жұмсақтық пен тыныстағыш қасиет береді. Ал композиттерде (мысалы, полиэфир немесе эпоксидті шайырлармен бірге) БЦ материалға созылу беріктігі мен қаттылық қосады [56,57]. Мұндай қолдану салаларында өңдеу кезеңіне кептіру және тығыздау жатады. Осы кезде тазарту реагенттерінің қалдықтары полимермен адгезияны төмендетуі мүмкін, сондықтан мұқият шаю бәрібір маңызды [58,59].

Бактериялық целлюлоза өндірісінің тұрақтылығы және экологиялық әсері

БЦ өндірісінің тұрақтылығын арттыру үшін жаңартылатын шикізат көздерін пайдалану және қалдықтарды барынша азайту маңызды. Бұл бағыттағы негізгі стратегиялардың бірі ауылшаруашылық немесе өнеркәсіптік қалдықтарды көміртек көзі ретінде қолдану [60]. Мысалы, жеміс қалдықтары сәтті гидролизденіп, целлюлоза синтезін арттыратын қарапайым қанттарға айналдырылады. Мұндай қалдықтарды пайдалану бір жағынан қоқыс полигондарына түсетін қалдық көлемін азайтса, екінші жағынан шикізат құнын төмендетіп, БЦ өндірісінің экологиялық ізін қысқартады. Бұл әсіресе дәстүрлі қант өндірісімен салыстырғанда тиімді, себебі қант өндірісі көп энергия мен жер ресурстарын қажет етеді [61,62]. Өмірлік циклдік талдаулар БЦ өндірісінде қоректік ортаны дайындау жалпы экологиялық әсердің едәуір бөлігін құрайтынын көрсеткен. Сондықтан қалдық негізіндегі қоректік орта қолдану бұл көрсеткіштерді айтарлықтай жақсартады [63]. Тазарту кезеңінде қатты химиялық заттардың орнына экологиялық баламаларды қолдану ұйымды азайтудың тиімді

жолы. Сонымен қатар, аса сығылған көмірқышқыл газымен ($scCO_2$) тазарту еріткіш қалдықтарын мүлде қалдырмайды, бірақ бұл әдіс жабдық жағынан қымбат болуы мүмкін [64]. Жаңашыл тәсілдер ретінде NaOH ерітіндісін қайта өңдеу немесе БЦ өндірісін ағынды суларды тазарту жүйелерімен біріктіру секілді тұйық цикл концепциялары қарастырылып жатыр. Мысалы, бір зерттеуде басқа өндірістен алынған қолданылған NaOH ерітіндісі БЦ жуу процесінен кейін қайта өңделіп, жүйе ішіндегі айналым қалыптастырылған [65,66]. БЦ өндірісінің экологиялық ізін азайту үшін айналмалы экономика қағидаттарын енгізу тиімді шешім болып табылады. Өсімдік целлюлозасымен салыстырғанда, БЦ-ның тұрақтылық әлеуеті жоғары. Дегенмен, қазіргі таңда БЦ өндірісі қымбат әрі энергия шығыны жоғары процесс болып қала береді. Сондықтан өндіріс тиімділігін арттыру үшін тұрақты түрде өмірлік циклдік бағалау жүргізу қажет [67-69].

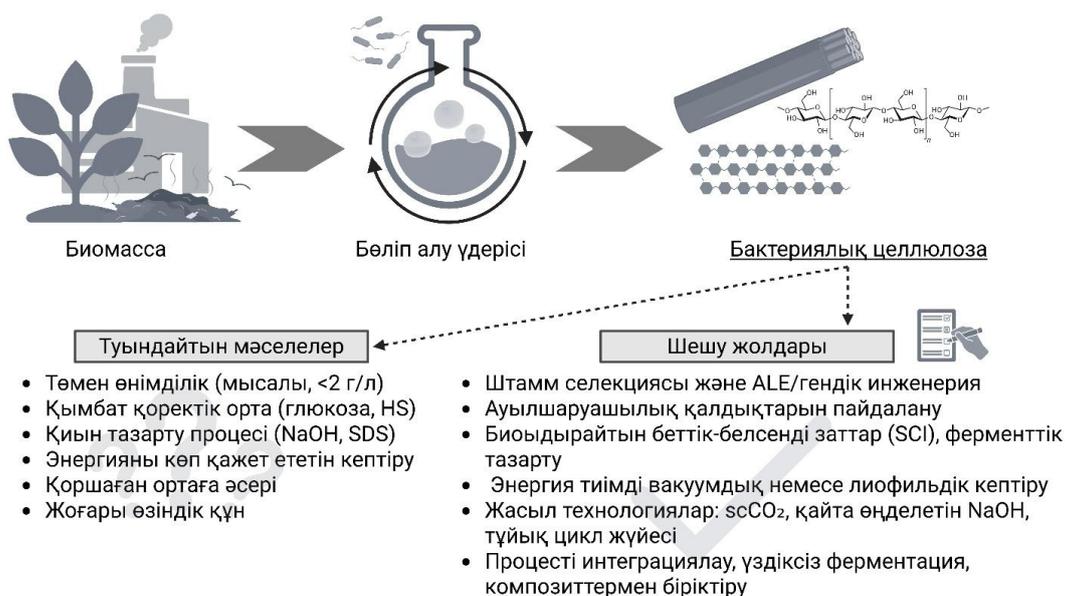
Бактериялық целлюлоза технологиясындағы қазіргі қиындықтары және болашақ даму бағыттары

БЦ өндірісі мен тазарту технологияларындағы елеулі жетістіктерге қарамастан, бұл саланың кең ауқымды коммерциялануы алдында бірнеше маңызды кедергілер әлі де сақталып отыр [70,71]. Өнімділікті арттыру жиі жанама мәселелермен қатар жүреді. Мысалы, жоғары өнім беретін штаммдар немесе байытылған өсу орталары глюкон қышқылы сияқты жанама метаболиттерді жинақтауы мүмкін. Бұл заттар рН деңгейін төмендетіп, процесті тұрақты ұстап тұру үшін қосымша бақылауды қажет етеді [72]. Үлкен көлемдегі ферменттерлерде (араластырылатын немесе ауамен үрлейтін жүйелер) тұрақты және жоғары өнімділікке қол жеткізу оңай емес. БЦ синтезі оттегінің мөлшеріне және механикалық қысымға өте сезімтал, сондықтан өндіріс көлемін арттыруда инженерлік қиындықтар туындайды (2-сурет) [73].

Экономикалық тұрғыдан, БЦ қазіргі кезде өсімдік целлюлозасымен салыстырғанда едәуір қымбат. Бұл ең алдымен өсу ортасының құны мен кейінгі өңдеу (тазарту, стерильдеу) процестерінің күрделілігімен байланысты [74]. Мәселені шешу үшін процесті интенсификациялау (мысалы, жасушаларды иммобилизациялау, жоғары тығыздықтағы өсіру), сондай-ақ арзан шикізатты қолдану жолдары зерттеліп жатыр. Алайда өндіріс құнының өсімдік целлюлозасына теңесуі әзірге алыс болашақтың еншісінде қалып отыр. [75]. Тазарту процесі де айтарлықтай шығынды

қажет етеді, әсіресе медициналық мақсаттағы БЦ үшін эндотоксиндерді толық жою бірнеше кезеңнен тұратын тазартуды (сілтілік өңдеу, ағарту, стерильдеу) талап етеді. Бұл өз кезегінде көп мөлшерде су және реагенттер жұмсауды білдіреді [76,77]. Экологиялық тұрғыдан, бір ластаушының орнына басқасын алмастыру қаупі де бар. Мысалы, синтетикалық беттік-белсенді заттар ақуыздарды тиімді жойғанымен, қоршаған ортада тұрақты түрде жиналып, ұзақмерзімді экологиялық жүктеме туындатады [78]. БЦ өндірісінің ғылыми-технологиялық дамуы оны функционалдық материал ретінде кеңінен қолдануға жол ашып отыр. Дегенмен, бұл бағыттағы прогресті үдету үшін бірқатар перспективалық зерттеу бағыттарын жүйелі түрде қарастыру қажет. Біріншіден, өндіріс тиімділігін арттыру биосинтездің метаболизмдік негізін терең түсінуді талап етеді [79]. Бұл орайда, метаболизмдік инженерия әдістерін қолдана отырып, БЦ синтезіне кедергі келтіретін жанама метаболиттердің (мысалы, глюкон қышқылы) түзілуін азайту және мақсатты биомасса ағынын целлюлозаға бағыттау маңызды. Сонымен қатар, штаммдарды БЦ-мен қатар целлюлаза немесе тазарту кофферменттерін секрециялайтындай етіп модификациялау арқылы *in situ* өзін-өзі тазарту жүйесін қалыптастыру болашағы зор [80]. Екіншіден, тазарту және стерильдеу кезеңдеріне экологиялық балама әдістерді енгізу қажет. Қазіргі таңда қолданылатын сілтілік және хлорлы реагенттер

жоғары тиімділік көрсеткенімен, олардың экологиялық жүктемесі мен қалдықтарды бейтараптандыру қажеттілігі артады. Бұл шектеулерді еңсеру үшін қайта қолданылатын ферменттік коктейльдер, биоыдырайтын беттік-белсенді заттар және фотондық стерильдеу сияқты экологиялық қауіпсіз, энергия тиімді әдістерге көшу қажет [81,82]. Сонымен қатар, процестік инновациялар өндіріс шығындарын төмендетуге айтарлықтай ықпал етуі мүмкін. Атап айтқанда, үздіксіз ферментация жүйелері, жасушалардың иммобилизациясы, жоғары тығыздықтағы өсіру режимдері, сондай-ақ жедел тазарту жүйелері өндірістік тиімділікті арттырып, су мен энергия шығынын оңтайландыруға көмектеседі [83,84]. БЦ өндірісінің экологиялық әсерін жүйелі түрде бақылау үшін жасыл биоматериал концепциясын енгізу қажет. Бұл бағытта өмірлік циклдік талдау негізінде парниктік газдар ізі, су тұтыну деңгейі, қалдық реагенттер көлемі сынды экологиялық индикаторларға негізделген стандартталған бағалау жүйелерін әзірлеу өндірісті тұрақты дамытуға мүмкіндік береді [85]. Соңғы аспект өнеркәсіптік масштабта интеграция болып табылады. БЦ өндірісін ағынды суларды тазарту жүйелерімен, ауылшаруашылық қалдықтарды өңдеу процестерімен немесе басқа биотехнологиялық өндірістермен біріктіру арқылы тұйық циклді жүйелер құру экожүйелік әсерді азайтып, экономикалық тиімділікті арттыра алады [86,87].



2-сурет – Бактериялық целлюлоза өндірісіндегі негізгі мәселелер және оларды шешу жолдары.
Ескерту: Сурет BioRender көмегімен жасалды, лицензия нөмірі: AJ28HAGRYF

Қорытынды

БЦ өсімдік целлюлозасына балама ретінде қарастырылатын, жаңартылатын және жоғары тазалықпен сипатталатын биоматериал. Оның ерекше функционалдық қасиеттері оны әртүрлі салаларда қолдануға мүмкіндік береді. Жүргізілген салыстырмалы талдау нәтижесінде БЦ өндірісінің тиімділігін штаммдарды оңтайландыру және арзан көміртек көздерін (әсіресе ауылшаруашылық қалдықтарын) пайдалану арқылы едәуір арттыруға болатыны анықталды. Тазарту кезеңінде дәстүрлі сілтілік өңдеу жоғары тиімділікті көрсеткенімен, соңғы жылдары экологиялық тұрғыдан қауіпсіз балама әдістер биоөндіретін беттік-белсенді заттар мен аса сығылған CO₂ қолдану кеңінен зерттелуде. БЦ тазарту және өндіру әдісін таңдау көбінесе оның қолдану саласына байланысты. Медициналық мақсаттағы өнімдер жоғары стерильдік пен тазалықты талап етеді, ал қаптама немесе композиттік материалдар үшін арзандатылған, қарапайым тазарту процестері жеткілікті болуы мүмкін. Жалпы алғанда, зерттеулерде тұрақтылыққа көшу тенденциясы байқалады, яғни көптеген соңғы

зерттеулерде ауылшаруашылық қалдықтарын негізге алған қоректік орта, жұмсақ реагенттер және экологиялық таза технологиялар ұсынылуда. Бұл бағыт БЦ-ның өнеркәсіптік деңгейде кеңінен қолданылуына жол ашуы мүмкін. Осы мақсатқа жету үшін биотехнологиялық процестерді жетілдіру, өмірлік циклдік ойлау жүйесін енгізу және әр қолдану саласына сәйкес тиімділік, тазалық және экологиялық әсерді кешенді бағалау негізгі қағидаттар болып қала береді.

Қаржыландыру туралы мәлімдеме

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан BR27199103 нөмірлі грант аясында қаржыландырылды.

Алғыс және мүдделер қайшылығы туралы мәлімдеме

Авторлар зерттеуге қолдау көрсеткен барлық серіктестер мен мекемелерге алғыс білдіреді. Авторлар арасында мүдделер қайшылығы жоқ.

Әдебиеттер

1. Potočnik V., Gorgieva S., Trček J. From nature to lab: sustainable bacterial cellulose production and modification with synthetic biology // *Polymers*. – 2023. – Vol. 15, No. 16. – Art. 3466. – DOI: 10.3390/polym15163466.
2. Dogaru A.I., Oprea O.C., Isopencu G.O., Banciu A., Jinga S.I., Busuioc C. Bacterial cellulose-based nanocomposites for wound healing applications // *Polymers*. – 2025. – Vol. 17, No. 9. – Art. 1225. – DOI: 10.3390/polym17091225.
3. Liu W., Du H., Zheng T., Si C. Biomedical applications of bacterial cellulose-based composite hydrogels // *Current Medicinal Chemistry*. – 2021. – Vol. 28, No. 40. – P. 8319–8332. – DOI: 10.2174/0929867328666210412124444.
4. Moradian M., Nosrat Abadi M., Jafarpour D., Saadat M. Effects of bacterial cellulose nanocrystals on the mechanical properties of resin-modified glass ionomer cements // *European Journal of Dentistry*. – 2021. – Vol. 15, No. 2. – P. 197–201. – DOI: 10.1055/s-0040-1717051.
5. Popa L., Ghica M.V., Tudoroiu E.E., Ionescu D.G., Dinu-Pîrvu C.E. Bacterial cellulose – a remarkable polymer as a source for biomaterials tailoring // *Materials*. – 2022. – Vol. 15, No. 3. – Art. 1054. – DOI: 10.3390/ma15031054.
6. Bektaş I., Yildirim N.B. Molecular characterization of bacterial cellulose producing *Bacillus* strains isolated from soil // *Journal of Basic Microbiology*. – 2025. – Vol. 65, No. 6. – Art. e70026. – DOI: 10.1002/jobm.70026.
7. Jadczyk K., Ochędzan-Siodłak W. Bacterial cellulose: biopolymer with novel medical applications // *Journal of Biomaterials Applications*. – 2023. – Vol. 38, No. 1. – P. 51–63. – DOI: 10.1177/08853282231184734.
8. Bimmer M., Reimer M., Klingl A., Ludwig C., Zollfrank C., Liebl W., Ehrenreich A. Analysis of cellulose synthesis in a high-producing acetic acid bacterium *Komagataeibacter hansenii* // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2023. – Vol. 107, No. 9. – P. 2947–2967. – DOI: 10.1007/s00253-023-12461-z.
9. Brugnoli M., Robotti F., La China S., Anguluri K., Haghghi H., Botta S., Ferrari A., Gullo M. Assessing effectiveness of *Komagataeibacter* strains for producing surface-microstructured cellulose via guided assembly-based biolithography // *Scientific Reports*. – 2021. – Vol. 11, No. 1. – Art. 19311. – DOI: 10.1038/s41598-021-98705-2.
10. Tseng Y.S., Patel A.K., Chen C.W., Dong C.D., Singhanian R.R. Improved production of bacterial cellulose by *Komagataeibacter europaeus* employing fruit extract as carbon source // *Journal of Food Science and Technology*. – 2023. – Vol. 60, No. 3. – P. 1054–1064. – DOI: 10.1007/s13197-022-05451-y.
11. Mauro F., Corrado B., De Gregorio V., Lagreca E., Di Natale C., Vecchione R., Netti P.A. Exploring the evolution of bacterial cellulose precursors and their potential use as cellulose-based building blocks // *Scientific Reports*. – 2024. – Vol. 14, No. 1. – Art. 11613. – DOI: 10.1038/s41598-024-62462-9.

12. Hamed D.A., Maghrawy H.H., Abdel Kareem H. Biosynthesis of bacterial cellulose nanofibrils in black tea media by a symbiotic culture of bacteria and yeast isolated from commercial kombucha beverage // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. – 2022. – Vol. 39, No. 2. – Art. 48. – DOI: 10.1007/s11274-022-03485-0.
13. Kolesovs S., Ruklisha M., Semjonovs P. Synthesis of bacterial cellulose by *Komagataeibacter rhaeticus* MSCL 1463 on whey // *3 Biotech*. – 2023. – Vol. 13, No. 3. – Art. 105. – DOI: 10.1007/s13205-023-03528-9.
14. El-Gendi H., Taha T.H., Ray J.B., Abdel-Fattah Y.R., Soliman N.A., El-Zawawy W.K. Recent advances in bacterial cellulose: a low-cost effective production media, optimization strategies and applications // *Cellulose*. – 2022. – Vol. 29. – P. 7495–7533. – DOI: 10.1007/s10570-022-04697-1.
15. Skiba E.A., Shavyrkina N.A., Skiba M.A., Mironova G.F., Budaeva V.V. Biosynthesis of bacterial nanocellulose from low-cost cellulosic feedstocks: effect of microbial producer // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – Vol. 24, No. 18. – Art. 14401. – DOI: 10.3390/ijms241814401.
16. Santos K.O., Bertolo R., de Almeida Ibanez N.L., Alves M.R., Onuma T.P., Ribeiro G.C., de Souza Porto A.J., Barbeito C.G., Pinato L., Jozala A.F., Grotto D., Hataka A. Bacterial cellulose membrane experimentally implanted in the peritoneum of Wistar rats—Inflammatory immunoreactivity and oxidative stress // *Current Issues in Molecular Biology*. – 2024. – Vol. 46, No. 11. – P. 11729–11748. – DOI: 10.3390/cimb46110697.
17. Sozcu S., Frajova J., Wiener J., Venkataraman M., Tomkova B., Militky J. Effect of drying methods on the thermal and mechanical behavior of bacterial cellulose aerogel // *Gels*. – 2024. – Vol. 10, No. 7. – Art. 474. – DOI: 10.3390/gels10070474.
18. Liang S. Advances in drug delivery applications of modified bacterial cellulose-based materials // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. – 2023. – Vol. 11. – Art. 1252706. – DOI: 10.3389/fbioe.2023.1252706.
19. Bodea I.M., Beteg F.I., Pop C.R., David A.P., Dudescu M.C., Vilău C., Stănilă A., Rotar A.M., Cătușescu G.M. Optimization of moist and oven-dried bacterial cellulose production for functional properties // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13, No. 13. – Art. 2088. – DOI: 10.3390/polym13132088.
20. Hu J., Wang L., Xiao M., Chen W., Zhou M., Hu Y., Zhang Y., Lai M., He A., Zhao M. Insights into bacterial cellulose for adsorption and sustained-release mechanism of flavors // *Food Chemistry X*. – 2024. – Vol. 25. – Art. 102110. – DOI: 10.1016/j.fochx.2024.102110.
21. Nikbakht A., van Zyl E.M., Larson S., Fenlon S., Coburn J.M. Bacterial cellulose purification with non-conventional, biodegradable surfactants // *Polysaccharides*. – 2024. – Vol. 5. – P. 857–871. – DOI: 10.3390/polysaccharides5040053.
22. Li Z., Chen S.Q., Cao X., Li L., Zhu J., Yu H. Effect of pH buffer and carbon metabolism on the yield and mechanical properties of bacterial cellulose produced by *Komagataeibacter hansenii* ATCC 53582 // *Journal of Microbiology and Biotechnology*. – 2021. – Vol. 31, No. 3. – P. 429–438. – DOI: 10.4014/jmb.2010.10054.
23. Yang Z., Wang F., Shi C., Huang J., Xu R., Quan L., Li Y., Sun Q., Wang H., Huang R., Zheng B., Li Y. Functionalized bacterial cellulose bottlebrush-based asymmetric dressing for effective management of wounds with infection and exudate // *Small Science*. – 2023. – Vol. 3, No. 12. – Art. 2300138. – DOI: 10.1002/smsc.202300138.
24. Rahmadiawan D., Abral H., Azka M.A., Sapuan S.M., Admi R.I., Shi S.C., Zainul R., Azril, Zikri A., Mahardika M. Enhanced properties of TEMPO-oxidized bacterial cellulose films via eco-friendly non-pressurized hot water vapor treatment for sustainable and smart food packaging // *RSC Advances*. – 2024. – Vol. 14, No. 40. – P. 29624–29635. – DOI: 10.1039/d4ra06099g.
25. Castanho N.R.C.M., de Marco N., Caetano É.L.A., Alves P.L.M., Pickler T.B., Ibanez N.L.A., Jozala A.F., Grotto D. Exploring bacterial cellulose and a biosurfactant as eco-friendly strategies for addressing pharmaceutical contaminants // *Molecules*. – 2024. – Vol. 29, No. 2. – Art. 448. – DOI: 10.3390/molecules29020448.
26. Ponjavic M., Filipovic V., Topakas E., Karnaouri A., Zivkovic J., Krgovic N., Mudric J., Savikin K., Nikodinovic-Runic J. Two-step upcycling process of lignocellulose into edible bacterial nanocellulose with black raspberry extract as an active ingredient // *Foods*. – 2023. – Vol. 12, No. 16. – Art. 2995. – DOI: 10.3390/foods12162995.
27. Vasconcelos N.F., Chevallier P., Mantovani D., Rosa M.F., Barros F.J.S., Andrade F.K., Vieira R.S. Oxidized bacterial cellulose membranes immobilized with papain for dressing applications: physicochemical and in vitro biological properties // *Pharmaceutics*. – 2024. – Vol. 16, No. 8. – Art. 1085. – DOI: 10.3390/pharmaceutics16081085.
28. Kaczmarek M., Białkowska A.M. Enzymatic functionalization of bacterial nanocellulose: current approaches and future prospects // *Journal of Nanobiotechnology*. – 2025. – Vol. 23, No. 1. – Art. 82. – DOI: 10.1186/s12951-025-03163-x.
29. Liebner F., Haimer E., Wendland M., Neouze M.A., Schluffer K., Miethe P., Heinze T., Potthast A., Rosenau T. Aerogels from unaltered bacterial cellulose: application of scCO₂ drying for the preparation of shaped, ultra-lightweight cellulosic aerogels // *Macromolecular Bioscience*. – 2010. – Vol. 10, No. 4. – P. 349–352. – DOI: 10.1002/mabi.200900371.
30. Horue M., Silva J.M., Berti I.R., Brandão L.R., Barud H.D.S., Castro G.R. Bacterial cellulose-based materials as dressings for wound healing // *Pharmaceutics*. – 2023. – Vol. 15, No. 2. – Art. 424. – DOI: 10.3390/pharmaceutics15020424.
31. Pigaleva M.A., Bulat M.V., Gromovych T.I., Gavryushina I.A., Lutsenko S.V., Gallyamov M.O., Novikov I.V., Buyanovskaya A.G., Kiselyova O.I. A new approach to purification of bacterial cellulose membranes: what happens to bacteria in supercritical media? // *Journal of Supercritical Fluids*. – 2019. – Vol. 147. – P. 59–69. – DOI: 10.1016/j.supflu.2019.02.009.
32. Saleh A.K., El-Gendi H., Soliman N.A., El-Zawawy W.K., Abdel-Fattah Y.R. Bioprocess development for bacterial cellulose biosynthesis by novel *Lactiplantibacillus plantarum* isolate along with characterization and antimicrobial assessment of fabricated membrane // *Scientific Reports*. – 2022. – Vol. 12, No. 1. – Art. 2181. – DOI: 10.1038/s41598-022-06117-7.
33. Santos S.M., Carbajo J.M., Quintana E., Ibarra D., Gomez N., Ladero M., Eugenio M.E., Villar J.C. Characterization of purified bacterial cellulose focused on its use on paper restoration // *Carbohydrate Polymers*. – 2015. – Vol. 116. – P. 173–181. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.03.064.

34. Kumar M., Kumar V., Saran S. Efficient production of bacterial cellulose-based composites using zein protein extracted from corn gluten meal // *Journal of Food Science and Technology*. – 2023. – Vol. 60, No. 3. – P. 1026–1035. – DOI: 10.1007/s13197-022-05443-y.
35. Anguluri K., La China S., Brugnoli M., Cassanelli S., Gullo M. Better under stress: improving bacterial cellulose production by *Komagataeibacter xylinus* K2G30 (UMCC 2756) using adaptive laboratory evolution // *Frontiers in Microbiology*. – 2022. – Vol. 13. – Art. 994097. – DOI: 10.3389/fmicb.2022.994097.
36. Hasanin M.S., Abdelraof M., Hashem A.H., Mohamed A.A., El-Sakhawy M., Abdel-Mohsen A.M. Sustainable bacterial cellulose production by *Achromobacter* using mango peel waste // *Microbial Cell Factories*. – 2023. – Vol. 22. – Art. 24. – DOI: 10.1186/s12934-023-02031-3.
37. Mikkelsen D., Flanagan B.M., Dykes G.A., Gidley M.J. Influence of different carbon sources on bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter xylinus* strain ATCC 53524 // *Journal of Applied Microbiology*. – 2009. – Vol. 107, No. 2. – P. 576–583. – DOI: 10.1111/j.1365-2672.2009.04226.x.
38. Montenegro-Silva P., Ellis T., Dourado F., Ferreira E.C., Freitas F., Reis M.A.M. Enhanced bacterial cellulose production in *Komagataeibacter sucrofermentans*: impact of different PQQ-dependent dehydrogenase knockouts and ethanol supplementation // *Biotechnology for Biofuels*. – 2024. – Vol. 17. – Art. 35. – DOI: 10.1186/s13068-024-02482-9.
39. Amorim J., Liao K., Mandal A., Costa A.F.S., Roumeli E., Sarubbo L.A. Impact of carbon source on bacterial cellulose network architecture and prolonged lidocaine release // *Polymers*. – 2024. – Vol. 16, No. 21. – Art. 3021. – DOI: 10.3390/polym16213021.
40. Chen S.Q., Meldrum O.W., Liao Q., Li Z., Cao X., Guo L., Zhang S., Zhu J., Li L. The influence of alkaline treatment on the mechanical and structural properties of bacterial cellulose // *Carbohydrate Polymers*. – 2021. – Vol. 271. – Art. 118431. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2021.118431.
41. Zhang S., Xu J. Multi-strain synergistic fermentation of waste biomass with bacterial cellulose fermentation wastewater to prepare sustainable detergents // *Bioprocess and Biosystems Engineering*. – 2025. – Vol. 48, No. 7. – P. 1221–1238. – DOI: 10.1007/s00449-025-03172-y.
42. Ybañez M.G. Jr., Camacho D.H. Designing hydrophobic bacterial cellulose film composites assisted by sound waves // *RSC Advances*. – 2021. – Vol. 11, No. 52. – P. 32873–32883. – DOI: 10.1039/d1ra02908h.
43. Piwowarek K., Lipińska E., Kieliszek M. Reprocessing of side-streams towards obtaining valuable bacterial metabolites // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2023. – Vol. 107, No. 7–8. – P. 2169–2208. – DOI: 10.1007/s00253-023-12458-8.
44. Da Silva Pereira E.H., Mojicevic M., Tas C.E., Lanzagorta Garcia E., Brennan Fournet M. Targeting bacterial nanocellulose properties through tailored downstream techniques // *Polymers*. – 2024. – Vol. 16, No. 5. – Art. 678. – DOI: 10.3390/polym16050678.
45. Malcı K., Li I.S., Kisseroudis N., Ellis T. Modulating microbial materials – engineering bacterial cellulose with synthetic biology // *ACS Synthetic Biology*. – 2024. – Vol. 13, No. 12. – P. 3857–3875. – DOI: 10.1021/acssynbio.4c00615.
46. Nagtode V.S., Cardoza C., Yasin H.K.A., Mali S.N., Tambe S.M., Roy P., Singh K., Goel A., Amin P.D., Thorat B.R., Cruz J.N., Pratap A.P. Green surfactants (biosurfactants): a petroleum-free substitute for sustainability – comparison, applications, market, and future prospects // *ACS Omega*. – 2023. – Vol. 8, No. 13. – P. 11674–11699. – DOI: 10.1021/acsomega.3c00591.
47. Yıldırım M., Erşatır M., Poyraz S., Amangeldinova M., Kudrina N.O., Terletskaia N.V. Green extraction of plant materials using supercritical CO₂: insights into methods, analysis, and bioactivity // *Plants*. – 2024. – Vol. 13, No. 16. – Art. 2295. – DOI: 10.3390/plants13162295.
48. Seeger J., Zäh M., Wendisch V.F., Brandenbusch C., Henke N.A. Supercritical carbon dioxide extraction of astaxanthin from *Corynebacterium glutamicum* // *Bioresources and Bioprocessing*. – 2025. – Vol. 12, No. 1. – Art. 46. – DOI: 10.1186/s40643-025-00882-9.
49. Joseph A., Umamaheswari S., Vassou M.C. Bacterial cellulose: a versatile biomaterial for biomedical application // *Carbohydrate Research*. – 2025. – Vol. 552. – Art. 109350. – DOI: 10.1016/j.carres.2024.109350.
50. Picheth G.F., Pirich C.L., Sierakowski M.R., Woehl M.A., Sakakibara C.N., de Souza C.F., Martin A.A., da Silva R., de Freitas R.A. Bacterial cellulose in biomedical applications: a review // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2017. – Vol. 104, Pt A. – P. 97–106. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.05.171.
51. Tranquilan-Aranilla C., Flores J., Gallardo A.K., Abrera G., Pares F. Radiation processing of bacterial cellulose-monolaurin wound dressing: physicochemical effects, functional analysis, and sterilization // *Journal of Biomaterials Applications*. – 2024. – Vol. 38, No. 6. – P. 721–732. – DOI: 10.1177/08853282231219276.
52. Pasaribu K.M., Gea S., Ilyas S., Tamrin T., Radecka I. Characterization of bacterial cellulose-based wound dressing in different order impregnation of chitosan and collagen // *Biomolecules*. – 2020. – Vol. 10, No. 11. – Art. 1511. – DOI: 10.3390/biom10111511.
53. Lin D., Liu Z., Shen R., Chen S., Yang X. Bacterial cellulose in food industry: current research and future prospects // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2020. – Vol. 158. – P. 1007–1019. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.04.230.
54. Chen Q., Yang F., Hou Y., Li Z., Yuan D., Liu C., Hu F., Zhao R., Wang H., Liu W., Zhang F., Wang Q., Yu D. Bacterial cellulose-based Pickering emulsions reinforced with silver and silica nanoparticles for advanced antibacterial and hydrophobic food packaging solutions // *Carbohydrate Polymers*. – 2025. – Vol. 355. – Art. 123357. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2025.123357.
55. Raut M.P., Asare E., Syed Mohamed S.M.D., Amadi E.N., Roy I. Bacterial cellulose-based blends and composites: versatile biomaterials for tissue engineering applications // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – Vol. 24, No. 2. – Art. 986. – DOI: 10.3390/ijms24020986.
56. Wang J., Tavakoli J., Tang Y. Bacterial cellulose production, properties and applications with different culture methods – a review // *Carbohydrate Polymers*. – 2019. – Vol. 219. – P. 63–76. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2019.05.008.

57. Jin K., Jin C., Wu Y. Synthetic biology-powered microbial co-culture strategy and application of bacterial cellulose-based composite materials // *Carbohydrate Polymers*. – 2022. – Vol. 283. – Art. 119171. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2022.119171.
58. Zheng L., Li S., Luo J., Wang X. Latest advances on bacterial cellulose-based antibacterial materials as wound dressings // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. – 2020. – Vol. 8. – Art. 593768. – DOI: 10.3389/fbioe.2020.593768.
59. Blanco F.G., Hernández N., Rivero-Buceta V., Maestro B., Sanz J.M., Mato A., Hernández-Arriaga A.M., Prieto M.A. From residues to added-value bacterial biopolymers as nanomaterials for biomedical applications // *Nanomaterials*. – 2021. – Vol. 11, No. 6. – Art. 1492. – DOI: 10.3390/nano11061492.
60. Kadier A., Ilyas R.A., Huzafah M.R.M., Harihastuti N., Sapuan S.M., Harussani M.M., Azlin M.N.M., Yuliasni R., Ibrahim R., Atikah M.S.N., Wang J., Chandrasekhar K., Islam M.A., Sharma S., Punia S., Rajasekar A., Asyraf M.R.M., Ishak M.R. Use of industrial wastes as sustainable nutrient sources for bacterial cellulose (BC) production: mechanism, advances, and future perspectives // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13, No. 19. – Art. 3365. – DOI: 10.3390/polym13193365.
61. Ma S., Xi G., Feng X., Zhang H., Li X., Xian M. Bio-synthesis of bacterial cellulose from ramie textile waste for high-efficiency Cu(II) adsorption // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15. – Art. 18715. – DOI: 10.1038/s41598-025-02310-6.
62. Peña-Ortiz M., García A., Martirani-Von Abercron S.M., Marin P., Marqués S., Khiari R., Dufresne A., Serrano L. Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from bacterial cellulose synthesized via *Ancylobacter* sp. STN1A using residual glycerol // *Polymers*. – 2025. – Vol. 17. – Art. 1240. – DOI: 10.3390/polym17091240.
63. Foroughi F., Rezvani Ghomi E., Morshedi Dehaghi F., Borayek R., Ramakrishna S. A review on the life cycle assessment of cellulose: from properties to the potential of making it a low carbon material // *Materials*. – 2021. – Vol. 14, No. 4. – Art. 714. – DOI: 10.3390/ma14040714.
64. Magalhães S., Fernandes C., Pedrosa J.F.S., Alves L., Medronho B., Ferreira P.J.T., Rasteiro M.D.G. Eco-friendly methods for extraction and modification of cellulose: an overview // *Polymers*. – 2023. – Vol. 15, No. 14. – Art. 3138. – DOI: 10.3390/polym15143138.
65. Ferro M., Mannu A., Panzeri W., Theeuwes C.H.J., Mele A. An integrated approach to optimizing cellulose mercerization // *Polymers*. – 2020. – Vol. 12, No. 7. – Art. 1559. – DOI: 10.3390/polym12071559.
66. Gao M., Li J., Bao Z., Hu M., Nian R., Feng D., An D., Li X., Xian M., Zhang H. A natural in situ fabrication method of functional bacterial cellulose using a microorganism // *Nature Communications*. – 2019. – Vol. 10, No. 1. – Art. 437. – DOI: 10.1038/s41467-018-07879-3.
67. Turossi T.C., Júnior H.L.O., Monticeli F.M., Dias O.T., Zattera A.J. Cellulose-derived battery separators: a minireview on advances towards environmental sustainability // *Polymers*. – 2025. – Vol. 17, No. 4. – Art. 456. – DOI: 10.3390/polym17040456.
68. Taokaew S. Bacterial nanocellulose produced by cost-effective and sustainable methods and its applications: a review // *Fermentation*. – 2024. – Vol. 10. – Art. 316. – DOI: 10.3390/fermentation10060316.
69. Mandal M., Roy A., Mitra D., Sarkar A. Possibilities and prospects of bioplastics production from agri-waste using bacterial communities: finding a silver-lining in waste management // *Current Research in Microbial Sciences*. – 2024. – Vol. 7. – Art. 100274. – DOI: 10.1016/j.crmicr.2024.100274.
70. Römling U., Galperin M.Y. Bacterial cellulose biosynthesis: diversity of operons, subunits, products, and functions // *Trends in Microbiology*. – 2015. – Vol. 23, No. 9. – P. 545–557. – DOI: 10.1016/j.tim.2015.05.005.
71. Masek A., Kosmalska A. Technological limitations in obtaining and using cellulose biocomposites // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. – 2022. – Vol. 10. – Art. 912052. – DOI: 10.3389/fbioe.2022.912052.
72. Augimeri R.V., Varley A.J., Strap J.L. Establishing a role for bacterial cellulose in environmental interactions: lessons learned from diverse biofilm-producing proteobacteria // *Frontiers in Microbiology*. – 2015. – Vol. 6. – Art. 1282. – DOI: 10.3389/fmicb.2015.01282.
73. Gomes R.J., Ida E.I., Spinosa W.A. Bacterial cellulose production by *Komagataeibacter hansenii* can be improved by successive batch culture // *Brazilian Journal of Microbiology*. – 2023. – Vol. 54, No. 2. – P. 703–713. – DOI: 10.1007/s42770-023-00910-w.
74. Naomi R., Bt Hj Idrus R., Fauzi M.B. Plant- vs. bacterial-derived cellulose for wound healing: a review // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2020. – Vol. 17, No. 18. – Art. 6803. – DOI: 10.3390/ijerph17186803.
75. Skiba E.A., Shavyrkina N.A., Budaeva V.V., Sitnikova A.E., Korchagina A.A., Bychin N.V., Gladysheva E.K., Pavlov I.N., Zharikov A.N., Lubyansky V.G., Semyonova E.N., Sakovich G.V. Biosynthesis of bacterial cellulose by extended cultivation with multiple removal of BC pellicles // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13, No. 13. – Art. 2118. – DOI: 10.3390/polym13132118.
76. Dáger-López D., Chenché Ó., Ricaurte-Párraga R., Núñez-Rodríguez P., Bazaña J.M., Fiallos-Cárdenas M. Advances in the production of sustainable bacterial nanocellulose from banana leaves // *Polymers*. – 2024. – Vol. 16, No. 8. – Art. 1157. – DOI: 10.3390/polym16081157.
77. Zhong C. Industrial-scale production and applications of bacterial cellulose // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. – 2020. – Vol. 8. – Art. 605374. – DOI: 10.3389/fbioe.2020.605374.
78. Ul-Islam M., Ul-Islam S., Yasir S., Fatima A., Ahmed M.W., Lee Y.S., Manan S., Ullah M.W. Potential applications of bacterial cellulose in environmental and pharmaceutical sectors // *Current Pharmaceutical Design*. – 2020. – Vol. 26, No. 45. – P. 5793–5806. – DOI: 10.2174/1381612826666201008165241.
79. Li W., Huang X., Liu H., Lian H., Xu B., Zhang W., Sun X., Wang W., Jia S., Zhong C. Improvement in bacterial cellulose production by co-culturing *Bacillus cereus* and *Komagataeibacter xylinus* // *Carbohydrate Polymers*. – 2023. – Vol. 313. – Art. 120892. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2023.120892.
80. Singh A., Walker K.T., Ledesma-Amaro R., Ellis T. Engineering bacterial cellulose by synthetic biology // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2020. – Vol. 21, No. 23. – Art. 9185. – DOI: 10.3390/ijms21239185.

81. Vasili E., Azimi B., Raut M.P., Gregory D.A., Mele A., Liu B., Römhild K., Krieg M., Claeysens F., Cinelli P., Roy I., Seggiani M., Danti S. A green method for bacterial cellulose electrospinning using 1-butyl-3-methylimidazolium acetate and γ -valerolactone // *Polymers*. – 2025. – Vol. 17, No. 9. – Art. 1162. – DOI: 10.3390/polym17091162.
82. Utoiu E., Manoiu V.S., Oprita E.I., Craciunescu O. Bacterial cellulose: a sustainable source for hydrogels and 3D-printed scaffolds for tissue engineering // *Gels*. – 2024. – Vol. 10, No. 6. – Art. 387. – DOI: 10.3390/gels10060387.
83. Shishparenok A.N., Furman V.V., Dobryakova N.V., Zhdanov D.D. Protein immobilization on bacterial cellulose for biomedical application // *Polymers*. – 2024. – Vol. 16, No. 17. – Art. 2468. – DOI: 10.3390/polym16172468.
84. Aditya T., Allain J.P., Jaramillo C., Restrepo A.M. Surface modification of bacterial cellulose for biomedical applications // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2022. – Vol. 23, No. 2. – Art. 610. – DOI: 10.3390/ijms23020610.
85. Zhantlessova S., Savitskaya I., Kistaubayeva A., Ignatova L., Talipova A., Pogrebnyak A., Digel I. Advanced “green” prebiotic composite of bacterial cellulose/pullulan based on synthetic biology-powered microbial coculture strategy // *Polymers*. – 2022. – Vol. 14, No. 15. – Art. 3224. – DOI: 10.3390/polym14153224.
86. Loh J., Arnardottir T., Gilmour K., Zhang M., Dade-Robertson M. Enhanced production of bacterial cellulose with a mesh dispenser vessel-based bioreactor // *Cellulose*. – 2025. – Vol. 32, No. 4. – P. 2209–2226. – DOI: 10.1007/s10570-024-06367-w.
87. Barja F. Bacterial nanocellulose production and biomedical applications // *Journal of Biomedical Research*. – 2021. – Vol. 35, No. 4. – P. 310–317. – DOI: 10.7555/JBR.35.20210036.

Авторлар туралы мәлімет:

Турганова Ронагуль Адилжановна – агроғылымдар бойынша PhD докторы, Лотарингия университеті (Нанси, Франция, e-mail: ronagul.turganova@gmail.com).

Тулеева Рысгуль Нурлановна – докторант, органикалық заттар, табиғи қосылыстар және полимерлер химиясы мен технологиясы кафедрасы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, (Алматы, Қазақстан, e-mail: rysgultuleyeva@gmail.com).

Information about authors:

Turganova Ronagul Adiljanovna – PhD in AgroSciences, University of Lorraine(Nancy, France, e-mail: ronagul.turganova@gmail.com).

Tuleyeva Rysgul Nurlanovna – PhD student at the Department of Chemistry and Technology of Organic Substances, Natural Compounds, and Polymers, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: rysgultuleyeva@gmail.com).

Сведения об авторах:

Турганова Ронагуль Адилжановна – PhD по агронаукам, Университет Лотарингии (Нанси, Франция, e-mail: ronagul.turganova@gmail.com).

Тулеева Рысгуль Нурлановна – докторант кафедры химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров Казахского национального университета им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: rysgultuleyeva@gmail.com).

2025 жылдың 24 шілдесінде келіп түсті.
2025 жылдың 25 желтоқсанында қабылданды.

А. Нұрахмет^{1*}, А. Зандыбай¹, Т. Онай²

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²Босфор университеті, Стамбұл, Түркия

*e-mail: nurakhmetov_a88@mail.ru

ТАСТЫКӨЛ ЖӘНЕ ЗАОЗОРНОЕ РЕКУЛЬТИВАЦИЯЛАНҒАН УРАН КЕН ОРЫНДАРЫНА ЖАҚЫН ОРНАЛАСҚАН БЕТКЕЙ СУ НЫСАНДАРЫН РАДИОЭКОЛОГИЯЛЫҚ БАҒАЛАУ

Солтүстік Қазақстандағы уран өндіру қызметі – қоршаған ортадағы табиғи радионуклидтердің белсенді концентрациясының артуына ықпал етті. Осы зерттеудің мақсаты – Ақмола облысында орналасқан Тастыкөл (№9 кеніш) және Заозорное (№8 кеніш) рекультивацияланған кен орындарына жақын орналасқан уран өндірудің типтік ауданының жер үсті су нысандарына және көл шөгінділерінде табиғи радионуклидтердің кеңістіктік таралу сипаттамаларын бағалау, сондай-ақ олардың көші-қон процестерін түсіну үшін судағы және шөгінділердегі табиғи радионуклидтердің геохимиялық ерекшеліктерін зерттеу. Су нысандарындағы және түптік шөгінділердегі табиғи радионуклидтердің альфа және белсенділігі анықталды, сонымен қатар су үлгілерін алу кезінде сілтілік деңгейі (рН) сынама алу кезінде бірден анықталды. Кеніштердің аумақтарындағы бос жыныстардың үйінділеріндегі және карьер, сынама алынған су нысандары аумақтарында гамма-сәулелену дозасының қуатын өлшеу жүргізілді. Біздің зерттеу жұмыстары келесіні көрсетті: Зерттеу аумағындағы су нысандарындағы сынама-лардағы альфа белсенділік 0,8 ден 9,8 Бк/л, бета белсенділік – 0,3 тен 2,7 Бк/л дейінгі аралықты қамтыды. Мәндердің бұл арақатынасы осы нақты аудандардағы радиациялық әсерге байланысты денсаулыққа ықтимал қауіптің жоғарылауын көрсетеді. Түптік шөгінділердегі альфа белсенділік мәні – 250 Бк/кг – 510 Бк/кг аралығында, бета белсенділік 120 Бк/кг – 240 Бк/кг аралығында. Жоғары мәндер негізінен техногендік әсер болған Көксор, Тастыкөл, №9 шахтаның №5 карьері аумағында жоғары деңгейде. Өлшенген сілтілік деңгейінің артуы – ықтимал техногендік әсердің жоғарылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: кен басқармасы, рекультивация, аэрорадиометрия, аэроауытқулар, рудалық құбылыстар, уран өндіру, ионданушы сәулелену көздері.

A. Nurakhmet^{1*}, A. Zandybay¹, T. Onay²

¹L.N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²Boğaziçi University, Istanbul, Turkey

*e-mail: nurakhmetov_a88@mail.ru

Radioecological assessment of surface water bodies located near the tastykol and Zaozornoye reclaimed uranium deposits

Uranium mining activities in Northern Kazakhstan – contributed to an increase in the active concentration of natural radionuclides in the environment. The purpose of this study is to assess the characteristics of the spatial distribution of natural radionuclides in surface water bodies and lake sediments of a typical uranium mining area located near the reclaimed deposits of Tastykol (Mine №9) and Zaozornoye (Mine №8) located in the Akmola region, also to understand the processes of their migration is the study of the geochemical features of natural radionuclides in water and sediments. The Alpha and activity of natural radionuclides in water bodies and bottom sediments was determined, as well as the alkalinity level (PH) was immediately determined during sampling when taking water samples. Measurements of the power of the gamma radiation dose were carried out in waste rock dumps in the territories of Mines and in the territories of quarries, sampled water bodies. Our research work showed the following: alpha activity in samples of water bodies in the study area covered the range from 0.8 to 9.8 Bk/l, beta activity – from 0.3 to 2.7 Bk/l. This ratio of values indicates an increased potential health risk due to radiation exposure in these specific areas. The alpha activity value in the bottom sediment is in the range of 250 Bk/kg – 510 Bk/kg, beta activity is in the range of 120 Bk/kg – 240 Bk/kg. High values are at a high level in the territories of Koksor, Tastykol, quarry №5 of Mine №9, where there were mainly man-made impacts. An increase in the measured level of alkalinity – indicates an increased potential man-made impact.

Keywords: ore management, reclamation, aeroradiometry, air conditioners, ore phenomena, ura-

А. Нұрахмет^{1*}, А. Зандыбай¹, Т.Т. Онай²

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

²Босфорский университет, Стамбул, Турция

*e-mail: nurakhmetov_a88@mail.ru

Радиоэкологическая оценка поверхностных водных объектов, расположенных вблизи рекультивированных урановых рудников Тастыколь и Заозерное

Деятельность по добыче урана в Северном Казахстане способствовала увеличению активной концентрации природных радионуклидов в окружающей среде. Целью данного исследования является оценка характеристик пространственного распределения природных радионуклидов в поверхностных водоемах и озерных отложениях типичного района добычи урана, расположенного вблизи рекультивированных месторождений Тастыколь (рудник № 9) и Заозерное (рудник № 8), а также, для понимания процессов их миграции проводится изучение геохимических особенностей природных радионуклидов в воде и донных отложениях. При отборе проб воды определяли удельную альфа-бета активность природных радионуклидов в водоемах и донных отложениях, а также уровень щелочности (РН) непосредственно во время отбора проб. Измерения мощности дозы гамма-излучения проводились в отвалах пустой породы на территориях шахт и на территориях карьеров, где отбирались пробы водных объектов. Наши исследования показали следующее: альфа-активность в пробах водоемов на исследуемой территории находилась в диапазоне от 0,8 до 9,8 Бк/л, бета-активность – от 0,3 до 2,7 Бк/л. Такое соотношение значений указывает на повышенный потенциальный риск для здоровья из-за радиационного облучения в этих конкретных районах. Значение альфа-активности в донных отложениях находится в диапазоне от 250 до 510 Бк/кг, бета-активность находится в диапазоне от 120 до 240 Бк/кг. Высокие значения находятся на высоком уровне на территориях озера Коксор, Тастыкол, карьера №5 шахты № 9, где в основном имели место техногенные воздействия. Увеличение измеренного уровня щелочности указывает на возросшее потенциальное техногенное воздействие.

Ключевые слова: рудоуправление, рекультивация, аэрорадиометрия, аэроизменения, рудные явления, добыча урана, источники ионизирующего излучения.

Кіріспе

Адам ағзасы өмір сүру барысында радиоактивті сәулеленуге ұшырайды. Сәулелену көздері негізінен радионуклидтер әсерінен болады, олар өз кезегінде табиғи және жасанды болып бөлінеді [1]. Радионуклидтер көптеген дамыған елдерде маңызды мониторинг көрсеткіші ретінде саналады [2]. Радиоактивті сәулеленудің 85 % табиғи радионуклидтер әсерінен болады [3]. Адамдар ауа, топырақ, тау жыныстары, су және т.б. қоса алғанда, әртүрлі көздерден келетін радиацияға үнемі ұшырайды. Адам әсерінен болатын техногендік өзгерістер қоршаған ортадағы радионуклидтер мен ауыр металдар көлемін арттырады [4]. Өнеркәсіп нәтижесінде қалыптасатын бос жыныстар, радиоактивті қалдықтар, шахталық су төгінделері қоршаған ортаға елеулі әсерін тигізеді [5]. Ластанған өзендердегі ықтимал улы металл қалдықтары жауын-шашын, микроорганизмдер, су өсімдіктері мен жануарларда жиналуы мүмкін. Сонымен қатар, бұл металдар шөгінді ортаның өзгеруіне байланысты «қайталама ластануды» оңай тудыруы мүмкін және қоректік тізбек немесе басқа көші-қон жолдары арқылы биологиялық және адам денсаулығына үлкен

ықтимал зиян келтіруі мүмкін [6]. Тиісті басқару болмаса немесе қайта қалпына келтіру жұмыстары жүйелі түрде жүргізілмеген жағдайда қоршаған ортаға үлкен әсер етуі мүмкін. Кенес одағы кезіндегі атом саласын дамытуға арналған уран кенін күшейтілген өндіру радиоактивті қалдықтардың көп мөлшерін қалыптасуына әкелді. Көптеген нысандарда Орта Азиядағы уран мұрасын рекультивациялауға қаражаттары жетпеді және ол қоршаған ортаның ластануына және радионуклидтердің іргелес аумақтарда тұратын халық пен жануарлар әсерін тигізді. Соңғы 100 жылда әлемде 150 шахта учаскесі жабылып, олардың барлығы оңалту бағдарламасынсыз қараусыз қалған [7]. Уран кені кен орындарындағы радионуклидтердің көші-қонын түсіну жергілікті экологиялық ортаны және тұрғындардың әлауқатын қорғау үшін өте маңызды. Қазақстан инфрақұрылымы бар дамыған уран өндіру және қайта өңдеу өнеркәсібіне ие және әлемдік уран өндіру құрылымында жетекші орын алады. Канада, Ресей және Австралия Қазақстаннан кейінгі (39,34%) әлемдегі ең ірі табиғи уран өндіруші елдердің бірі болып табылады (2015 жылы әлемдік өндірістің 22,03%, 13% және 9,35% үлесімен) [8]. Дүниежүзілік ядролық қауымдастық-

тың мәліметтері бойынша, 2018 жылы ірі уран өндіруші компаниялар әлемдік уран өндірудің жалпы көлемінің 86%-ын өндірді ([9]. Қазақстанда жарты ғасырдан астам уақыт бойы жүргізіліп келе жатқан кең ауқымды тау-кен жұмыстары қоршаған ортаға зиянды әсер етеді және оның жай-күйін үнемі бақылауды және уран өндіруші және уран өңдеуші кәсіпорындардың аумағын оңалтуды талап етеді [10]. Қазақстан аумағындағы уран кен орындарын қарқынды іздестіру мен барлау өткен ғасырдың 40-шы жылдардың ортасында басталып, 1951 жылға қарай алғашқы өнеркәсіптік кен орнының ашылуымен, кейіннен уран кендерін өндіру мен өңдеуді қамтамасыз ететін үш комбинат құру үшін база болған бірқатар кен орындарының ашылуымен аяқталды. Олар Қырғыз тау – кен комбинаты (1953 ж.) – Оңтүстік Қазақстанда, Тау кен-химия комбинаты (1957 ж.) – Солтүстік Қазақстанда және Каспий маңы тау-кен металлургия комбинаты (1959 ж.) – Батыс Қазақстанда. Бұл аумақтардағы зерттелінген сирек кездесетін элементтердің рудаларға құрамы әлемдік орташа көрсеткіштен жоғары. Зерттеліп отырған аумақ Көксеңгір кен торабының құрамына кіреді және 6 кен орнынан тұрады, оның ішінде ең ірілері Заозорное және Тастыкөл кен орындары. Екі кен орны да гидротермальпометасоматикалық бақыланатын генетикалық бірегей уран-фосфор субформациясына жатады. Кен орындары негізінен Тастыкөл горизонтының әктастарында локализацияланған субпластикалық линза тәрізді шөгінділермен ұсынылған сирек кездесетін жер элементтерінің жоғары концентрациясымен сипатталады [11]. Заозорное кен орны 1956 – 1992 жж. аралығында жұмыс істеді. Тау жыныстары сол жерде ұсақталып, Степногорск қаласында орналасқан Степногорск тау кен комбинатына жеткізіліп, өңделді.

Заозорное және Тастыкөл уран-фосфорит кен орны Ақмола облысы, Біржан сал ауданы, Заозорное кентіне жақын орналасқан. Кен орындары №8 (Заозорное), №9 (Тастыкөл) кеніштерін қамтыды. Кен орынын пайдалану кезінде №8 (Заозорное) кенішінде 24 млн.м³ жер қойнауы өңделді, жер бетінде уранмен ластанған 536 мың м³ баланстан тыс кендер және 79,705 мың м³ баланстық кендер сақталады, 2,75 мың м³ тауарлық кендер жер бетіне жақын қорымда көмілді. №9 (Тастыкөл) кенішінде көлемі 1 246 мың м³ баланстық және баланстан тыс кендердің 4 үйіндісі; көлемі 15 га қоршалмаған карьер белгілі бір қауіп төндірді. Уран кені өндірілген № 5 карьері жер асты

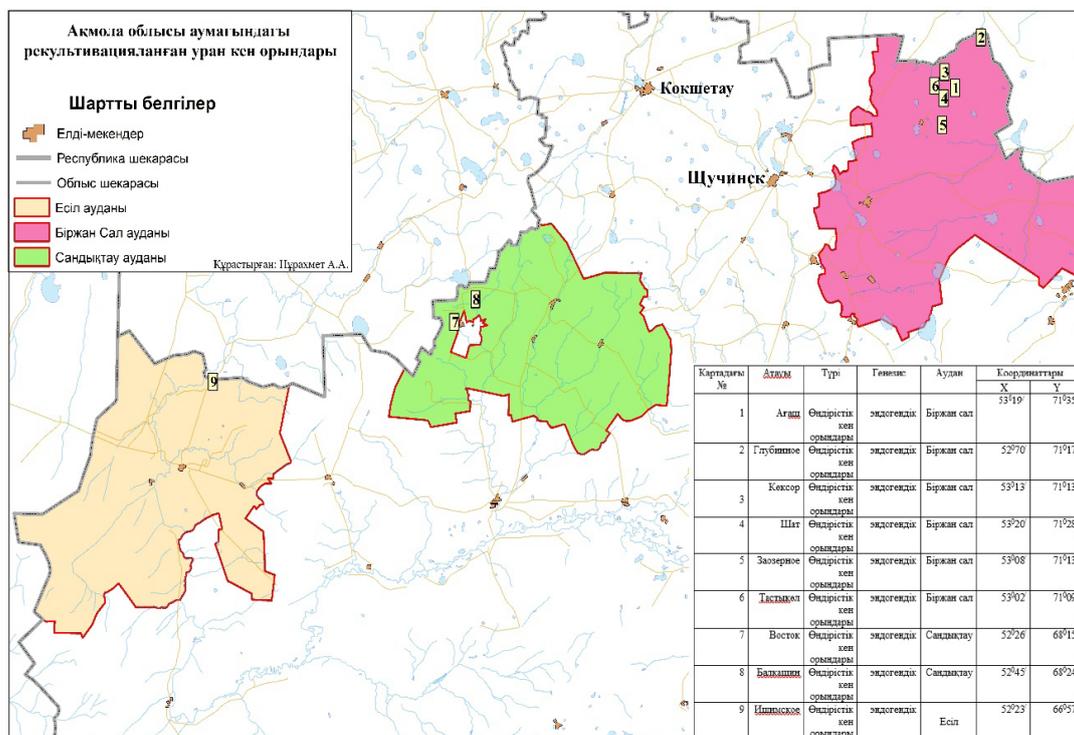
сулары мен жауын-шашынның әсерінен сумен толтырылды. 1986 жылы №9 (Тастыкөл) кенішінің шахтасы жойылып, №5 карьерінің баланстан тыс үйіндісін қалпына келтіру жұмыстары 1989 жылы аяқталды. Нәтижесінде, Ақмола облысы, 3 аудан аумағында орналасқан, №1,3,4 кен басқармасына бағынышты №1,8,9,14 кен орындары уран өндіретін кәсіпорындарды консервациялаудың және уран кен орындарын өндірудің салдарларын жоюдың 2001-2010 жылдарға арналған бағдарламасы шеңберінде рекультивация және қалпына келтіру шаралары жүргізілді (1-сурет).

Қазақстанның су ресурстары оның географиялық орналасуына және әсіресе континенттік климатына байланысты стратегиялық актив болып табылады. Елдің жалпы жер үсті су ресурстары жылына 100,08 км³-ке бағаланады, оның 56,89 км³ Республика шегінде қалыптасады және 43,09 км³ көршілес өңірлерден: Қытай (немесе, Ертіс), Өзбекстан (Сырдария), Қырғызстан (Шу, Талас) және Ресейден (Орал, Тобыл) келеді [12]. Су адамның тамақтануы мен күнделікті пайдалануы үшін, сондай-ақ ауыл шаруашылығы, өнеркәсіп және энергия өндіру қызметі үшін өте маңызды. Сондықтан судың сапасын бақылау қоршаған ортаны басқару үшін өте маңызды сала болып табылады. Радиологиялық сипаттама кейбір табиғи радионуклидтердің салыстырмалы түрде жоғары радиоуыттылығына және олардың радиацияның адам денсаулығына кумулятивті әсерін зерттеудегі маңыздылығына байланысты суды бақылаудың маңызды бөлігі болып табылады. Солтүстік Қазақстанның ағынсыз дала көлдері маңызды экологиялық құндылығы бар маңызды экожүйелер болып табылады. Олар биоәртүрлілікті сақтауда маңызды рөл атқарады, тірі организмдер үшін су ресурстарымен қамтамасыз етеді, жануарлардың әртүрлі түрлерінің көбеюі және қоныс аудару орындары ретінде қызмет етеді және олардың зоопланктондық қауымдастықтары осы сулардың трофикалық желісінде шешуші рөл атқарады [13].

Ақмола облысының аумағы жоғары радиоактивтіліктің табиғи және техногендік көріністеріне байланысты бірқатар радиациялық факторлардың болуымен сипатталады, олардың негізгілері табиғи радиоактивтіліктің қалыптан тыс жоғарылауының көптеген учаскелері, уран кен орындары мен кен көріністері, сондай-ақ уран кеніштері мен басқа да пайдалы қазбаларды өндіру жөніндегі кәсіпорындардың ілеспе уран минералдануымен көпжылдық ауқымды қызметі болып табылады [14].

Солтүстік Қазақстан ағынсыз көлдері көп өңір ретінде – сулары жоғары минералдануы бар, радиоактивті элементтердің (РАЭ) елеулі қорларын жинақтауға қабілетті түптік шөгінділер нысандары ретінде қоршаған ортаның

ластану деңгейін анықтау мағызды саналады. Оқшауланған су қоймаларының түбіндегі шөгінділерді зерттеу қазіргі геоэкологияның перспективалық бағыттарының бірі болып табылады [15].



1-сурет – Ақмола облысы аумағындағы рекультивацияланған уран кен орындары

Қазақстан Республикасының Үкіметі 2001 жылғы 25 шілдедегі №1006 қаулысымен бекітілген «Қазақстан Республикасының уран өндіруші кәсіпорындарын консервациялау және уран кен орындарын игерудің зардаптарын жою» бағдарламасы шеңберінде жұмыстарды жүзеге асыру үшін республикалық бюджеттен 4,2 млрд.теңге сомасында қаражат бөлінді [16].

Қазақстан Республикасы Үкіметінің 1998 жылғы 21 желтоқсандағы № 1311 қаулысымен «Уранликидрудник» республикалық мемлекеттік кәсіпорны құрылды. Бағдарламаның орындаушысы – «Уранликидрудник» РМК болып табылды.

Заозерное кен орнында бағдарламаға сәйкес келесі жұмыстар жүргізілді

- автомашиналар мен жабдықтарды залалсыздандыру, жуу пунктін салу;
- ғимараттар мен құрылыстарды залалсыздандыру;
- ғимараттар мен құрылыстарды консервациялау;

- Көксор көлін рекультивациялау;
- үйінділерді қалпына келтіру;
- ПЗРО-да баланстық кенді көму;
- автожол құрылысы және саздақ карьерін салу;

- май жинауға арналған тұндырғыш пен резервуар салу;

- Көксор көліне автожол салу;
- алаңшілік автожолдар мен кірме темір жолдарды қалпына келтіру;
- абаттандыру және көгалдандыру.

Тастыкөл кен орнына негізгі ластаушы радиоактивті объектілер көлемі 1 246 мың м³ баланстық және баланстан тыс кендердің 4 үйіндісі болып табылы және аумағы 15 га қоршалмаған карьер белгілі бір қауіп төндіреді. 1986 жылы №9 шахтасы консервацияланды, №5 карьерінің баланстан тыс үйіндісін қалпына келтіру жұмыстары 1989 жылы аяқталды.

Бағдарламаны іске асыру барысында №3 кен басқармасының (Заозерное және Тастыкөл кен

орындары – атап айтқанда) аумағын экологиялық сауықтыру жөніндегі бірінші кезектегі келесі іс шаралар қарастырылды:

- №8 кенішінің баланстан тыс үйінділерін жабу;
- баланстан тыс үйіндінің радонға қарсы жабынын қалпына келтіру № 9 кеніші (Тастыкөл кен орны);
- №8 кенішінің тауарлық кен қалдықтарын көму (кен орны Заозерное);
- №8 кенішінің өнеркәсіптік алаңын қоршаудың бүкіл периметрі бойынша радиациялық қауіптілік ескерту белгілерін орнатумен қоршау;
- қоршаулардың периметрі бойынша ескерту белгілерін орната отырып, №9 кенішінің карьерін және өнеркәсіптік алаңын қоршау.

Жасанды карьер көлінің ұзындығы шамамен 100 м, ені 35 м және тереңдігі 150 м құрайды (2-сурет). Кеніштерге жақын орналасқан Заозорное ауылы Біржан сал ауданның солтүс-

тік-шығыс бөлігінде, ауданның әкімшілік орталығы – Степняк қаласынан солтүстік-шығысқа қарай шамамен 40 шақырым қашықтықта орналасқан. Абсолютті биіктігі-теңіз деңгейінен 248 метр. Климаты суық-қоңыржай, ылғалдылығы жақсы. Орташа жылдық ауа температурасы оң және шамамен +3,3°C, шілдедегі орташа айлық ауа температурасы +19,6°C-қа жетеді. Қаңтардың орташа айлық температурасы шамамен -15,5°C, орташа жылдық жауын-шашын мөлшері шамамен 405 мм. Жауын-шашынның негізгі бөлігі маусым мен тамыз аралығында түседі. Жақын елді мекендер: Андықожа батыр ауылы-батыста, Анғал батыр ауылы-солтүстік-батыста, Краснофлотское ауылы-шығыста, Кенасы ауылы – оңтүстікте. Кент аумағынан «Заозерное – Ақсу» темір жолы басталады. Осы темір жол арқылы тауарлы кен Степногорск тау кен комбинатына жеткізіліп отырған.



2-сурет – №9 шахта №5 карьері орнында қалыптасқан жасанды көл

Материалдар мен әдістер

Суды радиациялық бақылау ұйымдастыру және жүргізу тарапынан қиын зерттеулер қатарына жатады. Алғашқы анықтауға судың альфа және бета белсенділігі жатады ([17]). Су сынамалары 2024 жылдың жаз айында, яғни маусымда алынды, себебі көктем мен күз мезгілдерінде су тасқыны және қар еруінен келетін сулар ластаушы заттарды қатты сұйылтады [18]. Соңғы далалық жұмыстарға бос жыныстардың үйінділеріндегі гамма-сәулелену дозасының қуатын өлшеу №9 (Тастыкөл) және №8 (Заозорное) кеніштері аумақтарында және кеніштерге жақын

орналасқан Майлысор, Тастыкөл, Көксөр (№8 (Заозорное) кенішінің шахталық сулары төгілген), №9 (Тастыкөл) кенішінің №5 карьері аумақтарын қамтыды. Өлшеу жұмыстар РКС-01-СОЛО радиометр-дозиметрі көмегімен жүргізілді. Өлшеу жұмыстары мемлекеттік санитариялық-эпидемиологиялық қадағалау комитеті төрағасының 2011 жылғы 8 қыркүйектегі № 194 «Радиациялық гигиена бойынша ұсыныстар» әдістемелік құралдарды бекіту туралы бұйрығына № 4 қосымшаға сәйкес жүргізілді. Сондай-ақ, барлығы түптік шөгінділер мен су сынамаларының 13 үлгі-сынамасы алынды, оның ішінде 6 түптік шөгінді үлгісі 7 беткей су нысандарының үлгісі. Түптік шөгін-

ділер үлгілері 5-10 см сынама алу тереңдігінде қораптық сынама алу құрылғысы арқылы алынды және 500-ден 1000 г дейінгі диапазондағы сынамалар алынды. Барлық үлгілер герметикалық полиэтилен пакеттерге мұқият орналастырылды және одан әрі талдау үшін зертханаға жеткізілді. Су сынамаларын алу кезінде әр нүктегі су сынамаларының сілтілік (рН) деңгейі қағаз индикаторлар арқылы өлшеніп отырды. Су сынамаларын іріктеу «Радиациялық бақылау. Жер үсті және ағынды сулардың сынамаларын алу» ҚР СТ 1545-2006» сәйкес жүргізілді. Су шөгінділердің сынамаларын алу «Гидросфера. Ластануға талдау жасау үшін су объектілерінің түптік шөгінділерін іріктеуге қойылатын жалпы талаптарға» МемСТ 17.1.5.01-80 сәйкес тандалды. Түптік шөгінді үлгілері тұрақты салмаққа жеткенше кептірілді. Әрбір кептірілген үлгі керамикалық ерітіндіде ұсақталған және елеу үшін 20 ұяшық өлшемі бар електен өткізілді. Сынамалар стандартқа сәйкес шахталық су төгінділері орын алған аумақта алынды (3-сурет).

Табиғи сулардағы альфа және бета сәуле шығаратын радионуклидтердің жиынтық белсенділігін анықтау келесідей әдістеме арқылы жүргізілді. Әдістemeniң негiзгi мәнi булану әдiсiмен сынама көлемiнен үшпайтын радионуклидтер қосындысының концентрациясын анықтау болып табылады. Көлемi 1 литр сынама ыстыққа төзімді 2 л стаканға ауыстырылды. Үлгiнi концентрацияланған азот қышқылымен рН=1-2 дейiн қышқылдандырылды және үлгiнi

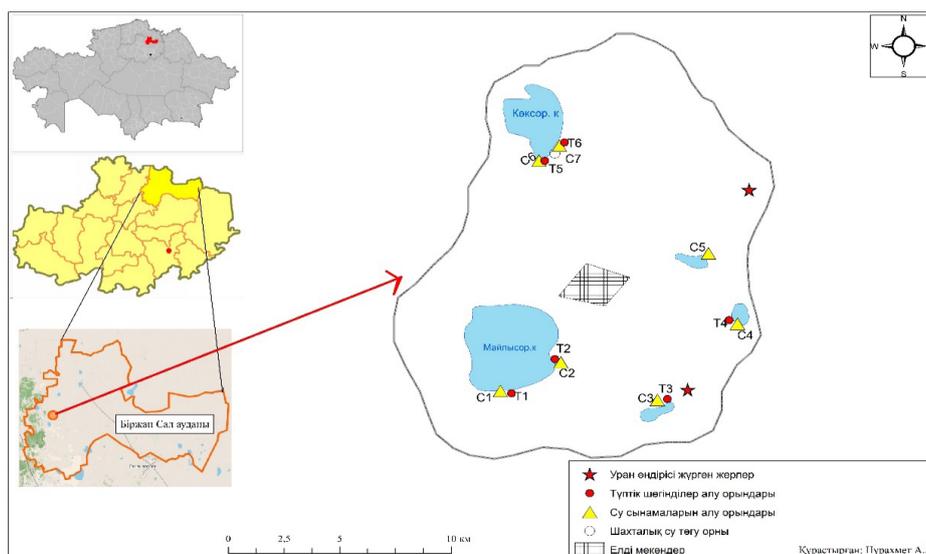
90 градустан аспайтын температурада 100-150 мл көлемге дейiн буландырылды. Бiртiндеп үлгiнi фарфор шыныаяққа құйып, көлемнiң 2/3 бөлiгiнен аспатындай етiп булануды жалғастырылды және стаканның қабырғаларын 20 см³ ыстық 1 М тұз қышқылымен шайып және негiзгi ерiтiндiге қосылды. Одан әрi тостағандағы ерiтiндiнi дымқыл тұздарға дейiн буландырып және пештен шығарып суытылды. 1:1 қатынасында 2см³ күкiрт қышқылын қосып, күкiрт қышқылының буы жоғалғанша буландырылды. Үлгiнi 1 сағат көлемiнде 350 градусқа дейiн муфельдi пеште қыздырылды. Есептеу үлгiсiн дайындап алып альфа-бета радиометр УМФ-2000 пайдаланып, өлшеу уақыты 1000-нан 5000 секундқа дейiн өлшеу жүргiзiлдi.

Зерттеу тобымен екi кезендiк радиациялық бақылау принципiн қолдана отырып бiрiншi кезеңде экспресс индикациялық әдiстермен жалпы бақылау көрсеткiштерi (Бк/кг, Бк/л) айқындалды, объектiнiң радиациялық қауiпсiздiк өлшемдерiне сәйкестiгi (немесе сәйкессiздiгi) белгiлендi және суды одан әрi зерттеудiң орындылығы туралы мәселе шешiледi:

$$A\Sigma\alpha + \Delta\alpha \leq 0,1$$

$$A\Sigma\beta + \Delta\beta \leq 1,0$$

$A\Sigma\alpha$ және (немесе) $A\Sigma\beta$ көрсеткiштерi асып кеткен жағдайда – екiншi кезең – судың радиоизотоптық құрамын егжей-тегжейлi зерттеу жүзеге асырылады [19].



3-сурет – Зерттелгiн аумақта сынама алу нүктелерiнiң таралуы.
Т – түптік шөгiндiлер үлгiлерiн, ал С – су сынамалары үлгiлерiн бiлдiредi

Нәтижелер

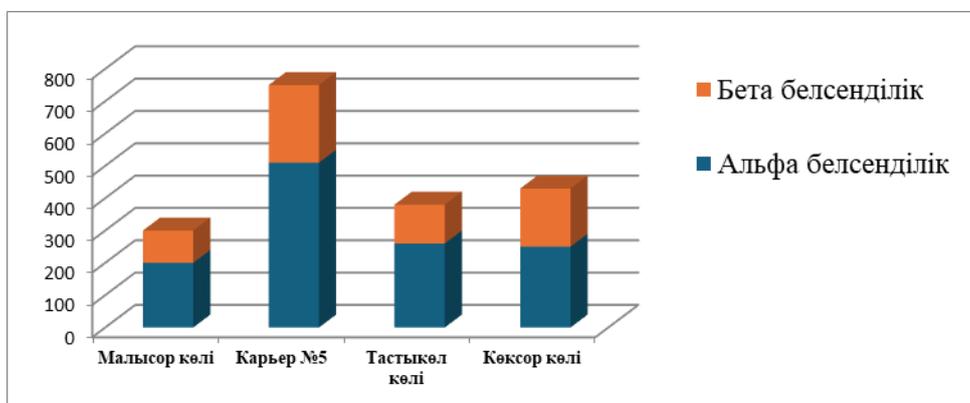
1. Зерттелген аумақтағы беткей су нысандарындағы түптік шөгінділердің альфа және бета белсенділігі

Радионуклидтер теңіз экожүйесіндегі бөлшектерге жабысып, ақырында шөгінділерде жиналады. Нәтижесінде шөгінділер су жағдайында ластанудың маңызды көзі болып [20]. Табиғи сулардағы радионуклидтер белсенділігі су жыныстарының құрамына, олардың геологиялық құрылымының жергілікті және аймақтық ерекшеліктеріне, су түріне, климаттық жағдайларға және т. б. байланысты [21].

Бұл зерттеуде табиғи радионуклидтердің белсенділіктерін сандық анықтау үшін Ақмола облысы, Біржан сал ауданы аумағындағы Майлысор (2 нүкте, 2 сынама – фондық сынама), №9 кеніштің №5 карьерінен, Тастыкөл көлінен және Көксор көлінен(№8 шахтаның шахталық ластанған сулары төгілген) барлығы 6 түптік шөгінділер сынамалары алынып,талданды. Талдау альфа-бета радиометр УМФ-2000 пайдалану арқылы жүргізілді.Зерттелетін аумақтың судағы мен түптік шөгінділеріндегі табиғи радионук-

лидтердің альфа және бета белсенділігі 4 суретте көрсетілген.

Түптік шөгінділер табиғи су нысандарының радиологиялық ластануының ең ақпаратты көрсеткіші болып табылады. Түптік шөгінділер альфа және бета белсенділігі ең жоғары су сынамаларындағы көрсеткіштерге сәйкес келеді, ең үлкен көрсеткіш №9 кеніштің №5 карьер түптік шөгінділерінде 510 Бк/кг және 240 Бк/кг аралығында, Тастыкөл көлінде 260 Бк/кг және 120 Бк/кг аралығында,Көксор көлінің №2 сынама алу нүктесінде 250 Бк/кг және 180 Бк/кг, фондық көрсеткіш ретінде салыстырмалы ластануды бағалау мақсатында сынама алынған Майлысор көліндегі №1 және №2 нүктелердегі альфа және бета белсенділік нормативтік көрсеткіштен 200 Бк/кг және 100 Бк/кг төмен. Қазақстан Республикасы нормативтік құжаттарында түптік шөгінділердегі және табиғи сулардағы альфа және бета белсенділік нормативтері бекітілмеген. Алайда, табиғи сулардағы белсенділіктің ауыз суға арналаған нормативтерден (альфа белсенділік бойынша 0,1 Бк/кг, бета белсенділік бойынша 1,0 Бк/кг) асып кеткен жағдайда радиохимиялық әдістермен толық талдау жүргізуге жатады.



4-сурет – Зерттелетін аумақтардың түптік шөгінділер үлгісінде радионуклидтердің альфа және бета белсенділігі концентрациясының өзгеруі

2. Зерттелген аумақтағы топырақ профилінің беткі қабаттарындағы γ -сәулелену дозаларын өлшеу

Жұмыстың бірінші кезеңінде бос жыныстардың үйінділеріндегі және зертеу нысандары-беткей су нысандары аумақтарында гамма-сәулелену дозасыны жер бетінен 1 метр жоғары деңгейі радиометр – дозиметр РКС-01-СОЛО қолдана отырып жүргізілді. Сәулелену дозасы-

ның қуатын өлшеу нәтижелері негізінде зерттелген аумақта радиоактивті ластану деңгейі жоғары учаскелер анықталды.Алынған нәтижелерді талдау радиоактивті ластанған учаскелердің № 8 және № 9 шахталарға және № 5 карьер аумағына жақын орналасқандығын көрсетті. Дозаның амбиенттік эквивалентінің қуаты 1 м қашықтықта осы объектілер ауданындағы жер тиісінше 0,76-,0,86 мкЗв/сағ құрады. Шахталардың ау-

мақтары қоршалмаған, ғимараттары бұзылған, радиациялық қауіптілік белгілері жоқ.

pH мәндері (Ури-pH индикаторлық жолақтары) іріктелгеннен кейін бірден өлшенді және жазылды. Майлысор, Тастыкөл, «Каменный карьер» су сынамалары әлсіз қышқылданған, pH мәндері 5,5-6,8 аралығында, дегенмен, Көксор (2 нүктеде), №9 шахта №5 карьері pH мәндері артып әлсіз қышқылдықтан қылқыл мәнге ие. pH мәндері 7,0-11,5 мәндері аралығында

тіркелді. Осылайша, зерттелетін аймақтағы су ортасы техногендік әсер болған аумақтан, техногендік әсердің әлсіз аумақтарына дейін бейтарап әлсіз, қышқыл ортаға дейін өзгерді. pH мәні 5,5-тен 11,5-ге дейін өзгерді, су құрамы көптеген металл сульфидті минералдардан (мысалы, пирит және т.б.) тұратын молибденит болуы мүмкін және бұл минералдар суда ерігеннен кейін судың pH деңгейін жоғарылатады (Кесте 1).

1-кесте – Кеніштер аумағындағы және беткей су нысандары аумағындағы гамма-түсірілім нәтижесі және pH мәндері

Сынама алу орыны	pH	МЭД γ – сәулелену (мкЗв/с) (мкЗв/ч)		
		min	max	орташа
ҚР бойынша рұқсат етілген деңгей		0,3		
Жергілікті жердің табиғи фоны		0,10-0,12		
Майлысор көлі	5,5	0,09	0,32	0,205
Тастыкөл көлі	6,5	0,14	0,40	0,27
Карьер №5	7,0	0,08	0,86	0,47
№8 кеніш аумағы		0,09	0,64	0,36
№9 кеніш аумағы		0,18	0,78	0,57
Көксор көлі	11,5	0,10	0,27	0,18
Каменный карьер	6,0	0,10	0,12	0,11

3. Зерттелген аумақтағы беткей су нысандарындағы судың альфа және бета белсенділіктерін өлшеу

Зерттелініп отырған аумақта (10 шақырымдық) тұрақты ағынды өзендер жоқ, Көксор, Майлысор, Тастыкөл тұзды көлдері орналасқан. Сонымен қатар, рекультивацияланған №9 шахтасы, №5 карьерінің су алабы, «Каменный карьер» су алаптары орналасқан. Заозорное және Тастыкөл рекультивацияланған уран кен орындарына жақын орналасқан беткей су нысандарына барлығы 7 беткей су нысандарының үлгісі алынды.

Табиғи судағы альфа және бета белсенділік концентрациясы №8 шахтаның шахталық суларының төгіндісі орын алған Көксор көлінде 2,5 Бк/л және 1,2 Бк/л аралығында, ең үлкен көрсеткіш №9 кеніштің №5 карьер суында 9,8 Бк/л және 2,7 Бк/л аралығында. Фондық көрсеткіш ретінде салыстырмалы ластануды бағалау мақсатында сынама алынған Майлысор көліндегі №1 және №2 нүктелердегі альфа және бета белсенділік нормативтік көрсеткіштен әлдеқайда

төмен – 0.08 Бк/л және 0.4 Бк/л аралығында. Көксор, Тастыкөл, №5 карьер су сыналарындағы радионуклидер белсенділігі ауыз суға арналған радионуклидтердің рұқсат етілген деңгейінен (альфа белсенділік үшін – 0,1 Бк/кг, бета-белсенділік үшін – 1,0 Бк/кг) жоғары. Жиынтық альфа және бета белсенділігінің мәндерінен асып кету мұндай судың радиациялық қауіпсіздік талаптарына сәйкес келмейтінін білдірмейді. Мұндай жағдайда негізгі доза түзетін радионуклидтердің үлестік белсенділігінің мәндерін айқындай отырып судың толық радионуклидтік талдауын және шамасын есептеуді жүргізу қажет. Келесі зерттеулерді мәндердің жоғары көрсеткіш көрсеткен су нысандарында сулардың физико-химиялық талдауын және негізгі радионуклидтерді анықтау бойынша зерттеу жұмыстарын жүргізу жоспарланып отыр. Табиғатта радионуклидтердің бета белсенділігінің 1 Бк/кг артуы өте сирек кездеседі, одан артқан жағдайда су құрамында қолдан пайда болған радионуклидтердің бар екендігін білдіреді. Табиғи сулардағы альфа

белсенділік әлемдегі орташа мәні – 0,4-0,8 Бк/кг аралығында, әлемдік зерттеулердің көрсеткен нәтижесі бойынша нақты радиациялық мәселе сулардағы альфа белсенділік 0,4-0,5 Бк/кг аралығында болғанда туындауы мүмкін [22].

Табиғи радиоактивті материалдар көптеген табиғи ресурстарда кездеседі. Өндіру және өңдеу кезінде радионуклидтер қалдықтарға ауысады, олар әдетте өндіріс орнындағы үйінділер мен қалдық қоймаларында жойылады. Кейбір тау-кен кәсіпорындары қоршаған ортаға әсерді азайту үшін тиісті басқаруды және тиісті бақылауды жүзеге асырмайды. Нәтижесінде радионуклидтер шахта қалдықтарынан ауаға, топыраққа және жер үсті суларына шығарылады, бұл халықтың денсаулығына әсер етеді [23].

Зерттеуде Көксеңгір кен торабының құрамына кіретін Заозерное және Тастыкөл кен орындарының беткей су нысандарына әсері радиоэкологиялық баға берілген. Екі кен орны да генетикалық бірегей уран-фосфор субформациясына жатады. Кен орындары 1956 – 1992 жж. аралығында жұмыс істеді, уран кенін өндіру барысында көптеген ластанған радиоактивті қалдықтар, суға толтырылған карьер қалыптасты, ластанған шахта сулары тұзды Көксор көліне күйылды. Аталған факторлар кеніштерге жақын орталасқан елді мекендер тұрғындары денсаулығына зиянын тигізу мүмкін. Сырдария уран кені провинциясы аумағында жүргізілген эпидемиологиялық зерттеудің нәтижелері жұмыс істеп тұрған уран кен орындарына жақын орналасқан елді мекендердің тұрғындары арасында аурулардың жоғары таралуын көрсеткен [24]. Ертеректе жүргізілген зерттеулер Солтүстік Қазақстанның басқа уран кен орындары (Есіл, Шақпақ, Балкашин) кен үйінділер учаскелерінде ауытқулардың болуын көрсетеді. Мәселен Заозерное уран кен орнының шахта суларының уақытша жинақтаушы тоғаны болған Көксор көлі түбіндегі шөгінділерде радиометриялық аномалия анықталған. Аномалияның басталуы-шахта сулары ағызылатын жерде, аяқталуы – төгу орнынан шамамен 300 м қашықтықта. Аномалияның формасы сызықтық, оның ені 15-20 м және төгу орнынан алыстаған сайын ұлғаймайды. Изометриялық пішінді тоғандағы аномалияның сызықтық түрі көзден алыстаған сайын ластанудың кеңеюінің жоқтығын көрсетеді [25].

2001-2010 жылдары Қазақстан Республикасы Кеңес Одағы кезінде пайдаланылған уран мұрасы объектілерін қауіпсіз күйге келтіру бо-

йынша жұмыстар жүргізді. 2004 жылы Заозерное және Тастыкөл кеніштерін жою және консервациялау жүргізілді. Алайда жою жұмыстары аяқталған соң посмониторингтік жұмыстар жүргіземді, рекультивация жүргізілген аумақтар мемлекеттік органдар балансына берілмеген. Қазіргі уақытта, рекультивация жүргізілгеніне 21 жыл өткенін есептегенде, 2005 және 2009 жылдары Қазақстанға Атом энергиясы бойынша халықаралық агенттік сарапшыларының қысқа мерзімді сапарлары кезінде жүргізген жекелеген объектілердің көзбен шолып бақылауларын есептемегенде, орындалған іс-шаралардың сапасына сараптамалық бағалау жоқ. «Эко-Сервис-С» ЖШС мамандарының 2012-2014 жүргізілген мониторинг нәтижелеріне сәйкес аталған аумақтарда кен үйінділерінің жарықшақтарының пайда болуы, радиациялық қауіптілік белгілерінің болмауы, ғимараттардың бұзылуы сияқты жайттарды атап өткен.

Қорытынды

Бұл зерттеуде Ақмола облысы, Біржан сал ауданы аумағында Тастыкөл және Заозерное рекультивацияланған уран кен орындарына жақын орналасқан табиғи су нысандарындағы радионуклидтердің альфа және бета белсенділік концентрациялары, кеңістіктікте таралуы сипатталды. Бұл зерттеудің мақсаты Ақмола облысы, Біржан сал ауданы аумағындағы рекультивацияланған уран өндіру аймағындағы радионуклидтердің концентрациясы, таралуы және ықтимал қауіптері туралы іргелі ақпарат беру.

Табиғи судағы альфа және бета белсенділік концентрациясы №8 шахтаның шахталық суларының төгіндісі орын алған Көксор көлінде, ең үлкен көрсеткіш №9 кеніштің №5 карьер суында және Тастыкөл көлінде жалпы ілемдік орташа мәндерден жоғары. Түптік шөгінділер концентрациясы да беткей су сынамалары нәтижелерімен сәйкес келеді. Жүргізілген гамма сәулеленуді өлшеу жұмыстары нәтижесінде жоғары мәндер №8, №9 кеніш және №5 карьер аумақтарында жоғары екенін көрсетті. Зерттеу тобы алдағы уақыттарда зерттеу аумағында мәндердің жоғары көрсеткіші байқалған жерлерде негізгі доза түзетін радионуклидтердің үлестік белсенділігінің мәндерін айқындай отырып судың толық радионуклидтік талдауын және шамасын есептеуді жүргізуді жоспарлап отыр.

Әдебиеттер

1. Поцелуев А.А. Благороднометалльное оруденение в гидротермальных урановых и редкометалльных месторождениях Центральной Азии. – Томск: STT, 2014. – 292 с.
2. Dołhańczuk-Śródka A. Estimation of external gamma radiation dose in the area of Bory Stobrawskie forests (PL) // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012. Vol. 184. P. 5773–5779. DOI: 10.1007/s10661-011-2380-4.
3. Long Z., Zhu H., Bing H., Tian X., Wang Z., Wang X., Wu Y. Contamination, sources and health risk of heavy metals in soil and dust from different functional areas in an industrial city of Panzhihua City, Southwest China // *Journal of Hazardous Materials*. 2021. Vol. 420. Article 126638. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.126638.
4. Ji K., Kim J., Lee M., Park S., Kwon H. J., Cheong H. K., Jang J. Y., Kim D. S., Yu S., Kim Y. W. Assessment of exposure to heavy metals and health risks among residents near abandoned metal mines in Goseong, Korea // *Environmental Pollution*. 2013. Vol. 178. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.03.031.
5. Alexander A. C., Ndambuki J. M. Impact of mine closure on groundwater resource: Experience from Westrand Basin–South Africa // *Physics and Chemistry of the Earth*. 2023. Article 103432. DOI: 10.1016/j.pce.2023.103432.
6. Yi L., Gao B., Liu H., Zhang Y., Du C., Li Y. Characteristics and assessment of toxic metal contamination in surface water and sediments near a uranium mining area // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17. Article 548. DOI: 10.3390/ijerph17020548.
7. Суходолов Александр Петрович Мировые запасы урана: перспективы сырьевого обеспечения атомной энергетики // *Известия БГУ*. 2010. №4. <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovyje-zapasy-urana-perspektivy-syrievogo-obespecheniya-atomnoy-energetiki>
8. Амирова У.К., Урузбаева Н.А. Обзор развития мирового рынка урана // *Universum: экономика и юриспруденция* : электрон. научн. журн. 2017. № 6 (39). URL: <https://7universum.com/ru/economy/archive/item/4802>
9. Kuchin Y., Mukhamediev R., Yunicheva N., Symagulov A., Abramov K., Mukhamedieva E., Zaitseva E., Levashenko V. Application of machine learning methods to assess filtration properties of host rocks of uranium deposits in Kazakhstan // *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. Article 10958. DOI: 10.3390/app131910958.
10. Софронова Л. Влияние отходов ураноперерабатывающих предприятий Северного Казахстана на состояние компонентов экосистем Автореферат диссертацииканд. биол. наук. 2012. URL: <https://earthpapers.net/vliyanie-othodov-uranoperebatyvuuschih-predpriyatij-severnogo-kazhstana-na-sostoyaniye-ekosistem>
11. Naumov S. S., Nikolaev S. L., Pigulskiy V. N. Osnovnye osobennosti geologii Severo-Kazakhstanskoy uranovoy rudnoy provintsii (SKUKP). Moscow : VIMS, 1989. URL:
12. Тюменев С.Д. Водные ресурсы и водообеспеченность территории Казахстана: Учебник. – Алматы: КазНТУ, 2008. – 267 с.
13. Satybaldiyeva G., Sapargaliyeva N., Sharakhmetov S., Inelova Z., Boros E., Krupa E., Utarbayeva A., Shupshibayev K. Species diversity of zooplankton of small steppe lakes of the northern part of Kazakhstan // *Water*. 2023. Vol. 15, No. 23. Article 4054. DOI: 10.3390/w15234054.
14. Isupov V. P., Ariunbileg S., Razvorotneva L. I., Lyakhov N. Z., Shvartsev S. L., Vladimirov A. G., Kolpakova M. N., Shatskaya S. S., Chupakhina L. E., Moroz E. N., Kuybida L. V. Geochemical model of uranium accumulation in the lake Shaazgay-Nur (Northwestern Mongolia) // *Doklady Akademii nauk*. 2012. Vol. 447. P. 1–6. DOI: 10.1134/S1028334X12120161.
15. Ivanov A. Uranium and thorium in the undrained lakes sediments on the south of Tomsk region // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. – 2011. – Vol. 318. – P. 159–165. URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/3598>
16. Р Постановление Правительства Республики Казахстан от 25 июля 2001 года № 1006 Об утверждении Программы консервации уранодобывающих предприятий и ликвидации последствий разработки урановых месторождений на 2001-2010 https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1024087
17. Зарединов Д.А., Ли М.В., Абдусаттаров Ф.Ф. Радиационный мониторинг водных объектов на территории бывших урановых рудников // *Журнал гуманитарных и естественных наук*. – 2025. – № 1(18). – С. 150–153. <https://journals.tnmu.uz/index.php/gtfj/article/view/1342>
18. Dyussebayeva M., Aidarkhanova A., Tasheikova A., Shakenov Y., Kolbin V., Merkel A. Assessment of contamination of natural waters with radionuclides and heavy metals: the case of Karabulak creek at the Semipalatinsk Test Site // *PLoS ONE*. – 2025. – Vol. 20, No. 2. – Art. e0310833. – DOI: 10.1371/journal.pone.0310833.
19. Бахур А.Е. Научно-методические основы радиоэкологической оценки геологической среды: автореферат диссертации..... доктора геол. наук. Москва, 2008 <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-nauchno-metodicheskie-osnovy-radioekologicheskoy-ocenki-geologicheskoy-sredy.pdf>
20. Delbono I., Barsanti M., Schirone A., Conte F., Delfanti R. 210Pb mass accumulation rates in the depositional area of the Magra River (Mediterranean Sea, Italy) // *Continental Shelf Research*. – 2016. – Vol. 124. – P. 35–48. DOI: 10.1016/j.csr.2016.05.010.
21. Порозова А. Д. Характеристика содержания химических веществ в воде подземных источников водоснабжения населения Ульяновского Поволжья // *ЗНИСО*. – 2008. – №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/harakteristika-soderzhaniya-himicheskikh-veschestv-v-vode-podzemnyh-istochnikov-vodosnabzheniya-naseleniya-ulyanovskogo-povolzhya>
22. Li H., Wang Q., Zhang C., Su W., Ma Y., Zhong Q., Xiao E., Xia F., Zheng G., Xiao T. Geochemical distribution and environmental risks of radionuclides in soils and sediments runoff of a uranium mining area in South China // *Toxics*. 2024. Vol. 12. Article 95. DOI: 10.3390/toxics12010095.

23. Wang C., Wu Q., Pan Z., Liu S., Cao Z., Yu Y. Estimation of the annual effective dose due to the ingestion of ²¹⁰Pb and ²¹⁰Po in crops from a site of coal mining and processing in Southwest China // *Molecules*. 2022. Vol. 27. Article 2112. DOI: 10.3390/molecules27072112.

24. Saifulina E., Janabayev D., Kashkinbayev Y., Shokabaeva A., Ibrayeva D., Aumalikova M., Kazymbet P., Bakhtin M. Epidemiology of somatic diseases and risk factors in the population living in the zone of influence of uranium mining enterprises of Kazakhstan: A pilot study // *Healthcare*. – 2023. – Vol. 11. Article 804. DOI: 10.3390/healthcare11060804.

25. Vdovenkov P. M., Shchelkin A. A., Vorobyev A. E., Romanov A. M. Problemy utilizatsii dolgozhivushikh radioaktivnykh otkhodov // *Nedelya gornyaka–2001*. – 2002. Vol. 10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-utilizatsii-dolgozhivuschih-radioaktivnyh-otkhodov>

References

1. Poceluev A. A. Blagorodno metalnoe orudnenie v gidrotermalnykh uranovykh i redkometalnykh mestorozhdeniyakh. Tomsk : STT, 2014. P. 27–30.

2. Dołhańczuk-Śródka A. Estimation of external gamma radiation dose in the area of Bory Stobrawskie forests (PL) // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012. Vol. 184. P. 5773–5779. DOI: 10.1007/s10661-011-2380-4.

3. Long Z., Zhu H., Bing H., Tian X., Wang Z., Wang X., Wu Y. Contamination, sources and health risk of heavy metals in soil and dust from different functional areas in an industrial city of Panzhihua City, Southwest China // *Journal of Hazardous Materials*. 2021. Vol. 420. Article 126638. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.126638.

4. Ji K., Kim J., Lee M., Park S., Kwon H. J., Cheong H. K., Jang J. Y., Kim D. S., Yu S., Kim Y. W. Assessment of exposure to heavy metals and health risks among residents near abandoned metal mines in Goseong, Korea // *Environmental Pollution*. 2013. Vol. 178. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.03.031.

5. Alexander A. C., Ndambuki J. M. Impact of mine closure on groundwater resource: Experience from Westrand Basin–South Africa // *Physics and Chemistry of the Earth*. 2023. Article 103432. DOI: 10.1016/j.pce.2023.103432.

6. Yi L., Gao B., Liu H., Zhang Y., Du C., Li Y. Characteristics and assessment of toxic metal contamination in surface water and sediments near a uranium mining area // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17. Article 548. DOI: 10.3390/ijerph17020548.

7. Sukhodolov A. P. Mirovye zapasy urana: perspektivy syryevogo obespecheniya atomnoy energetiki // *Vestnik Baikalskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2010. No. 3. P. 167. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovye-zapasy-urana-perspektivy-syrievogo-obespecheniya-atomnoy-energetiki>

8. Amirova U., Uruzbaeva N. Obzor razvitiya mirovogo rynka urana // *Universum: Ekonomika i yurisprudentsiya*. 2017. No. 6(39). URL: <http://7universum.com/ru/economy/archive/item/4802>

9. Kuchin Y., Mukhamediev R., Yunicheva N., Symagulov A., Abramov K., Mukhamedieva E., Zaitseva E., Levashenko V. Application of machine learning methods to assess filtration properties of host rocks of uranium deposits in Kazakhstan // *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. Article 10958. DOI: 10.3390/app131910958.

10. Sofronova L. Vliyaniye otkhodov uranopererabatyvayushchikh predpriyatiy Severnogo Kazakhstana na sostoyanie komponentov ekosistem : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. 2012. URL: <https://earthpapers.net/vliyanie-otkhodov-uranopererabatyvayushchih-predpriyatiy-severnogo-kazahstana-na-sostoyanie-komponentov-ekosistem>

11. Naumov S. S., Nikolaev S. L., Pigulskiy V. N. Osnovnye osobennosti geologii Severo-Kazakhstanskoy uranovoy rudnoy provintsii (SKUKP). Moscow : VIMS, 1989. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_007843642

12. Tyumenev S. D. Vodnye resursy i vodoobespechennost territorii Kazakhstana : uchebnoe posobie. Almaty : KazNTU, 2008. URL: https://tehranconvention.org/system/files/kazakhstan/tumenev_vodnye_resursy.pdf

13. Satybaldiyeva G., Sapargaliyeva N., Sharakhmetov S., Inelova Z., Boros E., Krupa E., Utarbayeva A., Shupshibayev K. Species diversity of zooplankton of small steppe lakes of the northern part of Kazakhstan // *Water*. 2023. Vol. 15, No. 23. Article 4054. DOI: 10.3390/w15234054.

14. Isupov V. P., Ariunbileg S., Razvorotneva L. I., Lyakhov N. Z., Shvartsev S. L., Vladimirov A. G., Kolpakova M. N., Shatskaya S. S., Chupakhina L. E., Moroz E. N., Kuybida L. V. Geochemical model of uranium accumulation in the lake Shaazgay-Nur (Northwestern Mongolia) // *Doklady Akademii nauk*. 2012. Vol. 447. P. 1–6. DOI: 10.1134/S1028334X12120161

15. Ivanov A. Uranium and thorium in the undrained lakes sediments on the south of Tomsk region // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2011. Vol. 318. P. 159–165. URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/3598>

16. Postanovlenie Pravitelstva Respubliki Kazakhstan ot 25 iyulya 2001 goda № 1006. Ob utverzhdenii Programmy konservatsii uranodobyvayushchikh predpriyatiy i likvidatsii posledstviy razrabotki uranovykh mestorozhdeniy na 2001–2010 gody. 2001. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P010001006_

17. Zaredinov D. A., Li M. V., Abdusattarov F. F. Radiatsionnyy monitoring vodnykh obektov na territorii byvshikh uranovykh rudnikov // *Zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2025. No. 18. P. 150–153. URL: <https://journals.tnmu.uz/index.php/gtfj/article/view/1342>

18. Dyusembaeva M., Aydarkhanova A., Tashekova A., Shakenov Yu., Kolbin V., Merkel A., Evlampieva Yu. Otsenka zagryazneniya prirodnykh vod radionuklidami i tyazhelymi metallami na primere ruchya Karabulak na Semipalatinskom ispytatelnom poligone // *PLOS One*. 2025. Vol. 20, No. 2. DOI: 10.1371/journal.pone.0310833

19. Bakhur A. E. Nauchno-metodicheskie osnovy radioekologicheskoy otsenki geologicheskoy sredy : avtoref. dis. ... d-ra geol.-mineral. nauk. Moscow : FGUP «VIMS», 2008. URL: <https://vims-geo.ru>

20. Delbono I., Barsanti M., Schirone A., Conte F., Delfanti R. 210Pb mass accumulation rates in the depositional area of the Magra River (Mediterranean Sea, Italy) // *Continental Shelf Research*. 2016. Vol. 124. P. 35–48. DOI: 10.1016/j.csr.2016.05.010
21. Porozova A. D. Kharakteristika sodержaniya khimicheskikh veshchestv v vode podzemnykh istochnikov vodosnabzheniya naseleniya Ulyanovskogo Povolzhya // *Zdorovye naseleniya i sreda obitaniya*. 2008. No. 1(178). P. 11–14. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/harakteristika-soderzhaniya-himicheskikh-veschestv-v-vode-podzemnyh-istochnikov-vodosnabzheniya-naseleniya-ulyanovskogo-povolzhya>
22. Li H., Wang Q., Zhang C., Su W., Ma Y., Zhong Q., Xiao E., Xia F., Zheng G., Xiao T. Geochemical distribution and environmental risks of radionuclides in soils and sediments runoff of a uranium mining area in South China // *Toxics*. 2024. Vol. 12. Article 95. DOI: 10.3390/toxics12010095.
23. Wang C., Wu Q., Pan Z., Liu S., Cao Z., Yu Y. Estimation of the annual effective dose due to the ingestion of 210Pb and 210Po in crops from a site of coal mining and processing in Southwest China // *Molecules*. 2022. Vol. 27. Article 2112. DOI: 10.3390/molecules27072112.
24. Saifulina E., Janabayev D., Kashkinbayev Y., Shokabaeva A., Ibrayeva D., Aumalikova M., Kazymbet P., Bakhtin M. Epidemiology of somatic diseases and risk factors in the population living in the zone of influence of uranium mining enterprises of Kazakhstan: A pilot study // *Healthcare*. 2023. Vol. 11. Article 804. DOI: 10.3390/healthcare11060804.
25. Vdovenkov P. M., Shchelkin A. A., Vorobyev A. E., Romanov A. M. Problemy utilizatsii dolgozhivushikh radioaktivnykh otkhodov // *Nedelya gornyaka–2001*. 2002. Vol. 10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-utilizatsii-dolgozhivuschih-radioaktivnyh-otkhodov>

Авторлар туралы мәлімет:

Нұрахмет, Айқын Алданышұлы – докторант, Л.Н. Гумилев атындағы Евразия ұлттық университеті (email: nurakhmetov_a88@mail.ru).

Зандыбай, Аманбек – биология ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Евразия ұлттық университетінің қауымдастырылған профессоры (e-mail: amanbek_z@mail.ru).

Тюзун, Тургут Онай – PhD докторы, Түркия Республикасы, Босфор университеті қоршаған орта туралы ғылымдар институты директоры (e-mail: onayturg@bogazici.edu.tr).

Information about authors:

Nurakhmet Aikyn Aldanyshuly – PhD doctoral student, L.N. Gumilyov Eurasian National University (e-mail: nurakhmetov_a88@mail.ru).

Zandybay Amanbek – Candidate of Biological Sciences (PhD equivalent), Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University (e-mail: amanbek_z@mail.ru).

Tyuzun Turgut Onay – PhD, Republic of Türkiye, Director of the Institute of Environmental Sciences, Boğaziçi University (e-mail: onayturg@bogazici.edu.tr).

Сведения об авторах:

Нұрахмет Айқын Алданышұлы – докторант Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилёва (e-mail: nurakhmetov_a88@mail.ru).

Зандыбай Аманбек – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилёва (e-mail: amanbek_z@mail.ru).

Тюзун Тургут Онай – PhD, директор Института наук об окружающей среде Босфорского университета (Турция, e-mail: onayturg@bogazici.edu.tr).

2025 жылдың 5 мамырында келіп түсті.
2025 жылдың 25 желтоқсанында қабылданды.

Zh.K. Abilda¹ , D.L. Daurov^{1,2*} , R. Kanat^{1,2} ,
A.S. Vyrakhmanova³ , S.N. Duesekov³ , M.K. Zhumagulova³ 

¹Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan

²Tanir Research Laboratory, Almaty, Kazakhstan

³Kazakh Scientific Research Institute of Soil Science and Agrochemistry
named after U.U. Uspanov, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: dias.daurov@gmail.com

SELF-RESTORATION OF SOILS IN ZONES OF TECHNOGENIC IMPACT OF METALLURGY BY MEANS OF SOIL MICROORGANISMS

The East Kazakhstan region, including the city of Oskemen, is one of the main regions of the country for the extraction of non-ferrous metals. The impact of heavy metals during the operation of industrial facilities and their free storage lead to the spread of pollutants. Thus, an increase in the content of trace elements (Zn, Cu) and the accumulation of heavy metals (Pb, Cd) affects the entire soil ecosystem. Soil is an environment capable of self-regulation, in which, during the life of microorganisms, heavy metals are converted into forms bioavailable for phytoremediation.

This article is aimed at correlating previously studied microorganisms with high tolerance to heavy metals with local microorganisms in order to describe the reaction characteristics of strains of local microorganisms.

The selected bacteria and fungi showed a less stable reaction to high concentrations of heavy metals due to the poverty of the soil. The most viable microorganism was the bacterium *Klebsiella sp.* It was detected with a frequency of 64%. In light loamy soils, microorganisms showed higher survival rates with significant concentrations of heavy metals.

Keywords: heavy metals, soil, microorganisms, PCR, remediation, bacteria, fungi.

Ж.К. Әбілда¹, Д.Л. Дауров^{1,2*}, Р. Қанат^{1,2},
А.С. Вырахманова³, С.Н. Дүйсеков³, М.К. Жумагулова³

¹Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Алматы, Қазақстан

²Tanir Research Laboratory, Алматы, Қазақстан

³Ө.О.Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және
агрохимия ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан

*e-mail: dias.daurov@gmail.com

Металлургияның техногендік әсер аймақтарындағы топырақтардың топырақ микроорганизмдерінің өз бетімен қалпына келуі

Шығыс Қазақстан облысы, соның ішінде Өскемен қаласы түсті металдарды өндіру бойынша еліміздің негізгі аймақтарының бірі болып табылады. Өндірістік объектілерді пайдалану кезінде ауыр металдардың әсері және олардың бос сақталуы ластаушы заттардың таралуына әкеледі. Осылайша, микроэлементтердің (Zn, Cu) мөлшерінің артуы және ауыр металдардың (Pb, Cd) жинақталуы бүкіл топырақ экожүйесіне әсер етеді. Топырақ – өзін-өзі реттеуге қабілетті орта, онда микроорганизмдердің тіршілігі кезінде ауыр металдар фиторемедиация үшін биожетімді формаларға айналады.

Бұл мақала жергілікті микроорганизмдер штамдарының реакциялық сипаттамаларын сипаттау үшін ауыр металдарға жоғары төзімділігі бар бұрын зерттелген микроорганизмдерді жергілікті микроорганизмдермен салыстыруға бағытталған.

Таңдалған бактериялар мен саңырауқұлақтар топырақтың кедейлігіне байланысты ауыр металдардың жоғары концентрациясына аз тұрақты реакция көрсетті. Ең өміршең микроорганизм *Klebsiella sp.* Ол 64% жиілікпен анықталды. Жеңіл сазды топырақтарда микроорганизмдер ауыр металдардың айтарлықтай шоғырлануымен жоғары тіршілігін көрсетті.

Түйін сөздер: ауыр металдар, топырақ, микроорганизмдер, ПТР, ремедиация, бактериялар, саңырауқұлақтар.

Ж.К. Абилда¹, Д.Л. Дауров^{1,2*}, Р. Канат^{1,2},
А.С. Вырахманова³, С.Н. Дүйсеков³, М.К. Жумагулова³

¹Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан

²Tanir Research Laboratory, Алматы, Казахстан

³КазНИИ почвоведения и агрохимии имени У.У. Успанова, Алматы, Казахстан

*e-mail: dias.daurov@gmail.com

Самовосстановление почв в зонах техногенного воздействия металлургии посредством почвенных микроорганизмов

Восточно-Казахстанская область, в том числе город Усть-Каменогорск является одним из основных регионов страны по добыче цветных металлов. Воздействие тяжелых металлов в период работы промышленных объектов, и их свободное хранение приводят к распространению поллютантов. Таким образом повышение содержания микроэлементов (Zn, Cu) и накопление тяжелых металлов (Pb, Cd) влияет на всю экосистему почвы. Почва – среда способная к саморегуляции, в которой в ходе жизнедеятельности микроорганизмов происходит перевод тяжелых металлов в биодоступные для фиторемедиации формы.

Данная статья направлена на корреляцию ранее изученных микроорганизмов с высокой толерантностью к тяжелым металлам с локальными микроорганизмами, с целью описания реакционных характеристик штаммов местных микроорганизмов.

Отобранные бактерии и грибы показали менее устойчивую реакцию к высоким концентрациям тяжелых металлов в связи с бедностью почв. Самым жизнеспособным микроорганизмом оказалась бактерия *Klebsiella sp.* Она была обнаружена с частотой в 64%. В легкосуглинистых почвах микроорганизмы показали более высокую выживаемость при значительных концентрациях тяжелых металлов.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почва, микроорганизмы, ПЦР, ремедиация, бактерии, грибы.

Introduction

Heavy metal pollution of the environment is a consequence of the activity of industrial facilities and the open storage of ash and slag waste. This impact can have short-term and long-term consequences for the ecosystem, primarily the soil. The diversity and activity of microbial communities is an indicator of soil quality (Campillo-Cora, 2025: 103706), as microorganisms perform several important functions in maintaining soil. As an integral part of the soil self-restoration cycle, certain microorganisms are capable of soil remediation (Zhao, 2022: 1459). This does not negate the presence of non-viable microorganisms under the same conditions of anthropogenic environmental stress.

Copper, cadmium, zinc, and lead are the most common non-ferrous metals mined in the East Kazakhstan region (<https://invest.e-vko.kz>), in the city of Oskemen. Production work with these metals has been ongoing for a long time at industrial facilities such as the Ust-Kamenogorsk Metallurgical Complex (UKMC) and the Ulba Metallurgical Plant (UMP). The harmful effects of heavy metals have various consequences for living organisms, including toxic, carcinogenic, and mutagenic (Hamilton, 1998: 1005). According to the classification of chemical substances, cadmium, zinc, and lead are

classified as Class 1 highly hazardous substances. Copper is a Class 2 substance and is characterized as moderately hazardous (GOST 17.4.1.02-83). Although some heavy metals, including copper (Cu) and zinc (Zn), are involved in intracellular processes, almost all heavy metals cause various types of cancer and disease (Coradduzza, 2024: 803). Thus, according to the classification of the International Agency for Research on Cancer (IARC), cadmium and its compounds are classified as Group 1 carcinogens, while lead and its inorganic compounds are classified as Group 2A carcinogens for animals, with insufficient data on carcinogenicity for humans (IARC Monographs Volumes). Heavy metals enter the human body primarily through the food chain. Soil, as a medium for the accumulation and transfer of heavy metals, requires increased attention. It is crucial to study each component of the soil's self-regulation system, as the conversion of heavy metals by microorganisms into forms accessible to plants for accumulation is complex, in which agrochemical, physical and mechanical properties of the soil, vegetation, and microorganisms play a significant role.

This article aims to compare the species composition of microorganisms involved in remediation with local microorganisms corresponding to the study area to identify the presence of soil self-

restoration mechanisms. This resulted in the identification of a list of optimal microorganisms for identifying survival and/or suppression processes under conditions typical of the study area.

Methods and materials

Soil sampling was conducted in the city of Oskemen around UKMC and UMP. Soil samples were collected at depths of 0-10 and 30-40 cm using

the “envelope” method in accordance with GOST 17.4.4.02-84. The soil was analyzed for heavy metal contents and the presence of microorganisms of interest. A total of 16 samples were collected at eight locations at two windward depths, including control points (Figure 1).

Soil samples were collected and dried for physical-chemical analysis. Alongside, some samples were frozen in liquid nitrogen and placed in freezers at -80°C for DNA extraction.

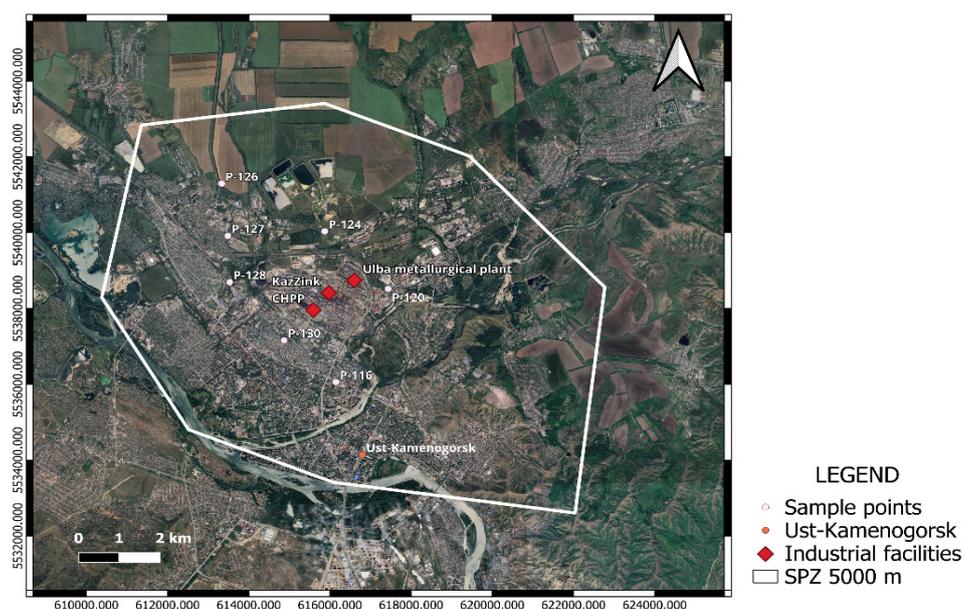


Figure 1 – Map of sampling points

Heavy metal content was determined using atomic absorption spectrometry according to methodology “M-MBH-80-2008” (eng. “Methodology for measuring the mass fraction of elements in soil, ground, and bottom sediment samples using atomic emission and atomic absorption spectrometry”).

DNA extraction was performed using QIAGEN DNeasy PowerSoil Kit according to the manufacturer’s protocol.

Universal primers (forward primer 27F AGAGTTTGATCCTGGCTCAG and reverse primer 1492R GGTTACCTTGTTACGACTT) (forward primer F1 AGAGTTTGATCITGGCTCAG and reverse primer R2 ACGGCTACCTGTTACGACTT) were used to amplify the 16S rDNA gene fragment. Thermal cycling conditions were as follows: initial denaturation at 94 °C for 3 minutes, then 30 cycles of denaturation at 94 °C for 45

seconds, annealing temperature at 56 °C for 60 seconds, and extension at 72 °C for 90 seconds.

In addition, universal primers (forward primer P-ITS1 TCCGTAGGTGAACCTGCGG and reverse primer P-ITS4 TCCTCCGCTTATTGATATGC) were used to amplify the ITS region of rDNA. Thermal cycling conditions were as follows: initial denaturation at 95°C for 5 minutes, followed by 25 cycles of denaturation at 94°C for 50 seconds, annealing at 56°C for 50 seconds, and extension at 72°C for 1 minute, with a final extension at 72°C for 7 minutes.

DNA amplification products were detected using a 1.5% agarose gel and visualized using ethidium bromide and ultraviolet light.

DNA bands were visualized under a Vilber UV transilluminator after staining with ethidium bromide.

Table 1 – Qualitative composition of microorganisms in the selected samples

#	Microorganisms	Samples														Control (30-40)						
		116(0-10)	116(30-40)	120(0-10)	120(30-40)	124(0-10)	124(30-40)	126(0-10)	126(30-40)	127(0-10)	127(30-40)	128(0-10)	128(30-40)	130(0-10)	130(30-40)		Control (0-10)					
1	<i>Klebsiella sp.</i>	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+					
2	<i>Escherichia coli</i>	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+					
3	<i>Bacillus cereus</i>	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-					
4	<i>Rhodococcus jostii</i> RHAI	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+					
5	<i>Bacillus pseudomycooides</i>	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+					
6	<i>Bacillus subtilis</i>	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+					
7	<i>Aspergillus niger</i>	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+					
8	<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
9	<i>Coriolus versicolor</i>	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+					
10	<i>Rhizomucor pusillus</i>	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+					
	Total	3	5	6	7	2	2	5	7	2	2	5	7	2	2	3	2	2	1	0	8	8

Results and discussion

The accumulation and mobility of metals largely depend on soil type and pH. For example, increased concentrations of Cu and Pb are observed in acidic and slightly acidic soils, while decreased mobility of Cu, Zn, and Pb is observed in alkaline soils (Mohammad, 2025). This trend is likewise reflected in our results. The soils of the study area are characterized by slightly acidic and neutral soils, with greater alkalinity in the lower layers. A decrease in heavy metal concentrations is observed with increasing soil pH at the same sampling points but at different sampling depths.

Of higher interest are the results of the correlation between microorganisms and heavy metal concentrations. The 10 microorganism species selected for resistance to heavy metal content (Table 1) demonstrated tolerance to extremely high zinc concentrations relative to lead and cadmium.

This phenomenon is explained by the reduced ability of some microorganisms to accumulate Pb compared to Zn. For example, *Aspergillus niger* shows that, with the same amount of carbon source (sucrose) converted into organic acids, the leaching rate of these heavy metals differed, with a greater value for zinc (Chen, 2019: 994). Additionally, some microorganisms, while resistant to certain metals, are capable of accumulating others (Table 2).

As it is demonstrated, *Bacillus pseudomycooides* is resistant to high copper concentrations in light loamy soils but does not survive in sandy soils (Table 3).

Bacillus cereus strain NWUAB01 is highly resistant to lead (Ayangbenro, 2020: 19660), however the *Bacillus cereus* strain typical of the study area has a concentration limit value of 16.5 mg/kg, which is below the maximum allowable concentration (MAC) for lead.

Table 2 – Heavy metals, to which the studied microorganisms show resistance

#	Microorganisms	Pollutant	References
1	<i>Klebsiella sp.</i>	Cu, Ni, Cd, Cr, Pb	(Aransiola, 2017:1098), (Chakraborty, 2021: 102204)
2	<i>Escherichia coli</i>	Cd, Cu, Zn, As, Au, Ni, Pb	(Longhi, 2022: 328), (Bhardwaj, 2018: 674), (Schwan, 2023: 100113)
3	<i>Bacillus cereus</i>	Pb, Cr, Cd	(Huang, 2024: 132594), (Ayangbenro, 2020: 19660)
4	<i>Rhodococcus jostii RHA1</i>	Cd, Cu и Fe (resistant)	(Alvarez, 2017: 41)
5	<i>Bacillus pseudomycooides</i>	Ni, Zn, Cr, Cd (resistant) и Cu (accumulator)	(Anbuganesan, 2024:1143), (Li, 2022:1914)
6	<i>Bacillus subtilis</i>	Ni, Pb, Cd	(Oyetibo, 2017:143), (Li, 2021:131454)
7	<i>Aspergillus niger</i>	Mn, Zn, Ni, Pb, As, Cd, Sb	(Chen, 2019: 994), (Chai, 2023: 82866), (Rabab, 2025: 297)
8	<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Cd, Pb (sensitive)	(Zhang, 2016: 1410), (He, 2024: 13523)
9	<i>Coriolus versicolor</i>	Zr	(Bhatti, 2013: 178)
10	<i>Rhizomucor pusillus</i>	Cr, Cd, Mg, Pb (sensitive, accumulator)	(Qayyum,2016: 499), (Sule, 2022:1289)

Table 3 – Concentration of heavy metals in the studied soils

Sample point	Depth, cm	Mobile heavy metals, MAC mg/kg				pH	Soil type
		Zn, 23mg/kg	Cu, 3.0mg/kg	Cd, 0.5mg/kg	Pb, 32mg/kg		
P-116	0-10	333	11.1	26.7	13.5	7.03	sand
	30-40	187	5	16.7	4.5	7.42	sandy loam
P-120	0-10	1255	12.9	28.8	42	6.23	light loam
	30-40	208	3.6	3.6	6.2	6.16	clay
P-124	0-10	332	5.8	6.1	16.5	6.93	sand

Continuation of the table

Sample point	Depth, cm	Mobile heavy metals, MAC mg/kg				pH	Soil type
		Zn, 23mg/kg	Cu, 3.0mg/kg	Cd, 0.5mg/kg	Pb, 32mg/kg		
	30-40	246	4.2	4.6	14.6	7.07	sandy loam
P-126	0-10	162	0.6	3.8	5.3	5.69	light loam
	30-40	9.5	0.9	1.1	2.3	7.04	light loam
P-127	0-10	591	6.4	10.9	22.9	6.64	sandy loam
	30-40	37.9	0.9	1.2	5	7.42	sandy loam
P-128	0-10	818	24.1	13.1	45	6.8	sand
	30-40	605	19.7	7.9	38.2	7.16	sand
P-130	0-10	862	5.9	27	19	6.81	sand
	30-40	82	2.8	3	2.4	7.29	sandy loam
Control	0-10	3.6	1.6	0.4	1	6.01	light loam
	30-40	1.7	1.8	0.5	1.2	6.3	medium loam

Of note is the response of microorganisms to high concentrations of heavy metals depending on the soil's particle size distribution. As can be seen, microorganism survival in light loamy soils exceeded that in sandy loam and sandy soils by 37.5% and 50%, respectively. This indicates that low nutrient content and retention in the soil is a greater limiting factor than high heavy metal content (Xia, 2020:107953).

Klebsiella sp. demonstrated the highest prevalence, with a result of 64%. The bacterium was not detected only at Point 128, with a lead content of 1.4 MAC (Table 3), the highest lead concentration in the study area.

Conclusion

During studies on the resistance of local microorganisms to high concentrations of heavy metals, it was determined that natural conditions have a greater impact on the survival of the microorganisms studied than exposure to heavy metals. Microorganism survival under anthropogenic influence in light loamy and clay soils was twice as high as in sandy soils.

Acknowledgements

This study was done under financial support of the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (program BR24992837, grant AP26103455).

References

1. Alvarez, A., Saez, J. M., Costa, J. S. D., et al. (2017). Actinobacteria: Current research and perspectives for bioremediation of pesticides and heavy metals. *Chemosphere*, 166, 41–62.
2. Anbuganesan, V., Vishnupradeep, R., Bruno, L. B., et al. (2024). Combined application of biochar and plant growth-promoting rhizobacteria improves heavy metal and drought stress tolerance in *Zea mays*. *Plants*, 13(8), 1143.
3. Aransiola, E. F., Ige, O. A., Ehinmitola, E. O., & Layokun, S. K. (2017). Heavy metals bioremediation potential of *Klebsiella* species isolated from diesel polluted soil. *African Journal of Biotechnology*, 16(19), 1098–1105.
4. Ayangbenro, A. S., & Babalola, O. O. (2020). Genomic analysis of *Bacillus cereus* NWUAB01 and its heavy metal removal from polluted soil. *Scientific Reports*, 10(1), 19660.
5. Bhardwaj, R., Gupta, A., & Garg, J. K. (2018). Impact of heavy metals on inhibitory concentration of *Escherichia coli*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(11), 674.
6. Bhatti, H. N., & Amin, M. (2013). Removal of zirconium (IV) from aqueous solution by *Coriolus versicolor*. *Ecological Engineering*, 51, 178–180.
7. Campillo-Cora, C., Rodriguez-Seijo, A., Perez-Rodriguez, P., Fernandez-Calvino, D., & Santas-Miguel, V. (2025). Effect of heavy metal pollution on soil microorganisms: Influence of soil physicochemical properties. A systematic review. *European Journal of Soil Biology*, 124, 103706.
8. Chai, X., Cao, F., Zhang, C., et al. (2023). Investigating the use of *Aspergillus niger* fermentation broth as a washing treatment for arsenic and antimony co-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(34), 82866–82877.

9. Chakraborty, S., Das, S., Banerjee, S., et al. (2021). Heavy metals bio-removal potential of the isolated *Klebsiella* sp. TIU20 strain. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 38, 102204.
10. Chen, S.-Y., & Wang, S.-Y. (2019). Effects of solid content and substrate concentration on bioleaching of heavy metals from sewage sludge using *Aspergillus niger*. *Metals*, 9(9), 994.
11. Coradduzza, D., Congiargiu, A., Azara, E., et al. (2024). Heavy metals in biological samples of cancer patients: A systematic literature review. *Biometals*, 37(4), 803–817.
12. Hamilton, J. W., Kaltreider, R. C., Bajenova, O. V., et al. (1998). Molecular basis for effects of carcinogenic heavy metals on inducible gene expression. *Environmental Health Perspectives*, 106, 1005–1015.
13. He, N., Hu, L., Jiang, C., et al. (2024). Effect of *Phanerochaete chrysosporium*-induced phosphate precipitation on bacterial diversity during the soil remediation process. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(9), 13523–13534.
14. Huang, Y., Yang, L., Pan, K., et al. (2024). Heavy metal-tolerant bacteria *Bacillus cereus* BCS1 degrades pyrethroid in a soil–plant system. *Journal of Hazardous Materials*, 461, 132594.
15. Investitsionnyy portal Vostochno-Kazakhstanskoy oblasti. (2025). *Prioritetnyye otrasli – Metallurgiya*. Retrieved August 7, 2025, from <https://invest.e-vko.kz/ru/menu/o-regione/prioritetnyye-otrasli/metallurgiya.html>
16. Li, H., Ai, C., Zhao, X., et al. (2022). The capability of *Bacillus pseudomycooides* from soil to remove Cu(II) in water and prevent it from entering plants. *Journal of Applied Microbiology*, 132(3), 1914–1925.
17. Li, Y., Ali, A., Jeyasundar, P. G. S. A., et al. (2021). *Bacillus subtilis* and saponin shifted the availability of heavy metals. *Chemosphere*, 285, 131454.
18. List of classifications by cancer sites with sufficient or limited evidence in humans. (2025). *IARC Monographs Volumes 1–139*. Retrieved August 7, 2025, from <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>
19. Longhi, C., Maurizi, L., Conte, A. L., et al. (2022). Extraintestinal pathogenic *Escherichia coli*: Beta-lactam antibiotic and heavy metal resistance. *Antibiotics*, 11(3), 328.
20. Mohammad, S. J., Ling, Y. E., Halim, K. A., et al. (2025). Heavy metal pollution and transformation in soil: A comprehensive review of natural bioremediation strategies. *J. Umm Al-Qura University Applied Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s43994-025-00241-6>
21. Okhrana prirody. Pochvy. Klassifikatsiya khimicheskikh veshchestv dlya kontrolya zagryazneniya: mezhgosudarstvennyy standart GOST 17.4.1.02-83. (1983). Moscow: Gosstandart.
22. Oyetibo, G. O., Chien, M. F., Ikeda-Ohtsubo, W., et al. (2017). Biodegradation of crude oil and phenanthrene by heavy metal resistant *Bacillus subtilis*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 120, 143–151.
23. Qayyum, S., Khan, I., Meng, K., et al. (2016). Bioaccumulation of heavy metals from aqueous solution using indigenous fungal isolates. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 45(4), 499–507.
24. Rabab, A. M., Asmaa, S. T., Asmaa, H. M., & Shereen, A. S. (2025). Adaptability assessment of *Aspergillus niger* and *Aspergillus terreus* isolated from long-term municipal/industrial effluent-irrigated soils to cadmium stress. *BMC Microbiology*, 25(1), 297.
25. Schwan, C. L., Bastos, L. M., Young, S., et al. (2023). Genotypic and phenotypic characterization of antimicrobial and heavy metal tolerance in *Salmonella enterica* and *Escherichia coli* isolates. *Journal of Food Protection*, 100113.
26. Sule, A. M., Inuwa, B., Bello, S. Z., et al. (2022). Isolation, characterization and heavy metals tolerance indices of indigenous fungal flora. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 26(7), 1289–1298.
27. Xia, Q., Rufty, T., & Shi, W. (2020). Soil microbial diversity and composition: Links to soil texture and associated properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 149, 107953.
28. Zhang, C. S., Huang, D. L., & Cheng, M. (2016). Toxicity and bioaccumulation of heavy metals in *Phanerochaete chrysosporium*. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(5), 1410–1418.
29. Zhao, S., et al. (2022). Soil bacterial community responses to cadmium and lead stabilization during ecological restoration of an abandoned mine. *Soil Use and Management*, 38(3), 1459–1469.

Information about the authors:

Abilda Zhanar Kasymkhanovna – Junior Researcher at the Selection and Biotechnology Laboratory of the Institute of Plant Biology and Biotechnology, Ph.D student, (e-mail: zemaletta@gmail.com).

Daurov Dias Lamzarovich – Senior Researcher at the Selection and Biotechnology Laboratory of the Institute of Plant Biology and Biotechnology, PhD, (e-mail: dias.daurov@gmail.com).

Kanat Rakhim – Master's student at the Selection and Biotechnology Laboratory of the Institute of Plant Biology and Biotechnology, (e-mail: uдинjate.tt0ey@8shield.net).

Vyrakhmanova Asem Sabitkanovna – Scientific Secretary of the Kazakh Scientific Research Institute of Soil Science and Agrochemistry named after U.U. Uspanov LLP, PhD, (e-mail: asem-v80@mail.ru).

Duysekov Saken Nurzhanuly – Researcher, Department of Saline Soil Reclamation, Kazakh Scientific Research Institute of Soil Science and Agrochemistry named after U.U. Uspanov LLP, Master of Agricultural Sciences (e-mail: saken-muslim@mail.ru).

Zhumagulova Moldir Kairbolatovna – Researcher, Department of Soil Fertility and Biology, Kazakh Scientific Research Institute of Soil Science and Agrochemistry named after U.U. Uspanov LLP, PhD, (e-mail: zhumagulova.mk@mail.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Абилда Жанар Қасымханқызы – Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институтының селекция және биотехнология зертханасының кіші ғылыми қызметкері, докторант (e-mail: zemaletta@gmail.com).

Дауров Диас Ламзарұлы – Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институтының селекция және биотехнология зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, PhD (e-mail: dias.daurov@gmail.com).

Қанат Рахим – Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институтының селекция және биотехнология зертханасының магистранты (e-mail: udingate.tl0ey@8shield.net).

Вырахманова Әсем Сабитқанқызы – «У.У. Успанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты» ЖШС-нің галым хатшысы, PhD (e-mail: asem-v80@mail.ru).

Дүйсеков Сәкен Нұржанұлы – «У.У. Успанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты» ЖШС-нің тұзданған топырақтарды мелиорациялау бөлімінің ғылыми қызметкері, ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі (e-mail: saken-muslim@mail.ru).

Жұмагулова Мәлдір Қайрболатқызы – «У.У. Успанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты» ЖШС-нің топырақ құнарлылығы және биологиясы бөлімінің ғылыми қызметкері, PhD (e-mail: zhmagulova.mk@mail.ru).

Сведения об авторах:

Абилда Жанар Касымхановна – младший научный сотрудник лаборатории селекции и биотехнологии Института биологии и биотехнологии растений, докторант (e-mail: zemaletta@gmail.com).

Дауров Диас Ламзарович – ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и биотехнологии Института биологии и биотехнологии растений, PhD (e-mail: dias.daurov@gmail.com).

Канат Рахим – магистрант лаборатории селекции и биотехнологии Института биологии и биотехнологии растений (e-mail: udingate.tl0ey@8shield.net).

Вырахманова Асем Сабиткановна – ученый секретарь ТОО «Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова», PhD (e-mail: asem-v80@mail.ru).

Дүйсеков Сәкен Нұржанұлы – научный сотрудник отдела мелиорации засоленных почв ТОО «Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова», магистр с.-х. наук (e-mail: saken-muslim@mail.ru).

Жұмагулова Молдир Қайрболатовна – научный сотрудник отдела плодородия и биологии почв ТОО «Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова», PhD (e-mail: zhmagulova.mk@mail.ru).

Поступила 13 сентября 2025 года

Принята 25 декабря 2025 года

N.M. Jafarova *, **G.I. Bayramov** 

Baku State University, Baku, Azerbaijan

*e-mail: ceferova-nailem@mail.ru

**ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT
OF HEAVY METALS IN THE WASTE GENERATED
BY THE METALLURGICAL INDUSTRY
(case study: Baku steel company)**

The article primarily presents ecological analytical studies on the waste generated in the production areas of the Baku Steel Company. It was determined that during various steel casting and processing operations in several production areas of the enterprise, different types of waste are formed in gaseous-aerosol, liquid, and solid states, each with distinct compositions and properties. Based on our preliminary scientific research, the actual composition and concentration levels of harmful substances released into the atmosphere at different times in both the working and sanitary protection zones were identified. Additionally, the composition of industrial wastewater and solid wastes generated by the enterprise was analyzed. The gaseous emissions at Baku Steel Company were measured using a Drager Tubes LLG gas detector device, while the analyses of water samples taken before and after purification from various departments of the plant were conducted using the ICP-OES GBC Quantima device. The article also provides scientific explanations on the negative environmental and human health impacts caused by heavy metals present in the industrial waste formed in the production areas of this enterprise.

Keywords: ecological analytical assessments, steel casting, sanitary protection zone, working zone, industrial waste.

Н.М. Джафарова*, Г.И. Байрамов

Баку Мемлекеттік Университеті, Баку, Әзірбайжан

*e-mail: ceferova-nailem@mail.ru

**Металлургиялық өндіріс қалдықтарындағы ауыр металдардың
қоршаған ортаға әсерін экологиялық бағалау
(Бакудегі металлургиялық зауыт мысалында)**

Мақалада негізінен Бакудегі металлургиялық зауыттың өндірістік цехтарында пайда болатын қалдықтардың экологиялық аналитикалық зерттеулері ұсынылған. Қорытынды бойынша, болатты құю және өңдеу процестерінің нәтижесінде кәсіпорынның бірнеше өндірістік учаскелерінде газ-аэрозольді, сұйық және қатты формадағы әртүрлі құрам мен қасиеттегі қалдықтар пайда болатыны анықталды. Алғашқы ғылыми зерттеулерімізге сәйкес, жұмыс аймақтарында және санитарлық-қорғау аймақтарында атмосфераға әртүрлі уақытта шығарылатын зиянды заттардың нақты құрамы мен концентрациясы анықталды. Сонымен қатар кәсіпорында пайда болатын өндірістік ағынды сулар мен қатты қалдықтардың құрамы талданды. Бакудегі металлургиялық зауытта газ тәрізді шығарындылар Drager Tubes LLG газанализаторы арқылы өлшенді, ал кәсіпорынның әртүрлі бөлімдерінде тазартудан бұрын және кейін алынған су үлгілерінің талдауы ICP-OES GBC Quantima аспабы арқылы жүргізілді. Мақалада сонымен қатар кәсіпорынның өндірістік қалдықтарындағы ауыр металдардың қоршаған ортаға және адам денсаулығына тигізетін теріс экологиялық әсері жөнінде ғылыми түсініктер берілген.

Түйін сөздер: экологиялық аналитикалық талдау, болатты құю, санитарлық-қорғау аймағы, жұмыс аймағы, өндірістік қалдықтар.

Н.М. Джафарова*, Г.И. Байрамов

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

*e-mail: ceferova-nailem@mail.ru

**Экологическая оценка воздействия тяжёлых металлов
в отходах металлургической промышленности на окружающую среду
(на примере Бакинского металлургического завода)**

В статье в основном представлены экологические аналитические исследования отходов, образующихся в производственных цехах Бакинского металлургического завода. Установлено, что в результате различных процессов литья и обработки стали в нескольких производственных участках предприятия формируются отходы различного состава и свойств в газо-аэрозольной, жидкой и твердой формах. Согласно нашим предварительным научным исследованиям, были определены фактический состав и концентрации вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу в различные периоды времени как в рабочих зонах, так и в санитарно-защитных зонах. Также был проведён анализ состава производственных сточных вод и твердых отходов, образующихся на предприятии. Газообразные выбросы на Бакинском металлургическом заводе были измерены с помощью газоанализатора Drager Tubes LLG, а анализы водных проб, взятых до и после очистки в различных отделах предприятия, были проведены с использованием прибора ICP-OES GBC Quantima. В статье также даны научные объяснения по поводу негативного экологического влияния тяжёлых металлов, содержащихся в промышленных отходах предприятия, в частности на окружающую среду и здоровье человека.

Ключевые слова: экологический аналитический анализ, литьё стали, санитарно-защитная зона, рабочая зона, промышленные отходы.

Introduction

According to the information and explanations provided in many technical sources [1–8], one of the main sectors of the metallurgical industry is the secondary steel melting production. As noted in these sources, the secondary steel melting process generates significantly more gaseous, liquid, and solid (slag) wastes compared to primary steel production facilities. Based on the explanations in scientific and technical literature [1–3] and the results of recent ecological research, it can be stated that, like all industrial enterprises, Baku Steel Company LLC creates various environmental problems due to the different types of pollutants it generates. Therefore, conducting ecological research in such production areas is considered one of the most urgent environmental issues today. Along with modern industrial development, the metallurgical industry is one of the main sectors impacting the environment. During the production of steel and other metallurgical products, various chemical substances especially heavy metals are released into the atmosphere, water bodies, and soil. These heavy metals (Pb, Cd, Cr, Ni, Zn, Cu, etc.) are toxic to living organisms and can cause serious ecological and health problems over time.

This article investigates the environmental assessment of heavy metals present in wastes generated by the metallurgical industry and their impact on the environment. The environmental effect of heavy metals is linked to their ability to accumulate

and their resistance to degradation. These substances can accumulate in soil, be absorbed by plants, and eventually enter the human body through the food chain. Metals released into the atmosphere can enter the body through the respiratory system and cause serious health disorders. Therefore, the proper management of waste, as well as the improvement of filtration and purification systems, are essential measures.

The most commonly encountered heavy metals in the metallurgical industry are: Lead (Pb), Cadmium (Cd), Mercury (Hg), Chromium (Cr, especially Cr⁶⁺), Nickel (Ni), Copper (Cu), Zinc (Zn), etc. These heavy metals mainly arise during the following industrial processes:

- Steel and iron melting (heating metals in furnaces);
- Casting and cooling of metals;
- Wear and cleaning of equipment;
- Surface treatment and painting of metals.

During these processes, heavy metals are released into the atmosphere in the form of gas-aerosols, enter wastewater in liquid form, and remain in the composition of solid wastes (slag, dust). The environmental impacts of heavy metals are diverse. When heavy metals enter the soil, they can persist for a long time without degrading and are absorbed by plants. Through this pathway, heavy metals enter the food chain and affect the health of humans and animals. They reduce soil fertility and weaken the activity of microorganisms. The discharge of waste-

water into water bodies leads to the contamination of aquatic and terrestrial ecosystems. Heavy metals accumulate in the bodies of fish and other aquatic organisms, which reduces biodiversity and can cause poisoning in humans. Heavy metal particles released into the atmosphere can enter the respiratory system, leading to chronic respiratory diseases, allergies, and various types of cancer. For example, the hexavalent form of chromium (Cr^{6+}) has a highly carcinogenic effect. The heavy metals present in the waste generated by the metallurgical industry pose a serious threat to both the environment and human health. The environmental assessment and monitoring of their impact are essential prerequisites for developing effective waste management strategies. The application of environmentally safe technologies is necessary to ensure environmental protection and the sustainability of industrial development. In some countries, the following conditions are considered essential to prevent environmental pollution:

- Technological discipline;
- Use of modern technologies;
- Implementation of technical modernization.

Thus, based on the explanations provided in scientific and technical literature [2–11], it can be scientifically justified that conducting ecological research in various directions at metallurgical industrial enterprises should be considered one of the key contemporary environmental requirements.

Materials and methods

As is well known, during environmental research at any industrial facility, the initial step involves collecting general information about the composition and characteristics of the raw materials accepted by the enterprise. In subsequent stages, it is essential to investigate the causes of environmental pollution that may arise during the preparation of these raw materials for processing and throughout the technological processes. Alongside this, it is also necessary to document the types of waste generated during the technological operations at the facility under investigation. Taking the above into consideration, the main objective of this environmental research was to determine the composition and environmental impact of all types of waste generated in the Electric Arc Steel Melting Furnace (EASMF) area section, which is considered one of the main production departments of the Baku Steel Company (BSC).

Initially, the actual concentrations of gaseous emissions formed in the working area of this production site were determined using the Dräger Tubes

LLG, a flexible and mobile gas detection device. Regular monitoring of gas emissions in the production area is crucial for both safety and environmental protection. The Dräger Tubes LLG gas detector is one of the flexible and portable devices used for this purpose. It is a portable gas analyzer specifically designed for the detection and measurement of various gases. Belonging to the Long Life Gas Detectors (LLG) series, this detector ensures high accuracy and ease of use in measuring gas emissions. The device operates with specially designed test tubes adapted for different gases such as carbon dioxide, methane, ammonia, heavy metals, and others. This detector is mainly used in industrial environments, particularly in high-risk zones, for monitoring gas leaks and protecting worker health.

Operating Principle of the Dräger Tubes LLG Gas Detector:

1. Test Tubes: The Dräger Tubes LLG gas detector operates using special test tubes. Each test tube is designed to measure the concentration of a specific gas. When used, the gas enters the tube and reacts with the chemical reagents inside, causing a visible color change.

2. Gas Concentration Measurement: The device determines the concentration of gas in the air using a calibrated method. The color change inside the test tube corresponds to the concentration of the target gas. A color scale printed on the tube allows the user to visually interpret the result and determine the gas concentration.

3. Safety and Portability: The portability of the device allows workers to use it easily in various locations. Its compact design and simple operation make it suitable for a wide range of environments. Measurements can be taken quickly, and results are available within a short time, ensuring timely detection and safety.

A long-term research study was conducted to determine the continuous and sustained presence of various inorganic substances with ecotoxic properties at elevated concentrations within the gas mixture. The concentrations of these specific ecotoxic substances in the air were measured using the device with the aid of glass indicator tubes. The analyses were repeated several times on different days, and the average values were calculated to improve accuracy.

The Dräger Tubes LLG gas detector offers an ideal solution for ensuring safety in industrial environments by accurately measuring and monitoring airborne gas emissions. Thanks to its portability and ease of use, the device helps minimize workplace

hazards and plays a crucial role in protecting the health of workers.

Results and discussion

The actual concentrations of inorganic substances with ecotoxic properties emitted into the ambient air from the Electric Arc Steel Melting

Furnace (EASMF) area of the Baku Steel Company were determined, primarily in the working area, particularly near the electric arc furnace. The measurements were conducted using the aforementioned portable device, with flexible analyses carried out in a circular pattern at a 10- meter radius around the EASMF. The results are presented in Table 1.

Table 1 – Analysis Results of Ecotoxic Inorganic Substances Emitted into the Atmosphere from the Electric Arc Steel Melting Furnace (EASMF)

Names of Inorganic Substances with Ecotoxic Properties	Maximum Allowable Concentrations (MAC) of these substances mg/m ³	Measured Concentrations in the Electric Arc Steel Melting Furnace (EASMF)
Hg	0.0003	0.5ppm (4.10 mg/m ³)
Cu	0.002	1ppm (2.59 mg/m ³)
Ni	0.001	1ppm (2.40 mg/m ³)
Pb	0.0003	1ppm (8.47 mg/m ³)
Zn	0.05	2ppm (5.34 mg/m ³)

In addition to the aforementioned observations, it should be noted that in the working area of the Electric Arc Steel Melting Furnace (EASMF) of the production facility under investigation, the concentrations of inorganic gaseous emissions with ecotoxic properties were also measured at

distances of 50, 100, 150, and 200 meters, as well as within the sanitary protection zones. The concentrations of these harmful substances in the ambient air at these locations were determined. The obtained results are presented in Table 2 and Figure.

Table 2 – Analysis Results of Inorganic Ecotoxic Substances in the Ambient Air Outside the Electric Arc Steel Melting Furnace (EASMF)

Names of Inorganic Substances with Ecotoxic Properties	Measured concentrations outside the Electric Arc Steel Melting Furnace (EASMF)				
	50 m	100 m	150 m	200 m	Within the Sanitary protection Zone
Hg	0.05 ppm	0.006 ppm	0.004 ppm	0.003 ppm	0.1ppm
Cu	0.9 ppm	0.1 ppm	0.01 ppm	0.005 ppm	0.01ppm
Ni	0.9 ppm	0.1 ppm	0.01 ppm	0.005 ppm	0.01ppm
Pb	0.9 ppm	0.1 ppm	0.01 ppm	0.005 ppm	0.01ppm
Zn	1.5 ppm	1.3 ppm	0.9 ppm	0.1 ppm	0.1ppm

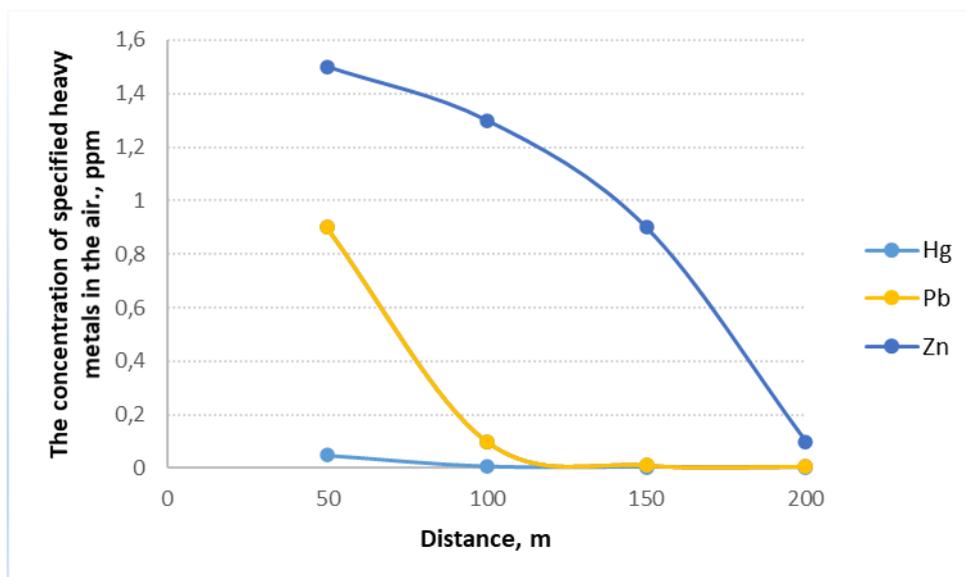


Figure – Ecotoxic Inorganic Substance Concentrations as a Function of Distance

Additionally, sampling and analysis of industrial wastewater generated primarily in the production areas of the Baku Steel Company, particularly in the Electric Arc Furnace Section (EAFS), have been carried out. Samples were taken from the water entering and exiting the cooling system of the EAFS (i.e., industrial wastewater samples). The analyses mainly focused on determining the concentrations of metal ions using established analytical chemical methods (such as photometric, photocolometric, and argentometric) techniques. During the analysis, it was

found that the inlet water to the EAFS cooling system contained elevated levels of certain chemical parameters, particularly metal ions. This can be explained by the fact that a significant portion of the water entering the cooling system is recycled water, which results in higher concentrations of metals such as Cu, Mo, Mn, Al, Pb, Cr, Zn, and others. The concentrations of Cu, Mo, Mn, Al, Pb, Cr, Zn, and other metals were determined using the ICP-OES method with the GBC Quantima instrument. The average results of these analyses are presented in Table 3.

Table 3 – Determination of Heavy metals in Industrial Wastewater Generated Mainly in the Production Areas of Baku Steel Company, Especially in the Electric Arc Furnace Section (EAFS)

Component Name	Unit of measurement	Inlet water to EAFS cooling system	Outlet water from EAFS cooling system
Na ⁺	mg/l	137.8	222.5
K ⁺	mg/l	3.2	3.1
Al ³⁺	mg/l	9.49	41.4
Fe	mg/l	79.5	225.2
Mn	mg/l	0.372	7.98
Cu	mg/l	54.4	93.6
Mo	mg/l	23.7	25.0
Zn	mg/l	0.525	1.8
Pb	mg/l	0.162	0.673
Ni	mg/l	2.88	2.1
Cr	mg/l	3.44	4.68

It is known from the literature that all steel alloys contain sulfur, carbon, phosphorus, heavy metals, and inorganic elements. It should be noted that during the high-temperature melting process of recycled steel equipment in the Electric Arc Steel Melting Furnace (EASMF) area, oxygenated, hydrogenated, and halogenated derivatives compounds of many elements are formed. Furthermore, it can be stated that many of the inorganic substances with ecotoxic properties listed in Table 1, even when undergoing various transformations during the process, lead to the formation of numerous harmful compounds.

Conclusion

Although the concentrations of ecotoxic substances formed in the Electric Arc Steel Melting Furnace (EASMF) area of the investigated facility which are emitted into the atmosphere and considered hazardous to both the environment and, primarily, human health tend to dilute over time and approach the Maximum Allowable Concentration

(MAC), each of these substances is still regarded as highly dangerous.

During the recycling process of steel equipment, cast iron, and even non-ferrous metals classified as scrap metal a variety of complex metallic compounds are formed as a result of the high-temperature decomposition of many components used in the process (such as coal, coke, ferromanganese, and ferrosilicomanganese). During the cooling of these alloys, a portion of the metals that have separated from the main alloy enters the composition of the cooling water, thereby generating industrial wastewater. In the Electric Arc Steel Melting Furnace (EASMF) area, the amount of ecotoxic and harmful substances in the water used for cooling steel alloys which is then reused increases significantly. For this reason, the application of multi-stage physical and chemical treatment methods to purify the recycled industrial wastewater can be considered essential in preventing the emergence of environmentally stressful conditions in the working zone of the facility.

References

1. Eyvazov, B.Y. (2014). *Ecology of Metallurgical Processes*. Baku: Education Publishing, 260 pp.
2. Mirbabayev, M.F. (2015). *Ecology of the Atmospheric Space*. Baku: AzTU Publishing, 140 pp.
3. Orekhova, A.N. (2015). Environmental Problems of Foundry Production. *Production Ecology*, 4, 23–27.
4. Aliyev, M.A. (2022). Impact of Industrial Waste on Soil and Water Resources: Methods of Environmental Assessment. *Ecology and Life Journal*, 3, 47–56.
5. Huseynli, L.C. (2023). Environmental Problems of Metallurgical Enterprises in Azerbaijan and Their Solutions. *Industry and Ecology Journal*, 2, 25–34.
6. Mammadov, V.A. (2023). *Environmental Monitoring and Analysis Methods in Metallurgical Enterprises*. Baku: Baku State University Press, 97 pp.
7. Abbasov, H.R. (2016). *Environmental Assessment of Technogenic Impacts*, 198 pp.
8. Hajiyeva, S.R., Bayramov, G.I., Jafarova, N.M. (2023). Environmental Impact of Waste Gas Formed At Baku Steel Smelting Plant, *International Apitherapy And Nature Congress Ianco23*, 1-3 june, 237 pp.
9. Purkait, M.K., Mondal, P., Das, P.P. (2023). *Wastewater Treatment in Steel Industries*, CRC Press, 5 december, 138 pp.
10. Gupta, R.C. (2012). *Energy and Environmental Management in Metallurgical Industries*, PHI Learning, 348 pp.
11. Hajiyeva, S.R., Bayramov, G.I., Jafarova, N.M. (2024). In-Depth Determination Of Production Wastewater Composition Formed In Baku Steel Smelting Plant, *Azerbaijan journal of Chemical news*, 6, (2), 62-68
12. Krivitsky, V.S. (2009). *Environmental Problems of Foundry Production and Ways of Its Development*, Moscow, CJSC TSNIM INVEST, 123 pp.
13. Orekhova, N. (2015). Environmental Problems of Foundry Production. *Production Ecology*, 4, 23-27
14. Romanov, V., Romanova, R. (2020). *Emissions of Harmful Substances and Their Dangers to Living Organisms*, LitRes, 23 july, 325 pp.
15. Kidin, I.N. (2022). *Heat Treatment of Steel by Induction Heating*, State Scientific and Technical Publishing House of Literature on Ferrous and Non-Ferrous Metallurgy, June 27, 316 pp.
16. Aliyeva, R.A., Hajiyeva, S.R. (2009). *Sampling and analysis of the sample weight*, Baku: Science. 116 pp.
17. Bayramov, G.I., Samadova, A.A., Jafarova, N.M. (2019). *Methods of analysis of harmful substances in the industrial waste water produced in the oil industry*. Baku: Science, 26 pp.

Information about authors:

Giyas Bayramov Ilyas – Prof. of Department of Ecological Chemistry, Baku State University (Baku, Azerbaijan, e-mail: giyas.bayramov@socar.az).

Jafarova Naila Mammad – PhD, Baku State University (Baku, Azerbaijan, e-mail: ceferova-nailem@mail.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Гияс Байрамов Ильяс – Баку мемлекеттік университетінің Экологиялық химия кафедрасының профессоры (Баку, Әзірбайжан, e-mail: giyas.bayramov@socar.az).

Джафарова Наила Мамед – PhD, Баку мемлекеттік университеті (Баку, Әзірбайжан, e-mail: ceferova-nailem@mail.ru).

Сведения об авторах:

Гияс Байрамов Ильяс – профессор кафедры экологической химии, Бакинский государственный университет (Баку, Азербайджан, e-mail: giyas.bayramov@socar.az).

Джафарова Наила Маммад – кандидат химических наук, Бакинский государственный университет (Баку, Азербайджан, e-mail: ceferova-nailem@mail.ru).

*Поступила 12 июня 2025 года
Принята 25 декабря 2025 года*

IRSTI 39.19.27

<https://doi.org/10.26577/EJE2025855>

S.T. Toxanbayeva* , A.A. Azhigali , N.Ye. Ramazanova ,
M.A. Alagudzhaeva , A.Ye. Ayapbekova , Zh.M. Karagoishin 

Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan

*e-mail: sabina.toksanbaeva@mail.ru

MODERN PROCESSES OF ECO-GEOMORPHOGENESIS IN THE KOSTANAY REGION UNDER THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC ACTIVITY

Human economic activity is a key factor shaping the modern landscape. To ensure a high level of environmental well-being, nature conservation, and the rational use of natural resources, it is necessary to comprehensively consider all types of technogenic impacts on the natural environment – both direct and indirect. In this regard, the study of eco-geomorphogenesis under the conditions of anthropogenic pressure and changing climate is especially relevant and becomes one of the priority tasks for maintaining environmental sustainability. This article examines the features of eco-geomorphogenesis in the Kostanay region under the influence of current anthropogenic activities. The processes of landform formation and transformation caused by human activities such as land use, agriculture, forestry, and mineral extraction are analyzed. The consequences of these changes for the natural environment are considered: increased erosion, alteration of the water regime, soil degradation, and disruption of ecosystem stability. Special attention is paid to the interaction between geomorphological and ecological factors in landscape transformation processes. Conclusions are drawn about the current state of geomorphogenetic processes, and measures are proposed to mitigate the negative consequences of anthropogenic impact in the Kostanay region.

Keywords: eco-geomorphogenesis, Kostanay region, geology, geomorphology, geological and lithological features.

С.Т. Токсанбаева*, А.А. Ажигали, Н.Е. Рамазанова,
М.А. Алагуджаева, А.Е. Аяпбекова, Ж.М. Қарағойшин
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
*e-mail: sabina.toksanbaeva@mail.ru

Антропогендік әрекеттің әсерінен Қостанай облысының экогеоморфогенезінің заманауи процестері

Адамның шаруашылық қызметі қазіргі ландшафтты қалыптастыратын негізгі фактор. Қоршаған ортаның экологиялық тұрақтылығын сақтау, табиғатты қорғау және табиғи ресурстарды ұтымды пайдалану үшін табиғи ортаға техногендік әсердің барлық түрлерін – тікелей және жанама – жан-жақты ескеру қажет. Осыған байланысты өзгермелі климат және антропогендік қысым жағдайында экогеоморфогенез үдерістерін зерттеу аса өзекті болып отыр және қоршаған ортаның тұрақтылығын сақтау жолындағы басым міндеттердің бірі ретінде қарастырылады. Бұл мақалада қазіргі антропогендік әсер жағдайындағы Қостанай облысының экогеоморфогенез ерекшеліктері қарастырылады. Адамның шаруашылық әрекеті, соның ішінде жер пайдалану, ауыл және орман шаруашылығы, пайдалы қазбаларды өндіру сияқты факторлар әсерінен рельефтің қалыптасуы мен өзгеру үдерістері талданады. Бұл өзгерістердің табиғи ортаға әсері: эрозиялық үдерістердің күшеюі, су режимінің өзгеруі, топырақтың деградациясы және экожүйелердің тұрақтылығының бұзылуы сипатталады. Ландшафттардың өзгеру үдерісіндегі геоморфологиялық және экологиялық факторлардың өзара әрекеттестігіне ерекше назар аударылады. Қостанай облысындағы геоморфогенетикалық үдерістердің қазіргі жағдайына қорытынды жасалып, антропогендік әсердің теріс салдарын азайту бойынша ұсыныстар берілген.

Түйін сөздер: экогеоморфогенез, Қостанай облысы, геология, геоморфология, геологиялық-литологиялық ерекшеліктер.

С.Т. Токсанбаева*, А.А. Ажигали, Н.Е. Рамазанова,
М.А. Алагуджаева, А.Е. Аяпбекова, Ж.М. Карагойшин
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
*e-mail: sabina.toksanbaeva@mail.ru

Современные процессы экогеоморфогенеза Костанайской области под влиянием антропогенной деятельности

Хозяйственная деятельность человека выступает ключевым фактором, формирующим современный ландшафт. Для обеспечения высокого уровня экологического благополучия, охраны природы и рационального использования природных ресурсов необходимо комплексно учитывать все виды техногенных воздействий на природную среду – как прямые, так и опосредованные. В связи с этим изучение экогеоморфогенеза в условиях антропогенного давления и изменяющегося климата приобретает особую актуальность и становится одной из приоритетных задач в деле сохранения устойчивости окружающей среды. В данной статье рассматриваются особенности экогеоморфогенеза Костанайской области в условиях современного антропогенного воздействия. Анализируются процессы формирования и трансформации рельефа, происходящие под влиянием хозяйственной деятельности человека, включая землепользование, сельское и лесное хозяйство, а также разработку полезных ископаемых. Рассматриваются последствия этих изменений для природной среды: ускорение эрозионных процессов, изменение водного режима, деградация почв и нарушение устойчивости экосистем. Особое внимание уделяется взаимодействию геоморфологических и экологических факторов в процессе преобразования ландшафтов. Представлены выводы о текущем состоянии геоморфогенетических процессов и предложены меры по смягчению негативных последствий антропогенного вмешательства Костанайской области.

Ключевые слова: экогеоморфогенез, Костанайская область, геология, геоморфология, геолого-литологические особенности.

Introduction

The modern stage of society's development is characterized by intensive human intervention in natural processes, which entails significant changes in the structure and dynamics of geomorphological systems. This is especially acute in regions with active agricultural, industrial and infrastructural development, including Kostanay region. In recent decades, there have been significant transformations of natural landscapes caused by human activity – land development, land reclamation, mining, construction and other forms of economic activity [1-2].

Ecogeomorphogenesis, as a scientific field, studies changes in terrain that occur under the influence of both natural and anthropogenic factors. In the context of increasing anthropogenic pressure and global climate change, the relevance of such research is significantly increasing. The analysis of modern processes of exogeomorphogenesis allows not only to assess the current state of the environment, but also to develop scientifically sound approaches to the management of natural resources and the protection of landscapes from degradation [3].

One of the key components of the natural environment is the Earth's surface. In the Paleolithic and Neolithic periods, there was practically no anthro-

pogenic impact on the terrain. However, with the development of civilization and the growth of human industrial, economic and engineering activities, new forms of relief began to form in the geomorphological structure, which were called man-made or anthropogenic. These shapes are the result of an artificial transformation of the Earth's surface that did not previously exist in nature. Their occurrence is not related to natural climatic or tectonic processes. These can be either extended linear or localized spatial formations – embankments, dumps, quarries, and other forms formed as a result of the movement and accumulation of substances of various compositions (organic, chemical, and mineral), ranging in thickness from several meters to hundreds of meters [4-5].

Human economic activity – construction, agriculture, hydraulic engineering and mining – has a significant impact on the geological and geomorphological structure of the Earth's crust. V.I. Vernadsky designated these zones of active technogenic transformation as the technosphere or noosphere (1944) [6].

All anthropogenic landforms can be roughly divided into two main categories: man-made and agrogenic. Technogenic relief arises as a result of industrial and engineering processes related to the processing of minerals, construction and other types

of technical activities. A.E. Fersman coined the term “technogenesis” to denote such a transformation of natural forms. Cryogenic landforms are formed as a result of long-term agricultural exploitation of the territory and, as a rule, have a longer history of development compared to technogenic ones [7-8].

In the process of economic activity, a person exerts both direct and indirect, intentional and unintended influence on natural landscapes, which is designated by the term “anthropogenic impact”. It manifests itself both in biotic components (for example, the disappearance or replacement of species of flora and fauna) and in abiotic ones (climate change, pollution of the atmosphere, reservoirs and soils). As a result, destructive changes in natural landscapes are observed, violating their stability and functionality [9].

Man-made landscapes are natural and anthropogenic formations formed under the influence of human activity, especially in the fields of mining, energy, transport and construction. The sources of pollution in such areas are classified as point, linear and areal, while the pollution zones often do not coincide in location with the sources themselves [10].

Thus, human economic activity is the main factor determining the current state of geomorphological systems. To preserve environmental sustainability, it is necessary to take into account and analyze all forms of anthropogenic impact on the natural environment [11-12].

In this regard, the study of exogeomorphogenesis under conditions of increasing anthropogenic pressure and climatic changes is of particular importance. The deterioration of the environmental situation due to these factors is causing increasing concern among scientists and specialists [13].

The purpose of this study is to identify the features of the modern ecogeomorphogenesis of Kostanay region under anthropogenic influence, to identify the main types and directions of terrain transformation, and to assess their consequences for the natural environment of the region.

Materials and methods of research

The data on cartographic and textual material on the geology and morphology of Kostanay region for the modern period of time were used as the research material, geographical and descriptive methods were used.

The geographical method was based on the fact that fieldwork and descriptive work were carried out, during which research materials were obtained. Thanks to the geographical and descriptive method, the main characteristics and the current state of ecogeomorphogenesis are investigated in this work.

Kostanay region is located in the north of the Republic of Kazakhstan and is one of the largest administrative-territorial units of the country. The total area is 196,000 km², which makes it one of the most extensive regions in Kazakhstan. The region occupies an important geostrategic position, bordering the Russian Federation (Chelyabinsk, Kurgan and Orenburg regions), as well as neighboring regions of Kazakhstan – Aktobe, Karaganda and North Kazakhstan regions [14-15].

Such a border location has a significant impact on the economic ties of the region, the use of natural resources and the direction of infrastructural development. The large area of the territory and its location in a zone of various natural conditions complicate the geomorphological structure of the region and affect the diversity of the relief [16].

From a coordinate point of view, Kostanay region is located in the range of 52°-55° north latitude and 61°-69° east longitude. The territory of the region occupies a transitional zone between steppe and forest-steppe natural zones, which determines its diverse landscape. This factor has an impact not only on geomorphological features, but also on hydrological processes, the formation of relief and the distribution of soil cover. The differences between the northern and southern parts of the region affect not only the ecosystem characteristics, but also the risks of flooding [17].

Results and discussion

The geomorphological structure of Kostanay region is a combination of flat, elevated and low-lying landforms formed under the influence of tectonic processes, erosion, accumulation and denudation. The regional morphology is determined by the location of the region within the West Siberian Plain and the Turgai plateau, which determines its characteristic features – slight fluctuations in altitude, wide interfluvial spaces and a developed network of drainage basins. According to the geomorphological features, the territory of the region can be divided into three main zones (Table 1):

Table 1 – The main geomorphological zones of Kostanay region

Geomorphological zone	Relief features	Average height above sea level (m)	Characteristic objects
1	2	3	4
West Siberian lowland (northern part of the region)	Flat terrain with small hills, swampy areas	120-180	Ubagan-Ishim watershed, lakes, swamps, salt marshes
Turgai plateau	Undulating plains, sometimes dissected by a ravine-girder network, Aeolian relief forms	200-300	The mountains of Kyzbeltau, Kargalytau, Zhilandytau, Teketau, Tosykkum and Akkum dunes
Turgai hollow	Wide tectonic depression, floodplains, floodplain terraces, salt marshes	150-210	Lake Aksuat, Lake Kushmurun, Turgai and Ubagan rivers
The Trans-Ural plateau (western part of the region)	Hilly terrain, sloping plains, lake-basin areas	250-350	Tributaries of the Tobol, estuaries, river valleys
The cliffs and hills of the southern part of the region	Denudation slopes, elevated ridges, slightly undulating plains	250-300	Watersheds of Turgay-Zhilanchik, Kabyrga-Teke, Zhilanchik-Ulkayak

The Northern plain zone (West Siberian lowland). It consists of poorly dissected plains with altitudes from 120 to 180 m above sea level. This territory is characterized by weakly pronounced slopes, the presence of numerous lake basins (Nazhmuli, Amankaragai) and the spread of hydromorphic soils. These features contribute to seasonal stagnation of water and increase the risk of spring floods.

- The central elevated zone (Turgai plateau). It extends from the northeast to the southwest and includes hilly and rolling landforms with heights of 200-300 m. Ravine-girder systems are developed in this zone, which makes it more susceptible to erosion processes. The Turgai Hollow – an ancient tectonic trough filled with sedimentary rocks, also passes through here. During the spring flood, significant amounts of meltwater flow down this hollow, increasing the burden on the hydrological system of the region.

- Southern arid zone (part of the Turgai depression). It is characterized by the predominance of flat plains with rare residual elevations. There are dry channels of temporary watercourses (sores), as well as large sandy massifs (Aral Karakums), which influence the formation of a local microclimate, in-

creasing the level of evaporation and contributing to the occurrence of dust storms.

The geomorphology of Kostanay region is closely related to its geological structure. The region is composed of sedimentary rocks of Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic age, among which sandstones, clays, siltstones, marls and limestones predominate. Quaternary deposits of glacial and alluvial origin are widespread in lowland areas, which determines the high water permeability of soils and contributes to the formation of temporary reservoirs after intense precipitation. The southern part of the region contains denser rocks of the Permian and Carboniferous periods, which reduces the level of precipitation infiltration and leads to the formation of a more stable water regime. These geological differences create significant contrasts in the soil and hydrological conditions of the region and affect economic activity [18-19].

The geological structure of Kostanay region is a complex system formed under the influence of various geological processes over millions of years. The main tectonic elements of the region are the Kostanay megablock, the Turgai depression and the North Kazakhstan region of the Ural Folded system. The Kostanay megablock is a stable platform struc-

ture composed of ancient crystalline rocks of the Archean and Proterozoic, including granites, gneisses and quartzites. These rocks have high strength and are the basis for the placement of large iron ore deposits. In contrast, the Turgai depression is a tectonic trough in which sedimentary rocks accumulated during the Mesozoic and Cenozoic eras. It contains powerful sandstone, limestone and clay strata with high water content and influencing the formation of the region's groundwater resources. The North Kazakhstan region of the Ural folded system is characterized by a complex structure, including fault zones and metamorphosed rocks that have undergone active tectonic processing [20-21].

The lithological composition of the Kostanay region is represented by a variety of rocks, among which sedimentary, igneous and metamorphic formations predominate. In the northern and central regions, sandstones, siltstones and limestones are widespread, which form aquifers and favorable conditions for groundwater accumulation. The southern and western regions are characterized by the presence of basalts, granites and diabases, which have high strength and resistance to weathering. Metamorphic rocks such as gneisses, schists, and quartzites are found mainly in the southern folded zones and are associated with tectonic processes that occurred in the Paleozoic era [22-25].

The richness of minerals is one of the key geological features of the region. Kostanay region has the largest iron ore deposits in Kazakhstan, concentrated in the Sokolovsko-Sarbaysky, Kacharsky and Lisakovsky basins. These ores are of sedimentary-metamorphic origin and have a high iron content, reaching 50-60%. In addition, there are significant reserves of bauxite used in the production of aluminum in the Lisakovsk area. The Zhitikarinsky phosphorite deposit is of marine origin and is actively used in the agricultural sector for the production of fertilizers. Lignite deposits have been discovered within the Turgai basin, but their development is limited due to difficult hydrogeological conditions. Exploration work is also underway in the southwestern part of the region to find oil and gas deposits in the carbonate strata of the Lower Paleozoic [26].

The geological structure of the region has a significant impact on the hydrogeological conditions and the distribution of water resources. There are three main aquifers in the region: deep artesian basins lying at a depth of 300-800 meters and con-

taining mineralized waters; medium-depth horizons (30-150 meters) used for drinking and domestic water supply; as well as shallow groundwater located at a depth of 0.5-10 meters and playing a key role in irrigation of agricultural lands. The most significant underground water resources are concentrated in the Turgai basin, where powerful sand and limestone strata contribute to the active accumulation and filtration of waters. However, in the northern regions of the region, where dense clay rocks predominate, precipitation infiltration is limited, which leads to the accumulation of surface water and increases the likelihood of floods in the spring [27].

The geology of the region also influences economic activity, determining the specifics of the location of industrial enterprises, agricultural land and transport infrastructure. The mining industry is concentrated in the areas of iron ore deposits, while the agricultural sector is developing mainly in the central and northern parts of the region, where the lithological composition of the soils is more favorable for agriculture. In areas where clay deposits are common, increased soil salinity is observed, which requires the use of special land reclamation measures. The construction of roads and engineering structures also depends on the geological structure, since additional fortification work is required in areas with loose sedimentary rocks.

Conclusion

In general, the geographical location and relief of Kostanay region determine its climatic conditions, water balance and risk level of natural disasters, including floods and erosion processes. The northern regions of the region, belonging to the West Siberian Lowlands, are characterized by a weak surface slope, high moisture storage capacity and increased susceptibility to flooding, especially during the spring snowmelt.

The central part, represented by the hills of the Turgai plateau, is characterized by more active runoff, which reduces the likelihood of prolonged floods, but leads to increased soil erosion and landscape degradation. In the southern regions of the region, located within the Turgai basin, the water regime depends on the composition of the underlying rocks, in particular sandstones and limestones, which contribute to the active filtration and accumulation of groundwater, providing nutrition to aquifers. The geological structure of the region

forms heterogeneous water exchange conditions, where the presence of clay deposits in some areas leads to moisture stagnation, while in others, precipitation infiltration contributes to the formation of deep-lying water reservoirs. In recent decades, due to climate change, there has been an increase in extreme meteorological events, which increases the likelihood of severe floods and exacerbates the problem of water scarcity in the southern regions. In this context, the study of the relief and geological features of the region acquires strategic importance, allowing not only to predict hydrological risks, but also to develop effective measures to protect territories from floods, optimize water use and preserve soil fertility.

Thus, the geographical location, geomorphological and geological features of Kostanay region have a significant impact on the formation of hydrological conditions, the nature of landscape dynamics and the manifestation of natural hazards. In conditions of a complex and mosaic relief structure – from the plains of the northern part to the elevated areas of the central plateau and depressions of the southern regions – different types of regimes of surface and underground runoff, water exchange and moisture accumulation are formed. This determines the uneven distribution of hydrological risks across the region and requires an integrated approach to their assessment.

The study of spatial variability of anthropogenic impact on the natural environment is of

particular relevance, since landscape changes due to economic activity exacerbate natural risks, including floods, erosion, soil degradation and a decrease in the water-holding capacity of landscapes. Active land development, land reclamation, deforestation, construction of dams and other engineering structures disrupt the natural mechanisms of regulating moisture circulation, which leads to an aggravation of hydroecological problems in the region.

Taking into account the increasing consequences of global climate change, including an increase in extreme precipitation, temperature anomalies and changes in seasonal water regimes, the need for a systematic study of ecogeomorphological processes is becoming a strategic task. Modern approaches to monitoring, modeling, and forecasting the geomorphodynamics of the region make it possible to identify the most vulnerable areas, develop risk scenarios, and make sound recommendations for environmental management.

In addition, understanding the interrelationships between relief, geological structure, climatic conditions and human activity allows us to move from fragmented responses to the consequences of natural disasters to their long-term prevention. In this regard, it is particularly important to develop programs for sustainable water use, protection of soil resources, restoration of degraded landscapes and improvement of the territorial planning system taking into account geocological risks.

References

1. Kruzhalin V.I. “Jekologicheskaja geomorfologija sushi [Ecological geomorphology of land].” M-Nauchnyj mir, (2001): 175- (In Russian)
2. Makarova N.V. “Geomorfologija: uchebnoe posobie [Geomorphology: a textbook].” M-KDU, no 2 (2009): 414- (In Russian)
3. “K geomorfologii melkosopohnika Kazahskoj stepi [On the geomorphology of the small grassland of the Kazakh steppe].” KazFAN SSSR- Ser.geol.:193- (In Russian)
4. Bogdanov A.A., Zhuravlev D.Ja. “Struktura fundamenta platformnyh oblastej SSSR [The structure of the foundation of the platform regions of the USSR].” M.- Nauka, (1974): 35- (In Russian)
5. Svarichevskaja Z.A. “Geomorfologija Kazahstana i Srednej Azii [Geomorphology of Kazakhstan and Central Asia].” Leningrad, (2001)- (In Russian)
6. Voskresenskij S.S. “Geomorfologija SSSR [Geomorphology of the USSR].” Moskva- Vysshaya shkola, (1968): 163- (In Russian)
7. “Inzhenernaja geologija SSSR. Ural, Tajmyr, Kazahskaja strana [Engineering Geology of the USSR. Ural, Taimyr, Kazakh country].” Moskva-Nedra, (1999): 314- (In Russian)
8. Kozhakhmetova U.K. “Rol’ granitoidov v morfologii rel’yefa Tsentral’nogo Kazahstana [The role of granitoids in the morphology of the relief of Central Kazakhstan].” Almaty-KazNU, Materialy no 5 (2009): 60- (In Russian)
9. Kassin N.G. “Materialy po paleogeografii Kazahstana [Materials on the paleogeography of Kazakhstan].” Alma-Ata, (2001): 219- (In Russian)

10. Dzhanaleyeva K.K. “Fizicheskaya geografiya Kazakhstana [Physical geography of Kazakhstan].” Almaty-Kazak Universiteti, (2010):222- (In Russian)
11. “Geologiya SSSR. Tsentral’nyy Kazakhstan [Geology of the USSR. Central Kazakhstan].” Moskva, (1972): 361- (In Russian)
12. Pozdnyakov A.V. “Geomorfodinamika v sodержanii i formakh proyavleniya. Geomorfologiya [Geomorphodynamics in the content and forms of manifestation. Geomorphology].” no 1 (2005): 3021- (In Russian)
13. Pozdnyakov A.V. Synergetics of geosystems. Tomsk: Tomsk State University, (2005): 190
14. Berlyant A.M. “Kartografiya: ucheb. dlya vuzov [Cartography: textbook. for universities].” Moskva-Aspekt Press, (2002): 336- (In Russian)
15. Akiyanova F., Yegemberdiyeva K., Temirbayeva R., Lyy Yu., Zinabdin N., Bekkulyeva A., Valeyev A., Kitapbayev A. Geographical basis of improvement of the population settlement system of Kazakhstan. The 33rd International Geographical Congress, 21-25 August 2016, Beijing, China. (2016): 3961
16. Eisfelder, C., Klein, I., Bekkulyeva, A., Kuenzer, C., Buchroithner, M.F., Dech, S. Above-ground biomass estimation based on NPP time-series – A novel approach for biomass estimation in semi-arid Kazakhstan. *Ecological Indicators*, 72, (2017):22 <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.042>
17. Akiyanova F.Zh., Yegemberdiyeva K.B., Abitbayeva A.D., Temirbayeva R.K. Problems of desertification of the territory of Kazakhstan: Status and forecast // *Life Science Journal.*, Vol. 11. – Iss.10s., (2014): 345
18. Akiyanova F.Zh., Temirbayeva R.K., Bekkulyeva A.A. Functional zoning of the Kazakhstan’s part of the Caspian sea shore for optimization of nature management // *Life Science Journal.* – Vol.11. – Iss.10s., (2014): 470
19. O.Slaymaker, T.Spencer, C. Embleton-Hamann, Recasting geomorphology as a landscape science, *Geomorphology*, Volume 384, (2021),107723, ISSN 0169-555X, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107723>
20. Ben-Dor, E., Levin, N., Singer, A., Karnieli, A., Braun, O., & Kidron, G. J. Quantitative mapping of the soil rubification process on sand dunes using an airborne hyperspectral sensor, (2006)
21. Kirwin D.J., Wilson C.C., Turmagnai D., Wolfe R. Exploration history, geology and mineralization of the Kharmagtai gold-copper porphyry district, Shouh Gobi region, Mongolia // *Geodynamics and metallogeny of Mongolia with a special emphasis on copper and gold deposits.* – London: CERCAMS (2005): 191
22. Toxanbayeva, S.T., Ramazanova, N.E., Tusupbekov, Zh.A. “Ocenka erozii pochv po modeli «Rusle» [Assessment of soil erosion using the Rusle model]” *Vestnik KazNU. Seriya Geograficheskaya. Tom 61, no. 2* (2021): 108-119 p. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2021.v61.i2.10>
23. Toxanbayeva, S.T., Ramazanova, N.E., Tusupbekov, Zh.A. “Ekogeomorfogenez basseyna reki Nura v usloviyakh izmeneniya klimata i antropogennogo vozdeystviya [Ecogeomorphogenesis of the Nura river basin under conditions of changing climate and anthropogenic impact]” *Eurasian Journal of Ecology* 68 no. 3 (2021): 28-41. <https://doi.org/10.26577/EJE.2021.v68.i3.04>
24. Seltmann R., Porter T.M. The porphyry Cu-Au/Mo deposits of Central Eurasia: 1. Tectonic, geologic and metallogenic setting and significant deposits // *Super porphyry copper and gold deposits: a global perspective.* – Vol. 2. – PGC Publishing, (2005): 512
25. Anderson, M., 2007. Introducing groundwater physics. *Physics Today* May, (2007)
26. Gosse, J. C., and Phillips, F. M. Terrestrial in situ cosmogenic nuclides: theory and application: *Quaternary Science Reviews*- v. 20, (2001): 560.
27. Granger, D. E., and Muzikar, P. Dating sediment burial with cosmogenic nuclides: Theory, techniques, and limitations, *Earth and Planetary Science Letters*, v. 188, no. 1-2, (2001): 281

Information about authors:

Toxanbayeva Sabina Tursynovna – PhD, Acting Associate Professor of the Department physical and economic geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University (e-mail: sabina.toksanbaeva@mail.ru).

Akzhigali Akerke Adilgazykyzy – Bachelor of Science in the educational program «6B05209 – Geography» at the Department of Physical and Economic Geography, L.N. Gumilyov Eurasian National University (e-mail: akaz24092003@gmail.com).

Ramazanova Nurgul Yesenovna – PhD, Acting Professor of the Department physical and economic geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University (e-mail: nurgulram@gmail.com).

Alagudzhaeva Manira Amangeldievna – PhD, Acting Associate Professor of the Department physical and economic geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University (e-mail: alagujayeva_ma@enu.kz)

Ayapbekova Aliya Eskermesovna — Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer of the Department physical and economic geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University (e-mail: ayapbekova_ae@enu.kz)

Karagoishin Zhaskhaiyr Muhangalievich – Candidate of Biological sciences, Acting Associate Professor of the Department physical and economic geography of L.N. Gumilyov Eurasian National University (e-mail: k.zhashaiyr@mail.ru)

Авторлар туралы мәлімет:

Токсанбаева Сабина Турсыновна – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының доцент м.а. (e-mail: sabina.toksanbaeva@mail.ru).

Ажигали Акерке Әділғазықызы – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасы «6В05209 – География» білім беру бағдарламасы бойынша ғылым бакалавры (e-mail: akaz24092003@gmail.com).

Рамазанова Нургуль Есеновна – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының қауымдастырылған профессор м.а. (e-mail: nurgulram@gmail.com).

Алағуджаева Манира Амангельдиевна – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының доцент м.а. (e-mail: alagujayeva_ma@enu.kz)

Аяпбекова Алия Ескермесовна – география ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының аға оқытушы (e-mail: ayarbekova_ae@enu.kz)

Қарагойшин Жасхайыр Мұханғалиұлы – биология ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің физикалық және экономикалық география кафедрасының доценті (e-mail: k.zhashaiyr@mail.ru)

Сведения об авторах:

Токсанбаева Сабина Турсыновна – PhD, и. о. доцента кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан, e-mail: sabina.toksanbaeva@mail.ru).

Ажигали Акерке Адилгазықызы – бакалавр естествознания по образовательной программе «6В05209-География» кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева (e-mail: akaz24092003@gmail.com).

Рамазанова Нургуль Есеновна – PhD, и. о. профессора кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева (e-mail: nurgulram@gmail.com).

Алағуджаева Манира Амангельдиевна — PhD, и.о. доцента кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева (e-mail: alagujayeva_ma@enu.kz)

Аяпбекова Алия Ескермесовна — кандидат географических наук, кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева (e-mail: ayarbekova_ae@enu.kz)

Қарагойшин Жасхайыр Муханғалиевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры физической и экономической географии Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева (e-mail: k.zhashaiyr@mail.ru)

Поступила 23 сентября 2025 года

Принята 25 декабря 2025 года

2-бөлім
**ҚОРШАҒАН ОРТА ЛАСТАУШЫЛАРЫНЫҢ
БИОТАҒА ЖӘНЕ ТҮРҒЫНДАР
ДЕНСАУЛЫҒЫНА ӘСЕРІН БАҒАЛАУ**

Section 2
**ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL
POLLUTION ON BIOTA AND HEALTH**

Раздел 2
**ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ
ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
НА БИОТУ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ**

A. Zhanbyrbayeva* , Z. Yessimsiitova , I. Zharkova ,
M. Aitzhan , G. Yestemirova , S. Nurtazin 

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: ainur.kairgalievna@mail.ru

IMPACT OF POLLUTANTS ON THE GILL APPARATUS OF FISH IN THE ILI-BALKHASH BASIN

The article was written as part of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan's project AP 23486220, titled "Study of the important organ systems reactivity in the main commercial fish species of the Ile-Balkhash basin under anthropogenic load." (2024-2026). The ecological condition of the Ili-Balkhash Basin raises serious concerns due to increasing anthropogenic pressure, accompanied by the influx of heavy metals, pesticides, and other organic pollutants into water bodies. Fish gills, as a highly sensitive organ of external respiration, serve as a reliable bioindicator of water toxicity. As part of this study, morphological and histological analyses of the gill apparatus were conducted on three commercially important fish species – *Cyprinus carpio*, *Abramis brama*, and *Sander lucioperca* – caught in different areas of the Ili-Balkhash Basin. In fish inhabiting zones with elevated pollutant concentrations, pronounced pathological changes in gill tissue were observed, including epithelial hyperplasia, lamellar fusion, destruction of the capillary network, and inflammatory infiltration. The severity of these alterations correlated with the level of aquatic pollution. *Cyprinus carpio* demonstrated the highest sensitivity to pollutants, whereas *Sander lucioperca* showed relative resistance. The findings indicate a significant impact of waterborne pollutants on the morphofunctional condition of the gill apparatus, and consequently, on the viability and productivity of fish populations. These results highlight the urgent need for regular ecological monitoring and the implementation of protective measures to preserve the aquatic ecosystem of the Ili-Balkhash Basin, safeguard biodiversity, and ensure sustainable fisheries.

Keywords: Ili-Balkhash Basin, aquatic pollutants, gill pathologies, *Cyprinus carpio*, *Abramis brama*, *Sander lucioperca*, histomorphology.

А.К. Жанбырбаева*, З.Б. Есимсиитова, И.М. Жаркова,
М.У. Айтжан, Г.Ә. Естемірова, С.Т. Нуртазин

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: ainur.kairgalievna@mail.ru

Іле-Балқаш бассейніндегі балықтардың желбезек аппаратына ластағыш заттардың әсері

Мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің AP23486220 «Антропогендік жүктеме жағдайында Іле-Балқаш бассейнінің негізгі кәсіпшілік балық түрлерінің маңызды орган жүйелерінің реактивтілігін зерттеу» жобасы (2024-2026 жж.) аясында жазылған. Іле-Балқаш бассейнінің экологиялық жағдайы антропогендік әсердің күшеюіне, соның ішінде ауыр металдардың, пестицидтердің және басқа да органикалық ластағыштардың су айдындарына түсуіне байланысты айтарлықтай алаңдаушылық тудырады. Балықтың желбезектері, сыртқы тыныс алудың өте сезімтал мүшесі ретінде, судың улылығының сенімді биоиндикаторы. Осы зерттеу аясында Іле-Балқаш бассейнінің әртүрлі аймақтарында ауланған үш кәсіптік балық түрінің – *Cyprinus carpio*, *Abramis brama* және *Sander lucioperca* желбезек аппаратына морфологиялық және гистологиялық талдау жүргізілді. Ластаушы заттардың концентрациясы жоғары аймақтарда мекендеген балықтарда эпителий гиперплазиясы, желбезек жапырақшаларының бірігуі, капиллярлық желінің бұзылуы және қабыну инфильтрациясы түріндегі желбезек тінінің айқын патологиялық өзгерістері тіркелді. Бұзылулардың айқындығы су ортасының ластану деңгейімен өзара байланысты болды. Ластаушы заттарға ең жоғары сезімталдықты *S. carpio* көрсетсе, ал *S. lucioperca* салыстырмалы түрде тұрақтылық танытты. Алынған деректер су ластағыштарының желбезек аппаратының морфофункционалдық жағдайына, тиісінше, балық популяцияларының тіршілік қабілеттілігі мен өнімділігіне айтарлықтай әсер ететінін көрсетеді. Нәтижелер биоәртүрлілікті сақтау және тұрақты балық аулауды қамтамасыз ету үшін Іле-Балқаш

экожүйесін үнемі экологиялық бақылаудың және қорғау шараларын қабылдаудың қажеттілігін айқындайды.

Түйін сөздер: Іле-Балқаш бассейні, ластағыштар, желбезек патологиялары, *Cyprinus carpio*, *Abramis brama*, *Sander lucioperca*, гистоморфология.

А.К. Жанбырбаева*, З.Б. Есимсиитова, И.М. Жаркова,
М.У. Айтжан, Г.А. Естемірова, С.Т. Нуртазин

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

*e-mail: ainur.kairgalievna@mail.ru

Влияние поллютантов на жаберный аппарат рыб Или-Балхашского бассейна

Статья написана в рамках проекта Министерства науки и высшего образования РК АР23486220 «Изучение реактивности важнейших систем органов основных промысловых видов рыб Или-Балхашского бассейна в условиях антропогенной нагрузки» (2024–2026 годы). Экологическое состояние Или-Балхашского бассейна вызывает серьёзную обеспокоенность в связи с нарастающим антропогенным воздействием, сопровождающимся поступлением в водоёмы тяжёлых металлов, пестицидов и других органических загрязнителей. Жабры рыб, как высокочувствительный орган внешнего дыхания, являются надёжным биоиндикатором водной токсичности. В рамках данного исследования проведён морфологический и гистологический анализ жаберного аппарата у трёх промысловых видов рыб – *Cyprinus carpio*, *Abramis brama* и *Sander lucioperca*, выловленных в различных участках Или-Балхашского бассейна. У рыб, обитавших в зонах с повышенной концентрацией поллютантов, зафиксированы выраженные патологические изменения жаберной ткани в виде гиперплазии эпителия, слияние лепестков, деструкции капиллярной сети и воспалительной инфильтрации. Выраженность нарушений коррелировала с уровнем загрязнения водной среды. Наибольшую чувствительность к поллютантам продемонстрировал *C. carpio*, тогда как *S. lucioperca* проявил относительную устойчивость. Полученные данные свидетельствуют о значительном влиянии водных загрязнителей на морфофункциональное состояние жаберного аппарата и, соответственно, на жизнеспособность и продуктивность рыбных популяций. Результаты подчёркивают необходимость регулярного экологического мониторинга и принятия мер по охране водной экосистемы Или-Балхашского бассейна для сохранения биоразнообразия и обеспечения устойчивого рыболовства.

Ключевые слова: Или-Балхашский бассейн, водные поллютанты, патология жабр, *Cyprinus carpio*, *Abramis brama*, *Sander lucioperca*, гистоморфология.

Introduction

The Ili-Balkhash Basin represents one of the largest aquatic ecosystems in Kazakhstan, serving as a critical determinant in sustaining regional biodiversity, securing freshwater supply for human populations, and underpinning the development of commercial fisheries [1-3]. In recent decades, the aquatic ecosystems of the basin have been subjected to a steadily increasing anthropogenic pressure, driven by intensive industrial, agricultural, and municipal activities. This has resulted in the influx of a wide spectrum of pollutants into the aquatic environment, including heavy metals, petroleum hydrocarbons, pesticides, and other xenobiotics, which are capable of inducing severe morphofunctional impairments in aquatic organisms [4]. The results of studies on the content and distribution of heavy metals in the tissues and organs of fish inhabiting Lake Balkhash indicate that zinc is among the primary bioaccumulators in fish organisms, with a tendency

for preferential accumulation in the liver and gills. These organs are particularly vulnerable to toxicant exposure due to their physiological activity. The extent of accumulation is determined by the degree of environmental contamination, the trophic type of fish, the chemical properties of the metals, and their migratory potential. Variations in accumulation patterns reflect adaptive mechanisms and the relative resistance of different species to pollutant exposure, which is of particular importance for assessing the status of fish resources and for developing conservation strategies for the aquatic ecosystem of the Ili-Balkhash region [5, 6]. According to the chemical analysis of surface waters, several sites demonstrated concentrations of heavy metals exceeding the maximum permissible limits established for fisheries water bodies [7]. Histological investigations conducted by the authors revealed pronounced destructive alterations in the organs of fish inhabiting the most contaminated locations. These alterations included degenerative and dystrophic processes in

the gills, liver, and kidneys, indicating a high toxic burden on aquatic organisms [8]. Of particular concern is the impact of pollution on key commercial fish species of the Ili-Balkhash Basin, such as *Cyprinus carpio*, *Abramis brama*, and *Sander lucioperca*, which play a crucial role in the fisheries sector and regional food security [9]. The gill apparatus, being in direct contact with the aquatic environment, not only performs gas exchange but also participates in ion regulation, osmoregulation, and excretion, making it one of the most sensitive indicators of xenobiotic exposure in aquatic ecosystems [10].

The results of numerous studies indicate that exposure to toxic substances in fish may lead to morphofunctional alterations of the gill epithelium, including hyperplasia, lamellar fusion, disruption of the capillary network, and inflammatory responses [11-13]. Nevertheless, data regarding the extent and specificity of such alterations in commercially important fish species of the Ili-Balkhash Basin remain limited, fragmented, and insufficient to provide a comprehensive understanding of pollutant impacts at the ecosystem level.

Given the current level of anthropogenic pressure on the Ili River and Lake Balkhash, there is an urgent need for integrated morphofunctional and histopathological investigations of the gill apparatus in the most ecologically and economically significant fish species. Such studies not only provide an objective assessment of the toxic effects of aquatic pollutants but also form the basis for developing bioindicator criteria within ecological monitoring frameworks. The findings may be applied to the formulation of conservation strategies, the restoration of commercially valuable fish populations, and the sustainable management of fisheries resources in the region.

The aim of the present study was to perform a comparative analysis of morphological and histopathological alterations in the gill apparatus of the major commercial fish species *Cyprinus carpio*, *Abramis brama*, and *Sander lucioperca* under the influence of aquatic pollutants in the Ili-Balkhash Basin. The study further sought to assess the species-specific sensitivity of these fish to water contamination, with the ultimate goal of applying the obtained data in bioindication systems for evaluating the ecological status of aquatic ecosystems in the region.

Materials and methods

Field and laboratory studies were conducted in 2024 in various parts of the Ili-Balkhash basin, which are characterized by different levels of anthropogenic impact. The research objects were three commercial fish species: *Cyprinus carpio*, *Abramis brama*, and *Sander lucioperca*. The fish were caught using nets according to standard methods and then underwent biometric processing. For histological analysis, gill arches were removed, fixed in 10% neutral formalin, and embedded in paraffin. Serial sections were stained with hematoxylin and eosin for subsequent microscopic examination.

Concurrently with the collection of biological material, surface water samples were taken to assess the level of pollution. The water samples were analyzed for heavy metal content using atomic absorption spectrometry. All obtained data were statistically processed, including the use of the Student's t-test to evaluate the significance of differences between groups. The results are presented as the mean value with the standard deviation.

Results and discussion

Morphological and histological analysis of the gill apparatus of *Cyprinus carpio* collected from different sites of the Ili-Balkhash Basin revealed significant differences between specimens from polluted and conditionally clean (control) areas. Fish inhabiting water bodies with elevated concentrations of contaminants exhibited pronounced pathological alterations in gill structure, whereas individuals from control sites showed either no abnormalities or only minor deviations. At the histological level, specimens from polluted areas demonstrated hyperplasia of the primary gill epithelium in the region of the gill lamellae, accompanied by destruction of the secondary epithelium, indicative of a compensatory tissue response to chronic toxicant exposure (Fig. 1). Additionally, edematous changes were observed in both primary and secondary epithelial layers, pointing to disrupted osmotic balance and increased vascular wall permeability.

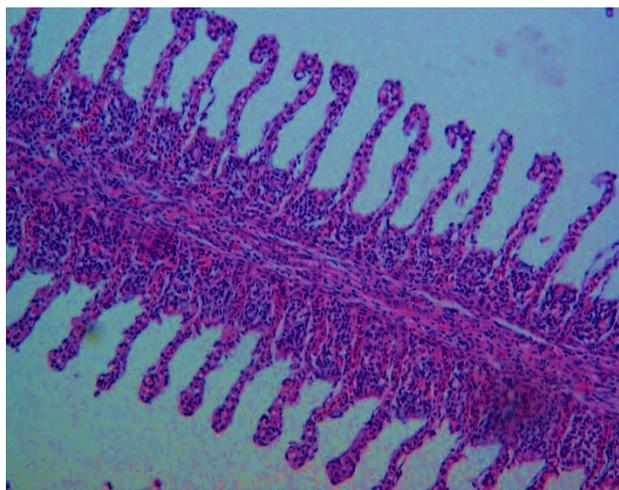


Figure 1 – Gills of *Cyprinus carpio*. Gill filament with arising lamellae. Edema of the primary and secondary epithelium, deformation of lamellae. Staining: hematoxylin and eosin, $\times 200$.

In several cases, pronounced destructive alterations of the gill lamellae were observed, including necrosis of the respiratory cells of the secondary epithelium, their subsequent desquamation, disintegration of the vascular layer with the formation of hemorrhages, as well as deformation of individual lamellae (Fig. 2).

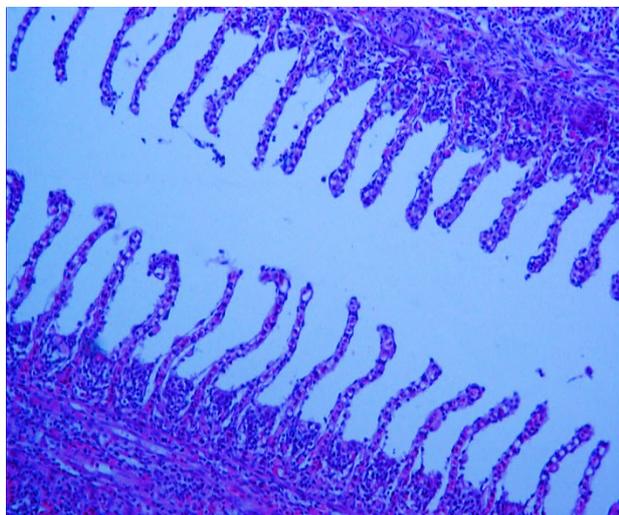


Figure 2 – Gills of *Cyprinus carpio*. Edema of the secondary epithelium, presence of mucous and rod-shaped cells in the lamellae. Staining: hematoxylin and eosin, $\times 200$.

The most severe lesions comprised hyperplasia of the secondary gill lamellar epithelium, fusion of gill filaments, subepithelial edema, and partial destruction

of the capillary network (Fig. 3). In some specimens, signs of necrosis and inflammatory infiltration were detected, indicating chronic inflammation and an immune response to the presence of toxic substances. Concentrations of heavy metals (Zn, Cu, Pb) in the studied water bodies exceeded the maximum permissible levels by 2–3 times, which is likely the main factor underlying the observed alterations.

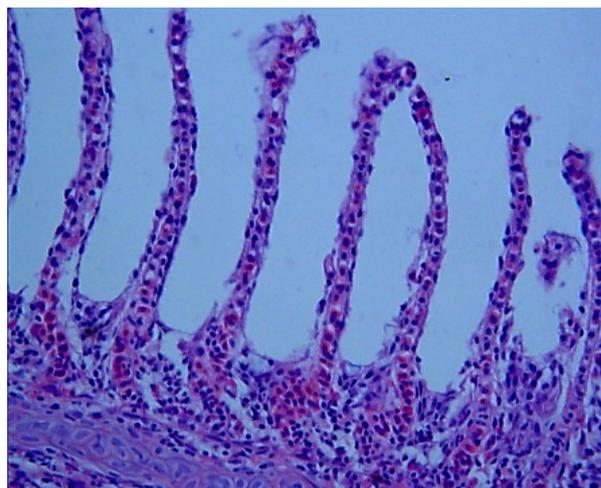


Figure 3 – Gills of *Cyprinus carpio*. Necrosis of respiratory cells of the secondary epithelium, hyperplasia of the primary epithelium. Staining: hematoxylin and eosin, $\times 400$.

Thus, the results of the study demonstrate the high sensitivity of the gill apparatus of *Cyprinus carpio* to anthropogenic pollution of the aquatic environment, particularly to the action of heavy metals. Morphological and histological changes in the gills impair their respiratory and osmoregulatory functions, thereby reducing the overall resistance of the organism to external stressors. The findings confirm that gills, as organs directly interacting with the environment, can be considered reliable bioindicators of the ecological status of aquatic habitats. These data highlight the need for regular environmental monitoring and the implementation of measures aimed at reducing pollution levels in freshwater ecosystems.

In the gills of the examined *Cyprinus carpio* specimens, pathomorphological changes reflecting both compensatory-adaptive and destructive processes were identified. The compensatory-adaptive responses were manifested by a marked increase in the number of mucous and rod-shaped cells within the primary gill epithelium, as well as their occurrence in the lamellar epithelium.

The results of the analysis of heavy metal concentrations in water samples from different sites of the Ili-Balkhash Basin (mg/dm^3) are presented in Table 1, which shows the mean concentrations of Zn, Cu, Pb, and Cd determined in samples collected from three sites characterized by varying levels of anthropogenic pressure: Site 1 – conditionally clean zone (low pollution), Site 2 – moderately polluted zone, and Site 3 – highly polluted zone.

The analysis indicates that at Site 1, the concentrations of all studied metals were within the permissible limits. At Site 2, exceedances of MPC were recorded for cadmium ($0.0015 \text{ mg}/\text{dm}^3$ at MPC 0.001), suggesting moderate pollution. The concentration of copper ($0.04 \text{ mg}/\text{dm}^3$) was within the permissible limits, but close to the MPC ($0.05 \text{ mg}/\text{dm}^3$). At Site

3, the concentrations of all metals, except copper, exceeded the regulatory limits: zinc ($0.35 \text{ mg}/\text{dm}^3$) exceeded MPC by 3.5 times, lead ($0.015 \text{ mg}/\text{dm}^3$) by 1.5 times, and cadmium ($0.003 \text{ mg}/\text{dm}^3$) by 3 times.

The data confirm a high level of heavy metal contamination in the aquatic environment at Site 3. The obtained results demonstrate considerable variability in the chemical composition of water across the basin, which was taken into account when assessing the ecological status of water bodies and the histopathological alterations in aquatic organisms. Exceedances of MPC values for zinc, cadmium, and lead in the most polluted zone were associated with pronounced histological impairments of the gill apparatus in the studied fish species, particularly in *Cyprinus carpio*.

Table 1 – Concentrations of heavy metals in water samples from various sites of the Ili-Balkhash Basin, mg/dm^3

Metal	Site 1 (low pollution)	Site 2 (moderate pollution)	Site 3 (high pollution)	MPC (mg/dm^3)
Zn	0.05	0.15	0.35	0.10
Cu	0.01	0.04	0.12	0.05
Pb	0.002	0.006	0.015	0.01
Cd	0.0005	0.0015	0.003	0.001

Morphological changes in the gills of *Abramis brama* inhabiting the zone of intense anthropogenic pollution were characterized by severe pathological alterations of gill structure (Fig. 4A, B). These included epithelial hyperplasia, fusion of gill lamellae,

intercellular edema, destruction of the epithelial layer, and the presence of inflammatory infiltrates. In certain areas, tissue necrosis and vascular changes were observed, indicating both destructive and adaptive responses.

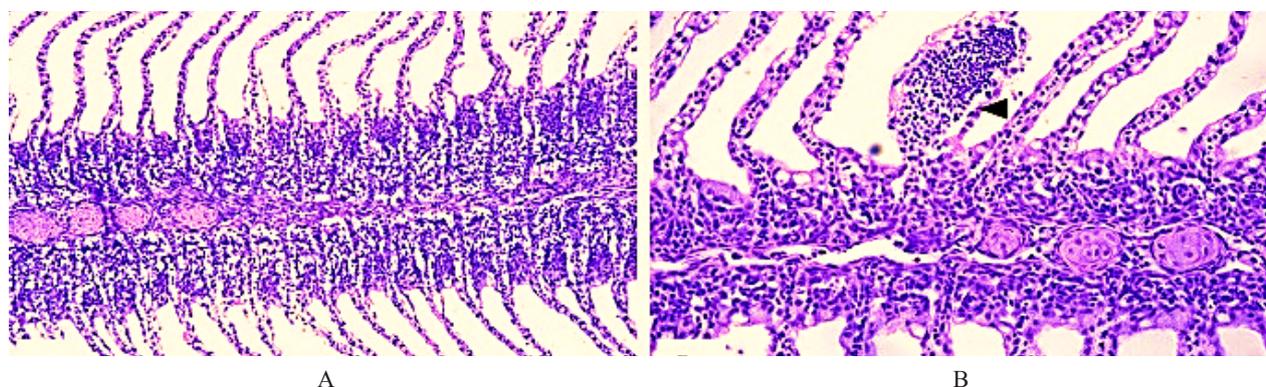


Figure 4 – Histopathological changes in the gills of *Abramis brama* from a highly polluted area. Staining: hematoxylin and eosin, A \times 100, B \times 200

The histological alterations observed in the gill apparatus of the studied fish species represent characteristic morphological manifestations of chronic exposure to toxicants and aquatic pollutants. These changes included hyperplasia, thickening of the epithelial layer, edema, vascular impairments, and inflammatory infiltration—typical indicators of disrupted tissue homeostasis under the influence of contaminants, particularly heavy metals. Pronounced histopathological changes in the gills were recorded, such as epithelial thickening, detachment, and localized necrotic foci. The damage was found to be less severe than in *Cyprinus carpio*, although still indicative of significant physiological stress. Such alterations may substantially reduce the efficiency of gas exchange, compromise the immune defense system, and diminish the adaptive potential of the species under deteriorating environmental conditions. This suggests a limited, yet present, resilience of *Abramis brama* to long-term pollutant exposure, which is important to consider in bioecological assessments of population status.

In contrast to the other species, *Sander lucioperca* demonstrated a higher resistance to pollutants. While its gill apparatus largely retained a well-organized structure, certain deviations from the norm were detected even at high levels of environmental contamination. These changes, indicating chronic toxic stress, included thickening of the secondary epithelium due to cell hyperplasia and hypertrophy, lamellar fusion, and epithelial lifting, as well as the formation of subepithelial edema and telangiectasia (vascular dilation). Signs of venous congestion and inflammatory infiltration were also observed,

and in severe cases, epithelial necrotic foci were recorded, indicative of irreversible tissue damage. These morphofunctional disorders show that even relatively tolerant species such as *Sander lucioperca* exhibit pathological responses under conditions of critical contamination. However, the severity of these changes was substantially lower compared to common carp and bream, confirming its relative resistance to pollutants and potential suitability for fisheries use under moderate ecological stress. The histopathology of the gill apparatus in pikeperch can thus serve as a reliable tool for biomonitoring aquatic ecosystem health and assessing water quality.

Overall, the degree of histopathological alterations in the gill apparatus of fish from different areas of the Ili-Balkhash Basin correlated directly with the level of heavy metal contamination in the aquatic environment. *Cyprinus carpio* proved to be the most sensitive species, exhibiting extensive and severe gill lesions, whereas *Abramis brama* displayed moderate resilience. *Sander lucioperca* showed the least pronounced pathological changes, indicating high ecological plasticity. These findings confirm that gills represent a reliable biomarker of aquatic ecosystem status and can be effectively employed in water quality biomonitoring. A comprehensive assessment of the morphofunctional state of gill epithelium not only enables the detection of contamination but also allows evaluation of its potential impact on the health and viability of aquatic organisms, while species-specific differences in sensitivity can be applied in aquaculture management and ecological assessment of aquatic habitats.

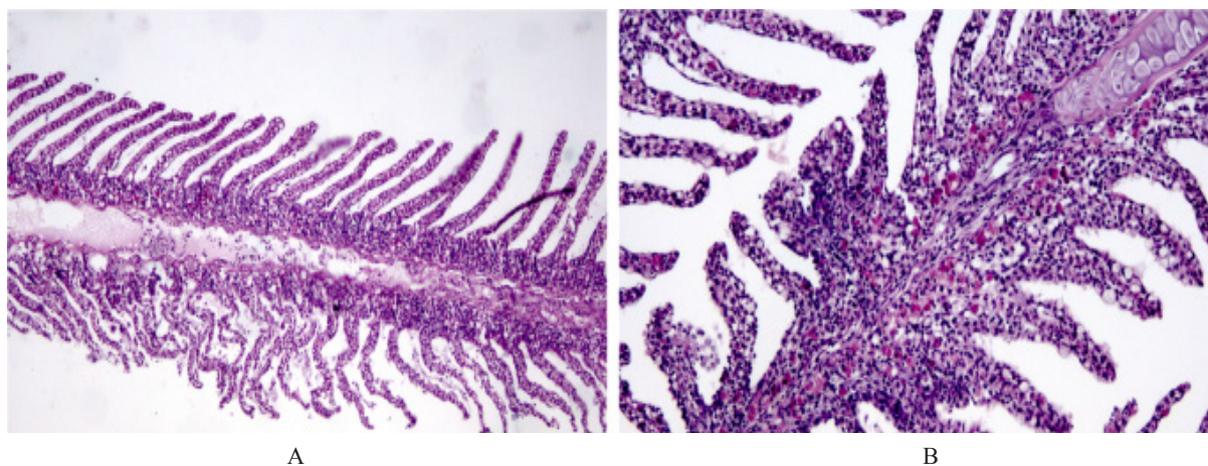


Figure 5 – Histopathological changes in the gills of *Sander lucioperca* from a highly polluted area. Staining: hematoxylin and eosin, A×100, B×200

It has been demonstrated that, compared with normal gill morphology, *Sander lucioperca* inhabiting polluted environments exhibited both compensatory and destructive alterations, indicative of prolonged toxic exposure and a decline in the overall physiological state of the organism. The gills of pikeperch showed pronounced morphofunctional disorders, including epithelial hyperplasia, hypertrophy, lifting, and necrosis, as well as vascular and inflammatory changes, reflecting the impact of aquatic toxicants. Relative to the norm, gill structure was markedly disrupted, leading to reduced functionality—primarily in respiratory and osmoregulatory processes—and increased susceptibility of the fish to external stressors. The coexistence of compensatory (hyperplasia) and destructive (necrosis, inflammation) changes points to the chronic nature of environmental contamination and the exceedance of the organism's adaptive thresholds under toxic pressure.

Gill histopathology can thus be regarded as a reliable biomarker of aquatic ecosystem health, while *Sander lucioperca* may serve as a sensitive indicator species in ecological monitoring. The findings highlight the necessity for strengthened environmental control and assessment of pollutant impacts

on aquatic biota in order to prevent degradation of natural resources and biodiversity.

The histological examination of the gill apparatus in three fish species—*Cyprinus carpio* (common carp), *Abramis brama* (bream), and *Sander lucioperca* (pikeperch)—from different sites of the Ili-Balkhash Basin revealed pronounced interspecific differences in the extent and nature of pathological alterations induced by aquatic pollution. In *Abramis brama*, pathological changes were also detected, though their severity was substantially lower compared to common carp. The principal histological features included hyperplasia and partial thickening of the epithelial layer of the gill lamellae, as well as focal epithelial lifting in certain areas of the secondary epithelium.

The differences in the nature and severity of histopathological alterations are determined by physiological and ecological characteristics, respiratory type, metabolic rate, feeding strategy, and detoxification capacity. The higher resilience of *Sander lucioperca* may be attributed to its predatory lifestyle and reduced duration of contact with benthic contaminants, in contrast to benthophagous species such as *Cyprinus carpio* and *Abramis brama*.

Table 2 – Comparative analysis of histopathological changes

Fish species	Main changes	Degree of severity	Resistance to pollutants
<i>Cyprinus carpio</i>	Hyperplasia, edema, necrosis, inflammation, hemorrhages	High	Low
<i>Abramis brama</i>	Epithelial thickening, cell detachment, single necrotic foci	Moderate	Medium
<i>Sander lucioperca</i>	Mild epithelial thickening, capillary constriction	Low	High

The obtained results are consistent with previous studies emphasizing that gills represent one of the most sensitive organs to aquatic pollutants and can be effectively employed as bioindicators of water quality. The most typical signs of lesion include multilayered epithelial hyperplasia, lymphocyte and macrophage infiltration, thickening of the lamellar structure, vascular component degradation, and focal necrosis. Such alterations reduce the surface area available for gas exchange and disrupt homeostasis, which in the long term may decrease population resilience.

Thus, a comprehensive histological assessment of the gills not only revealed the extent of water pollution but also enabled biomonitoring with consideration of species-specific sensitivity. *Sander lu-*

cioperca may be regarded as a promising species for aquaculture and commercial exploitation in regions with moderate contamination, whereas *Cyprinus carpio* can serve as a sensitive bioindicator signaling excessive ecological pressure.

Conclusion

Gills represent one of the most sensitive target organs to aquatic pollutants, as they perform vital respiratory, osmoregulatory, and barrier functions. Morphological and histopathological alterations occurred more rapidly in gills than in other organs, serving as early indicators of environmental degradation. The presence of both compensatory (e.g., hyperplasia, epithelial thickening) and destructive (e.g., necrosis,

inflammation, vascular disturbances) processes allowed assessment not only of the fact of pollution but also of its nature, duration, and toxicity.

A comparative analysis of three commercial fish species – *Cyprinus carpio*, *Abramis brama*, and *Sander lucioperca*—revealed distinct interspecific differences in the severity of pathological changes. Common carp exhibited the most pronounced alterations, confirming its high sensitivity and value as a bioindicator of pollution. Bream demonstrated moderate resilience and partial adaptive capacity, whereas pikeperch showed the greatest ecological plasticity, maintaining basic gill structure even under substantial anthropogenic pressure.

Thus, histological examination of the gill apparatus confirmed its reliability as a biomarker of water quality and highlighted the importance of species-specific approaches in biomonitoring and in the development of conservation strategies for aquatic ecosystems in the Ili-Balkhash region.

Key Findings

1. Fish gills are highly sensitive indicators of chronic exposure to aquatic pollutants, particularly heavy metals (Zn, Cu, Pb, Cd).

2. Pathological changes, including epithelial hyperplasia, inflammation, vascular impairments, and necrosis, can serve as reliable biomarkers of ecological status.

3. *Cyprinus carpio* proved to be the most sensitive species and can be used as an indicator of high levels of anthropogenic pollution.

4. *Abramis brama* demonstrated moderate resilience, while *Sander lucioperca* showed the least pronounced pathologies, reflecting its ecological plasticity and suitability for fisheries under moderate contamination.

5. Histopathological methods provide an objective assessment of tissue damage and represent an important tool for ecological monitoring.

6. Using gills as bioindicators enables early detection of anthropogenic impacts and supports the development of strategies for biodiversity conservation and sustainable ecosystem functioning in the Ili-Balkhash region.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

References

- 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. – Vol. 46, №2. – P. 267–276. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.01.008>
- de Boer T., Paltan H., Sternberg T., Wheeler K. Evaluating Vulnerability of Central Asian Water Resources under Uncertain Climate and Development Conditions: The Case of the Ili-Balkhash Basin // *Water*. – 2021. – Vol. 13. – P. 615. <https://doi.org/10.3390/w13050615>
- Abilkas A., Vorobjev I., Barteneva N. Determination of the heavy metals and arsenic in fish and water of Lake Balkhash, Kazakhstan // *Proceedings of 9th Environmental Scientists Meeting, 9–11 March 2020, Waco, Texas, USA*. – 2020.
- Nurtazin S., Pueppke S., Ospan T., Mukhitdinov A., Elebessov T. Quality of Drinking Water in the Balkhash District of Kazakhstan's Almaty Region // *Water*. – 2020. – Vol. 12, №2. – P. 392. <https://doi.org/10.3390/w12020392>
- Tlenshieva A., Uakhitqanova G., Kozhakhmetova D., Chekimbaeva D., Shalakhmetova T. Gistopatologicheskie i morfometricheskie izmeneniya v organakh belogo tolstolobika (*Hypophthalmichthys molitrix*) iz reki Ile i Kapshagayskogo vodokhranilishcha (Kazakhstan) [Histopathological and morphometric changes in organs of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) from the Ile River and Kapshagay Reservoir (Kazakhstan)] // *Eurasian Journal of Ecology*. – 2024. – Vol. 81, No. 4. – P. 4–14. <https://doi.org/10.26577/EJE.2024.v81.i4.a1> (In Russian)
- Tastan D.A., Duysen A., Sutueva L.R., Tlenshieva A., Konysbaev T., Shalakhmetova T.M. Gistopatologiya organov belogo amura (*Ctenopharyngodon idella*) iz reki Ile i Kapshagayskogo vodokhranilishcha [Histopathology of organs of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) from the Ile River and Kapshagay Reservoir] // *Eurasian Journal of Ecology*. – 2022. – Vol. 71, No. 2. – P. 57–69. <https://doi.org/10.26577/EJE.2022.v71.i2.06> (In Russian)
- Qulymbet Q.Q., Tastan D.A., Shalakhmetova T.M., Nurtazin S.T., Bekmann V. Biotestirovanie poverkhnostnykh vod i donnykh otlozhenii iz reki Ile i yugo-zapadnoi chasti ozera Balkash [Biotesting of surface waters and bottom sediments from the Ile River and the southwestern part of Lake Balkhash] // *Eurasian Journal of Ecology*. – 2019. – Vol. 57, No. 4. – P. 20–30. <https://bulletin-ecology.kaznu.kz/index.php/1-eco/article/view/949> (In Russian)
- Tlenshieva A. M., Witeska M., Shalakhmetova T. M. Genotoxic and histopathological effects of the Ili River (Kazakhstan) water pollution on the grass carp *Ctenopharyngodon idella* // *Environmental Pollutants and Bioavailability*. – 2022. – Vol. 34, №1. – P. 297–307. <https://doi.org/10.1080/26395940.2022.2101544>
- Pueppke S. G., Iklasov M. K., Beckmann V., Nurtazin S. T., Thevs N., Sharakhmetov S., Hoshino B. Challenges for Sustainable Use of the Fish Resources from Lake Balkhash, a Fragile Lake in an Arid Ecosystem // *Sustainability*. – 2018. – Vol. 10, №4. – P. 1234. <https://doi.org/10.3390/su10041234>

10. Evans D. H., Piermarini P. M., Choe K. P. The multifunctional fish gill: dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste // *Physiological Reviews*. – 2005. – Vol. 85, №1. – P. 97–177. <https://doi.org/10.1152/physrev.00050.2003>

11. Santos D. M. S., Melo M. R. S., Mendes D. C. S., Rocha I. K. B. S., Silva J. P. L., Cantanhêde S. M., Meletti P. C. Histological changes in gills of two fish species as indicators of water quality in Jansen Lagoon (São Luís, Maranhão State, Brazil) // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2014. – Vol. 11, №12. – P. 12927–12937. <https://doi.org/10.3390/ijerph111212927>

12. Macirella R., Brunelli E. Morphofunctional alterations in zebrafish (*Danio rerio*) gills after exposure to mercury chloride // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2017. – Vol. 18, №4. – P. 824. <https://doi.org/10.3390/ijms18040824>

13. Sayed A. E.-D. H., Mekkawy I. A., Mahmoud U. M., Nagiub M. Histopathological and histochemical effects of silver nanoparticles on the gills and muscles of African catfish (*Clarias fariasii*) // *Scientific African*. – 2020. – Vol. 7. – P. e00230. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00230>

Литература

1. 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. – Vol. 46, №2. – P. 267–276. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.01.008>

2. de Boer T., Paltan H., Sternberg T., Wheeler K. Evaluating Vulnerability of Central Asian Water Resources under Uncertain Climate and Development Conditions: The Case of the Ili-Balkhash Basin // *Water*. – 2021. – Vol. 13. – P. 615. <https://doi.org/10.3390/w13050615>

3. Abilkas A., Vorobjev I., Barteneva N. Determination of the heavy metals and arsenic in fish and water of Lake Balkhash, Kazakhstan // *Proceedings of 9th Environmental Scientists Meeting, 9–11 March 2020, Waco, Texas, USA*. – 2020.

4. Nurtazin S., Pueppke S., Ospan T., Mukhitdinov A., Elebessov T. Quality of Drinking Water in the Balkhash District of Kazakhstan's Almaty Region // *Water*. – 2020. – Vol. 12, №2. – P. 392. <https://doi.org/10.3390/w12020392>

5. Тленшиева А., Уахитқанова Ф., Кожакметова Д., Чекимбаева Д., Шалахметова Т. Гистопатологические и морфометрические изменения в органах белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*) из реки Иле и Капшагайского водохранилища (Казахстан) // *Eurasian Journal of Ecology*. – 2024. – Т. 81, №4. – С. 4–14. <https://doi.org/10.26577/EJE.2024.v81.i4.a1>

6. Тастан Д. А., Дуйсен А., Сутуева Л. Р., Тленшиева А., Коньсбаев Т., Шалахметова Т. М. Гистопатология органов белого амура (*Stenopharyngodon idella*) из реки Иле и Капшагайского водохранилища // *Eurasian Journal of Ecology*. – 2022. – Т. 71, №2. – С. 57–69. <https://doi.org/10.26577/EJE.2022.v71.i2.06>

7. Құлымбет Қ. Қ., Тастан Д. А., Шалахметова Т. М., Нуртазин С. Т., Бекманн В. Биотестирование поверхностных вод и донных отложений из реки Иле и юго-западной части озера Балқаш // *Eurasian Journal of Ecology*. – 2019. – Т. 57, №4. – С. 20–30. <https://bulletin-ecology.kaznu.kz/index.php/1-eco/article/view/949>

8. Tlenshieva A. M., Witeska M., Shalakhmetova T. M. Genotoxic and histopathological effects of the Ili River (Kazakhstan) water pollution on the grass carp *Stenopharyngodon idella* // *Environmental Pollutants and Bioavailability*. – 2022. – Vol. 34, №1. – P. 297–307. <https://doi.org/10.1080/26395940.2022.2101544>

9. Pueppke S. G., Iklasov M. K., Beckmann V., Nurtazin S. T., Thevs N., Sharakhmetov S., Hoshino B. Challenges for Sustainable Use of the Fish Resources from Lake Balkhash, a Fragile Lake in an Arid Ecosystem // *Sustainability*. – 2018. – Vol. 10, №4. – P. 1234. <https://doi.org/10.3390/su10041234>

10. Evans D. H., Piermarini P. M., Choe K. P. The multifunctional fish gill: dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste // *Physiological Reviews*. – 2005. – Vol. 85, №1. – P. 97–177. <https://doi.org/10.1152/physrev.00050.2003>

11. Santos D. M. S., Melo M. R. S., Mendes D. C. S., Rocha I. K. B. S., Silva J. P. L., Cantanhêde S. M., Meletti P. C. Histological changes in gills of two fish species as indicators of water quality in Jansen Lagoon (São Luís, Maranhão State, Brazil) // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2014. – Vol. 11, №12. – P. 12927–12937. <https://doi.org/10.3390/ijerph111212927>

12. Macirella R., Brunelli E. Morphofunctional alterations in zebrafish (*Danio rerio*) gills after exposure to mercury chloride // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2017. – Vol. 18, №4. – P. 824. <https://doi.org/10.3390/ijms18040824>

13. Sayed A. E.-D. H., Mekkawy I. A., Mahmoud U. M., Nagiub M. Histopathological and histochemical effects of silver nanoparticles on the gills and muscles of African catfish (*Clarias fariasii*) // *Scientific African*. – 2020. – Vol. 7. – P. e00230. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00230>

Information about authors:

Zhanbyrbayeva Ainur – PhD Doctoral Student, Department of Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi Kazakh National University, LLP SPTC «Zhalyn», Chief Researcher (Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: ainur.kairgalievna@mail.ru).

Yessimsiitova Zura – Candidate of Biological Sciences, Professor, Department of Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: zura1958@bk.ru).

Zharkova Irina – Candidate of Biological Science, senior lecturer at the Department of Biodiversity and Bioresources of Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: irina.zharkova@kaznu.kz).

Aitzhan Mengtay – PhD, Senior Lecturer, Department of Fundamental Medicine, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: mentay1000@gmail.com).

Yestemirova Gulmira – PhD, Lecturer, Department of Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulfira.yestemirova@mail.ru).

Nurtazin Sabir – Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurtazin.sabir@gmail.com).

Авторлар туралы мәлімет:

Жанбырбаева Айнуір Кайргалиевна – биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының PhD-докторанты, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, (Алматы қ., Қазақстан Республикасы, ainur.kairgalievna@mail.ru).

Есімсиитова Зура Беркутовна – биология ғылымдарының кандидаты, биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, (Алматы қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: zura1958@bk.ru).

Жаркова Ирина Маратовна – биология ғылымдарының кандидаты, биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының аға оқытушысы, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, (Алматы қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: irina.zharkova@kaznu.kz).

Айтжан Меңтай Улдаханқызы – PhD, іргелі медицина кафедрасының аға оқытушысы, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, (Алматы қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: mentay1000@gmail.com).

Естемірова Гүлфира Әбдіқайымқызы – PhD, биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының оқытушысы, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, (Алматы қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: gulfira.yestemirova@mail.ru).

Нуртазин Сабыр Темирғалиевич – биология ғылымдарының докторы, биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: nurtazin.sabir@gmail.com).

Сведения об авторах:

Жанбырбаева Айнуір Кайргалиевна (корреспондентный автор) – PhD-докторант кафедры биоразнообразия и биоресурсов, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: ainur.kairgalievna@mail.ru).

Есімсиитова Зура Беркутовна – кандидат биологических наук, профессор кафедры биоразнообразия и биоресурсов, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: zura1958@bk.ru).

Жаркова Ирина Маратовна – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры биоразнообразия и биоресурсов, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: irina.zharkova@kaznu.kz).

Айтжан Меңтай Улдаханқызы – PhD, старший преподаватель кафедры фундаментальной медицины, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: mentay1000@gmail.com).

Естемірова Гүлфира Әбдіқайымқызы – PhD, преподаватель кафедры биоразнообразия и биоресурсов, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: gulfira.yestemirova@mail.ru).

Нуртазин Сабыр Темирғалиевич – доктор биологических наук, профессор кафедры биоразнообразия и биоресурсов, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: nurtazin.sabir@gmail.com).

Поступила 23 сентября 2025 года

Принята 25 декабря 2025 года

IRSTI 87.19.03

<https://doi.org/10.26577/EJE2025857>**M.A. Suvorova**^{1*}, **G.K. Yerubayeva**², **A.A. Ergeshov**²¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan²Turan University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: masyanskii@gmail.com

THE FIRST-LINE ASSESSMENT OF TOXIC POTENTIAL OF HIGH-ALTITUDE WATER SOURCES OF ILE ALATAU GORGES (Northern Tien Shan, Kazakhstan) USING ACUTE *D.MAGNA* TOXICITY TEST

The ecotoxicological evaluation of Ile Alatau headwaters is extremely important for South-East Kazakhstan as mountain cryosphere provide gross of water sources that supply Almaty agglomeration and surrounding industrial and agricultural areas of Almaty region. In the current study, the toxic potential of surface water of two gorges, namely Kuygensay gorge located directly above Almaty city and referenced Orta Turgen gorge, including moraine lakes, alpine lake, springs and main current at altitudes 2400 – 3500 m above sea level, was assessed by acute *D.magna* toxicity test according to OECD guideline. No significant toxicity was shown for water samples from Orta Turgen high-altitude tributaries and alpine lakes, whereas Titov moraine lake (the very source of Kuygensay river), main current and tributary spring of river Kuygensay demonstrated significant toxicity toward young daphnids in acute tests. The indexation based on *D.magna* immobilization/mortality data scoring, showed that headwaters of river Kuygensay are considered to meet “moderately toxic” to “toxic” class of toxicity, and Almaty agglomeration is probably the main source of pollution. These data provide opportunity to further investigation on pollution of glaciers and high-altitude water resources of Ile Alatau mountain range.

Keywords: high-altitude water sources, *D.magna*, bioassay, toxicity assessment, Ile Alatau.

M.A. Суворова^{1*}, Г.К. Ерубайева², А.А. Эргешов²¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан²Тұран Университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: masyanskii@gmail.com

Іле Алатауының (Солтүстік Тянь-Шань, Қазақстан) шатқалдарындағы биік таулы көздердің суларының уыттылық әлеуетін *D. magna*-ға арналған жедел уыттылық сынағы арқылы бастапқы бағалау

Таулы криосфера – Алматы агломерациясының және Алматы облысының ауылшаруашылық, өнеркәсіптік аумақтарының басты су көзі. Осыған орай, Іле Алатауының биік таулы аймақтарын экотоксикологиялық тұрғыдан бағалаудың Қазақстанның Оңтүстік-Шығысы үшін маңызы зор. Осы зерттеуде ЕҚЫҰ ұсынған *D.magna*-ға арналған жедел уыттылық тесті Алматы қаласынан жоғары орналасқан Күйгенсай шатқалы мен салыстырмалы Орта Түрген шатқалының беткі суларының уыттық әлеуетін бағалау мақсатында пайдаланылды. Зерттеуге теңіз деңгейінен 2400-3500 м биіктіктегі мореналық көлдер, биік тау көлдері, бұлақтар және өзендердің негізгі арналары енгізілді. Орта Түргеннің биік таулы көлдері мен салаларынан алынған су сынақтарын зерттеу кезінде айтарлықтай уытты әсер байқалмады, ал Титов мореналық көлінен (Күйгенсай өзенінің бастауы), Күйгенсай өзенінің негізгі ағысынан және оның биік таулы бұлақ-саласынан алынған сынақтар жас дафнияларға статистикалық тұрғыдан расталған жедел уытты әсер етті. *D.magna*-ның имобилизациясы/өлімі деректері бойынша индекстеу Күйгенсай өзенінің бастауын «орташа уытты» және «уытты» деп сипатталатын уыттылық класына жатқызады. Осыған орай, Алматы агломерациясын биік таулы аймақтарды ластаушы негізгі көз деп санауға негіз бар. Бұл мәліметтер Іле Алатауы тау сілеміндегі мұздықтар мен биік таулы су ресурстарының ластану саласындағы зерттеулерді жалғастыруға жол ашады.

Түйін сөздер: биік таулы су көздері, биотестілеу, *D.magna*, уыттылықты бағалау, Іле Алатау.

M.A. Суворова^{1*}, Г.К. Ерубаетова², А.А. Эргешов²¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан²Университет Туран, Алматы, Казахстан

*e-mail: masyanskii@gmail.com

**Первичная оценка токсического потенциала вод
высокогорных источников ущелий Иле Алатау (Северный Тянь-Шань, Казахстан)
с использованием теста на острую токсичность для *D.magna***

Горная криосфера является главным источником водных ресурсов для Алматинской агломерации, сельскохозяйственных и промышленных территорий Алматинской области, вследствие этого экотоксикологическая оценка высокогорий Иле Алатау для Юго-Востока Казахстана крайне важна. В настоящем исследовании тест на острую токсичность вод для *D.magna*, рекомендованный ОБСЕ, был применен для оценки токсического потенциала поверхностных вод двух ущелий, Кюйгенсай, расположенного над г. Алматы, и референсного ущелья Орта Тургень, включая моренные и высокогорные озера, родники и основное течение рек на высотах 2400–3500 м над уровнем моря. При исследовании образцов воды из высокогорных озер и притоков Орта Тургень не было отмечено значительного токсического эффекта, в то время как образцы из мореного озера Титова (исток р. Кюйгенсай), основного течения р. Кюйгенсай и ее высокогорного притока-родника оказывали статистически достоверное острое токсическое действие в отношении молодых дафнид. Индексация на основе данных по иммобилизации/смертности для *D.magna* показала, что верховья реки Кюйгенсай соответствуют классу токсичности «умеренно токсичные» и «токсичные», при этом Алматинскую агломерацию можно рассматривать как основную источник загрязнения высокогорий. Полученные данные открывают возможности для дальнейших исследований в области загрязнения ледников и высокогорных водных ресурсов горного хребта Иле Алатау.

Ключевые слова: высокогорные водные источники, биотестирование, *D.magna*, оценка токсичности, Иле Алатау.

Introduction

Water pollution is currently one of the most important environmental concerns facing the world. The importance of water quality reflects a basic need for clean water for human consumption and health of aquatic and terrestrial ecosystems, as specified by the UN SDG “Clean water and sanitation for all” [1]. The issue of water resources is one of the most relevant for Central Asia especially rich with arid and semiarid areas, where water resources are limited. All Central Asian rivers are nourished by the mountain cryosphere, their headwaters are diverse and located in the glacierized mountains of the Tien Shan, Pamir and Hindu Kush. Thus, this region strongly depends on water provision from the mountains and on glacier melt. The mountain ranges of the Northern Tien Shan, namely Trans-Ili Alatau, Dzungarian (Zhetysu) Alatau and Kungey Alatau, provide the glacierized catchments for multiple rivers that feed all South-Eastern Kazakhstan and terminally take part in Balkhash-Alakol basin. It is evidenced that remote alpine ecosystems couldn't be further considered as being free from chemical pollution: long-range atmospheric transport of pollutants from industrialized and/or urbanized areas leads to the precipitation and accumulation of potentially hazardous substances in mountain

cryosphere and their subsequent long-term release into the headwater streams [2]. For these obvious reasons, the ecosystems of European Alps, Rocky Mountains, Sierra Nevada, South American Andes, European Pyrenees, and others are already under substantial ecological pressure [3-5].

Accumulation of heavy metals (Cd, Sb, Bi, Tl, Sn, Pb) in glaciers has been reported for Tien Shan, Himalayas and European Alps since 1980s, thus they were considered as “legacy pollutants” – amassed and slowly released during glaciers melting up to tens of years after accumulation [6]. Recently Co, Cu, Zn, Cd, and Mo accumulation was determined in snowpack and high-altitude rivers of Tibetan Plateau (China) [7]. The contents of several metal(oid)s was measured in soil, moss and water in Shennongjia, alpine critical zone of central China, and overall pollution level and ecological risks were calculated to be low to moderate, and As, Co, and V were the most critical potential ecological risk factors [8]. Similarly, amass due to atmospheric transport and distant in time release into the waters was evidenced for persistent organic pollutants as was researched at Tibetan Plateau [9]. Elevated concentrations of heavy metals (Sb, Cu, Cr, Ni, As, Mo) were determined in the surface snow (cryoconites) samples in the glaciers of the eastern Tibetan Plateau, the heavy metal pollutants long-range transport to the

glaciers from the surrounding densely populated area of Asia has been proposed [10]. Short-term atmospheric transport through large low-mountain cities and adjacent industrial areas was considered to be responsible for high-altitude pollution by black carbon that is a product of incomplete combustion, such as automobile exhausts, crop burning and forest fires. Black carbon accumulation was evidenced for the glaciers of the Cordillera Real (Bolivia) [5]. In the same region the accumulation of monomethylmercury was evidenced in surface and sediment pore waters of high-altitude Lake Uru-Uru (Bolivia) due to urban and mining activities [11]. The phenomenon of headwaters secondary pollution due to snowpack and glaciers melting has been proposed as “glacier hypothesis”. Researches carried out in Switzerland Alps during and immediately after the COVID-19 lockdown showed a general improvement of high-altitude water quality [12].

The bioassay is the most informative and rapid tool of environmental screening for toxic potential of surface water and sediment, the test objects of bioassay are multiple and include various bacteria, plant, invertebrates and vertebrates species. The zooplankton cladoceran *Daphnia* spp. has been used as model organism of water toxicology since 1920s as it is lab-adaptive and at the same time chemically sensitive, has rapid parthenogenetic reproductive cycle. *Daphnia* spp. toxicity tests are the part of standardized OECD protocols for assessment of the acute (OECD 202) and reproductive (OECD 211) water toxicity [13, 14]. Acute tests with *Daphnia* spp. are effectively applied in toxicological researches to establish the LC50 and LOEC of individual and/or mixed xenobiotics and calculation of environmental risk [15]. Endpoints such as mortality and/or immobilization, swimming and feeding behavior, increase or decrease in the number of neonates per adult daphnid, delay between broods are measured in acute and chronic tests [16]. Thus, the *Daphnia magna* acute immobilization test recommended by OECD is a sensitive and valid test for the first line of biological monitoring of alpine head waters.

The ecological researches in Northern Tien Shan are scarce despite their irrefutable significance for Middle Asia and Northern-west China and bioassay investigation in this region are nearly absent. Ile Alatau mountain range is considered to be appropriate area for ecotoxicology researches of alpine water resources in our region due to its relative proximity and significance for well-developed Almaty city and Almaty region. Numerous springs, small tributaries and moraine lakes under glaciers form headwater catchments of rivers Kishi Almaty and Ulken Alma-

ty, Talgar, Issyk, Shamalgan, Aksay, Turgen, Chilik, Charyn, Chong-Kemin, Lepsey, Baskan, Karatal and others that provide the only water source for nearly four million people and economic activity of Almaty and Taldykorgan cities and adjoining regions. When water qualities and yields change in headwaters, the consequences affect the lands downstream, so monitoring the toxic potential of alpine surface water resources is the key concern in determining the water quality in high-altitude region.

Therefore the aim of the current work was to assess the toxic potential of alpine headwaters of two Ile Alatau gorges: Orta Turgen (Turgen river basin) and Kuygensay (Kishi Almaty river basin) including moraine lakes and tributaries using *D.magna* acute immobilization test by OECD regulations.

Materials and methods

Study area and sample collection. In this study, the r. Kuygensay (Gorelnik) (Kuygensay gorge, Ile Alatau, Northern Tien Shan) was selected as the main study region, while the r. Orta Turgen (Orta Turgen gorge, Ile Alatau, Northern Tien Shan) was used as the reference study region for spatial comparison. (fig. 1). The sampling time was from August to September 2024, and the sampling points were arranged in the headwaters of the source region, including the very river source (moraine lake), main current and tributaries, altitudes ranged from 2421 to 3564 asl (above sea level). The surface water was collected into the sterile plastic sampling bottles (Y&K Health Care, South Korea) and delivered into the laboratory within two days, where water was filtered using PES 0.22 µm filter flasks (UltraCruz, USA) and stored at 4°C until use. The measurement of water parameters was conducted *in situ* using portable calibrated water quality tester (Jinan Huiquan Electronic, China).

Acute *Daphnia magna* bioassay. All bioassay experiments with *Daphnia magna* were conducted according to Guideline 202 on “*Daphnia* sp. Acute Immobilisation Test, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals” [13]. Specifically, young daphnids, aged less than 24 at the start of the test, were exposed to natural water samples for 48 hours and mortality/immobilization was scored. All animals derived from a healthy stock (no signs of high mortality, ephippia, discolored animals etc.), established up to two months prior to experiments from the one female, so the culture was genetically homogenous parthenogenetic brood. Stock animals were maintained in culture conditions similar to those used in the test.

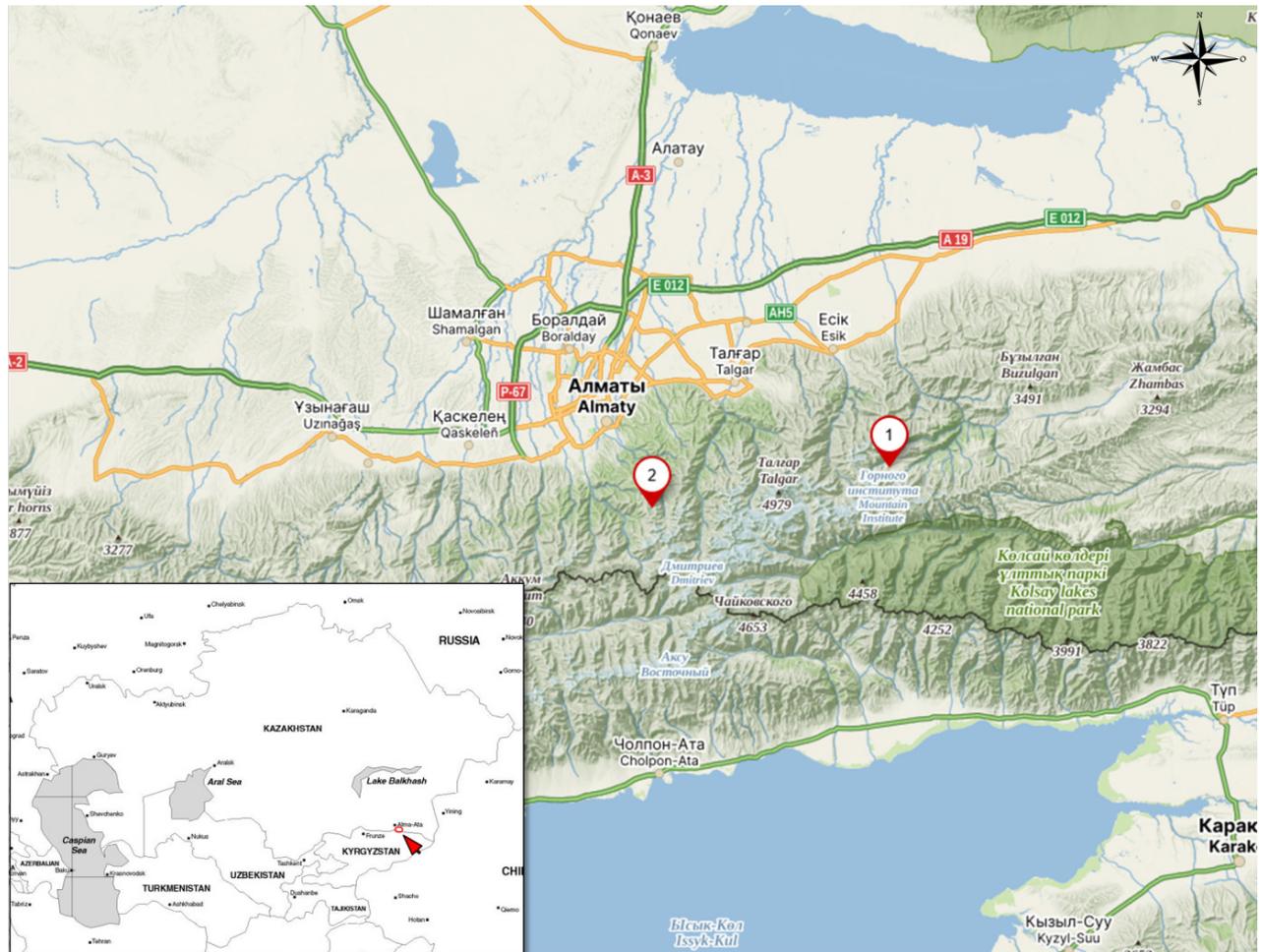


Figure 1 – Sampling sites location in the high-altitude areas of Ile Alatau range (Northern Tien Shan, Kazakhstan).
1 – r. Orta Turgen headwaters, 2 – r. Kuysgensay headwaters

Natural water samples were preliminary warmed up to experimental temperature conditions in test vessels of sterile glass beakers, media volume was 25 ml. 15 young daphnids were placed into each test vessel, in a fivefold sequence per point, thus 75 animals were used per study area bioassay. The ratio of air/water volume in the vessels was identical for test and control groups. Test was static, vessels were placed in thermostat (TS-1/20 SPU, Russia) and kept in darkness at $23 \pm 1^\circ\text{C}$ for 48 h. Vessels were not aerated and daphnids weren't fed during the test. To heavy metal salts were used during the tests as positive controls, namely cadmium (CdCl_2 , 0.8 mg/L) and lead ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, 3.0 mg/L), in concentrations referred to a highly polluted water. The test conditions and daphnids number were similar to surface water bioassay tests.

The number of immobilized and/or dead animals was scored at 24 h and 48 h, the total mortality/immobilization

was calculated as the ratio of the difference between the number of survivors in the control and in the test groups to the number of survivors in the control, expressed as a percentage. Any signs of disease or stress such as discoloration or unusual behavior were recorded. The main validity criteria were no signs of stress and not more than 10% immobilization in the control groups throughout the test.

Statistics and data representation. All bioassay tests per study area were performed in fivefold sequence, and the data are expressed as mean \pm standard error ($M \pm SE$), a probability of $p < 0.05$ was accepted as statistically significant using a t-test. Statistical calculation and numerical data visualization were performed using StatPlus and Excel MS Office. All maps were prepared using online software mapy.com (<https://mapy.com/en>) where sample area point were placed according to precise coordinates.

Results and discussion

Study area description. Two distinct high-mountain gorges were selected for the *Daphnia magna* bioassay study – Orta Turgen and Kuygensay (Gorelnik) gorges, both attributed to the northern slope of Ile Alatau ridge and the great basin of river Ile. The gorges are at different distance from

large Almaty city: Kuygensay gorge is to the south of Almaty (directly above) at 12 km, while Orta Turgen gorge is located to the south-east of the city at about 55 km and was considered to be reference area. Location information and the main characteristics of surface waters in chosen sampling areas are represented in Table 1 and on figures 2B and 3B.

Table 1 – Sampling sites location information and parameters of surface water (Ile Alatau mountain range).

Code	Location	Coordinates	Elevation asl (m)	Type	TDS, ppm	EC, $\mu\text{s}/\text{cm}$	PH
Sp.T.#1	Orta Turgen gorge	43.12636, 77.58954	3 564	Moraine lake, source	33 \pm 3.1	66 \pm 4.3	7.5 \pm 0.04
Sp.T.#2	Orta Turgen gorge	43.15813, 77.63632	3 187	Alpine lake, main stream	136 \pm 4.3	272 \pm 1.1	7.8 \pm 0.04
Sp.T.#3	Orta Turgen gorge	43.16469, 77.64986	2 942	Tributary main stream	114 \pm 7.9	231 \pm 2.6	7.2 \pm 0.14
Sp.T.#4	Orta Turgen gorge	43.18021, 77.68755	2 421	Tributary main stream	170 \pm 9.5	352 \pm 1.8	7.4 \pm 0.07
Sp.K.#1	Kuygensay gorge	43.08904, 77.04867	3 316	Moraine lake, source	26 \pm 3.5	52 \pm 1.8	7.3 \pm 0.14
Sp.K.#2	Kuygensay gorge	43.10710, 77.04052	2 931	Main stream	40 \pm 2.9	80 \pm 2.1	7.4 \pm 0.07
Sp.K.#3	Kuygensay gorge	43.10705, 77.04047	2 934	Tributary spring	38 \pm 5.7	136 \pm 1.1	7.3 \pm 0.19
Sp.K.#4	Kuygensay gorge	43.11486, 77.04458	2 788	Tributary spring	62 \pm 2.3	124 \pm 2.6	7.7 \pm 0.14
Control	laboratory control	-	-	Negative control	137 \pm 2.1	274 \pm 1.5	7.5 \pm 0.04
Pb(CH ₃ COO) ₂ , 3.0 mg/L	laboratory control	-	-	Positive control	136 \pm 4.4	272 \pm 1.8	7.5 \pm 0.14
CdCl ₂ , 0.8 mg/L	laboratory control	-	-	Positive control	155 \pm 5.0	310 \pm 1.1	7.5 \pm 0.05

Note: asl – above sea level

Turgen gorge is located in Almaty region, in eastern part of Ile Alatau range, at about 60 km east from the Almaty city. R. Turgen is formed by the joining of several large tributaries – Orta Turgen, Shenturgen, Temirtas, Kishi Turgen and others. R. Orta Turgen that was chosen for the current study, is a main receiving stream, originates from the large Gornogo Instituta glacier. The melting glacier from a large moraine lake named simply Lake №1, this lake is the very source of Turgen river and was chosen as first sampling area – sp.T#1 (moraine lake). The torrent further follows north-eastward down the wide picturesque valley, sp.T#2 – one of the so called

“Sphagnum lakes” located downstream. This is a group of the small lakes, shallow and mossy, originated from the left Orta Turgen tributary. Sp.T#3 is an orographically left upper tributary and sp.T#4 is the lower small left tributary of r. Orta Turgen, flowing into the river above the convenience with the r. Temirtas. The Orta Turgen gorge is the touristic hiking place, but less popular than Kuygensay gorge due to its remoteness from the Almaty city.

Kuygensay gorge is a trough valley. Kuygensay (Gorelka) river is the main tributary of the r. Small Almaty, length is 5.8 km, catchment area square – 12 km², three small moraine lakes are in

the river uppers. As Kuygensay gorge is located close to Almaty city and very picturesque it is very popular touristic hiking area. Kuygensay sampling point sp.K#1 is located at lake Lower Titova, the very source of the river Kuygensay, and at sampling time moraine lake became shallow, 1-2 m from the shore the depth does not exceed 0.5m, the lakeshore as well as the wide mountain valley leading to it are alpine meadows used as mountain horse pastures (zhaylau). River further descends northward by a long wide mountain valley, sp.K#2 is the main stream sampling, located at end of this valley, river further turns eastward. Stream is 1.5m width in average, in places it spills out into many inter-boulder streams, bottom is rocky. The place is shady, and riverbed is covered with a large snow shell, powerful enough to support an adult. The surrounding area of rocky slopes and subalpine meadows are dwelled with marmots (*Marmota baibacina*). Sp.K#3 is an orographically left tributary, descending sharply down the mountainside, 0.5-0.7 m width, 3 m length spring, shadow and mossy. Sp.K#4 is an orographically right tributary, torrent and shallow, that originates from multiple mossy springs, sampling area is at the very border of the spruce forest, vegetation is mixed: spruce, juniper, subalpine grasses. Recently this area became popular hiking place and is under the direct anthropologic pressure.

As all mountain rivers of Central Asia, Kuygensay and Orta Turgen rivers are characterized by low temperatures, low channel stability and low solute concentrations (sediment flux is high during the high flow period), low productivity. The main properties of surface waters are characteristic to high-mountain reservoirs usually total concentrations of dissolved substances are low, but for Orta Turgen tributaries TDS is high and in case of Sphagnum lake comparable to laboratory control. Lake Shagnum is mossy and the bottom is partially silted, as for the tributaries, they are large and extensional, carrying huge amounts of sediment and organic matter. At the same time tributaries of r. Kuygensay are real springs and the sampling sites were no more than 2-5 m from the spring origin. The measurements of electrical conductivity support the TDS data, and by these parameters surface water samples form Orta Turgen basin (with the exception of moraine lake #1) approximate the ones for the control laboratory water. pH value is typically between 7.2 and 7.8, no signs of acidification or alkalization were recorded for any sampling points. It should be noted, that incubation of young daphnids for 48 hours greatly changes the TDS and EC indexes due to physiologi-

cal activity of animals in a limited volume of medium (data not shown).

Daphnia magna bioassay. Indeed the bioassay is the only way to evaluate the direct toxic potential of natural waters being fast, reliable and sensitive method of first-line ecotoxicological screening. OECD recommendations on water toxicity testing are referred to several key test-objects, and daphnids are among them. *Daphnia spp.* – is the most common and standardized test-object for assessing water quality, used as “sensor” of toxic pollution of aquatic environment. Due to its adaptability to laboratory cultivation, parthenogenetic reproduction (allows to establish genetically homogenous batch of test-objects), short life-cycle and great sensitivity to organic and inorganic substances *Daphnia magna* Straus is overall used in first-line bioassay researches [17].

In the current study the immobilization/mortality acute test with *D.magna* was applied to evaluate the toxic potential of surface water of high-altitude water bodies of Ile Alatau gorges. The results of acute *D.magna* larvae exposition to surface water samples are represented on figures 2A and 3A. In control groups immobilization/mortality didn't exceed 6% throughout the experiments signifying the main validity criterion for bioassay research (no more than 10% immobilization/mortality in control).

Two heavy metals were chosen as positive controls – cadmium (CdCl_2 , 0.8 mg/L) and lead ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, 3.0 mg/L), in concentrations referred to a highly polluted water, results indicating that daphnids are susceptible to both metals (fig. 2A, 3A). At the same time cadmium exposure showed to be a highly toxic to daphnids – up to 92% of animals died nearly after 24 h. of exposure ($p \leq 0,001$), while the lead in four-fold more concentration was two-fold less toxic.

Nevertheless $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ exposure for 48 h. gained 52% immobilization/mortality index ($p \leq 0,001$). The toxic effects of heavy metals and Cd and Pb in particular, are evidenced and since widely used in various toxicological researches. These heavy metals are absorbed by young daphnids through filtration and with food, disrupt enzymatic processes, affect physiological activity (heart rate and thoracic limb activity), reduce growth and possess not only acute but long-time effects inhibiting reproductive capacity and population dynamics [18, 19]. Furthermore, studies have shown that heavy metals can interact with other contaminants, such as plastics and nanoparticles, altering their toxicity for water invertebrates [20].

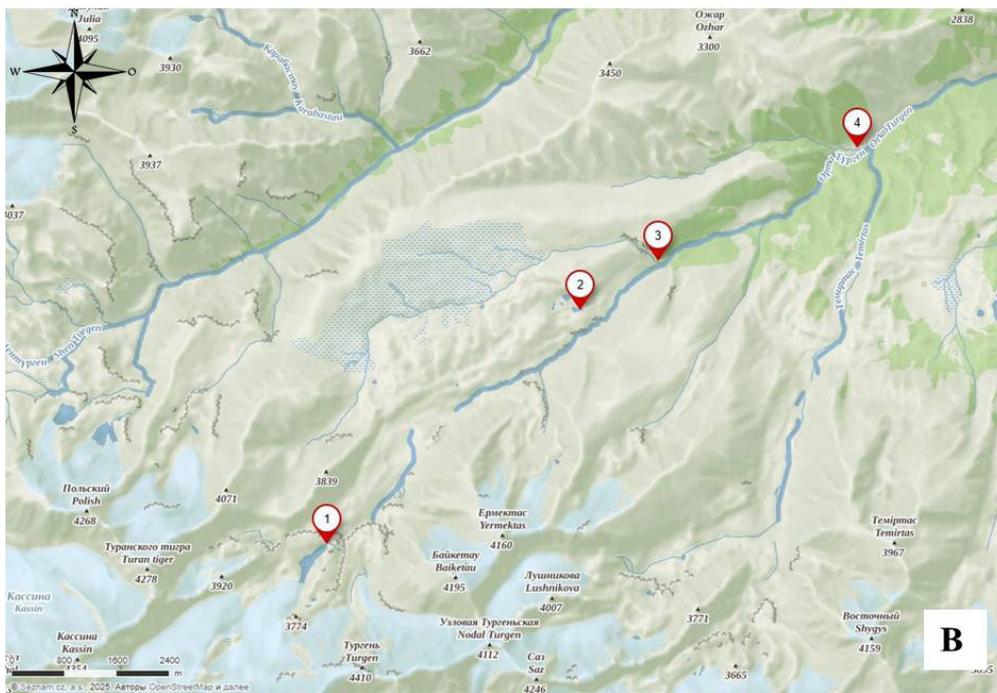
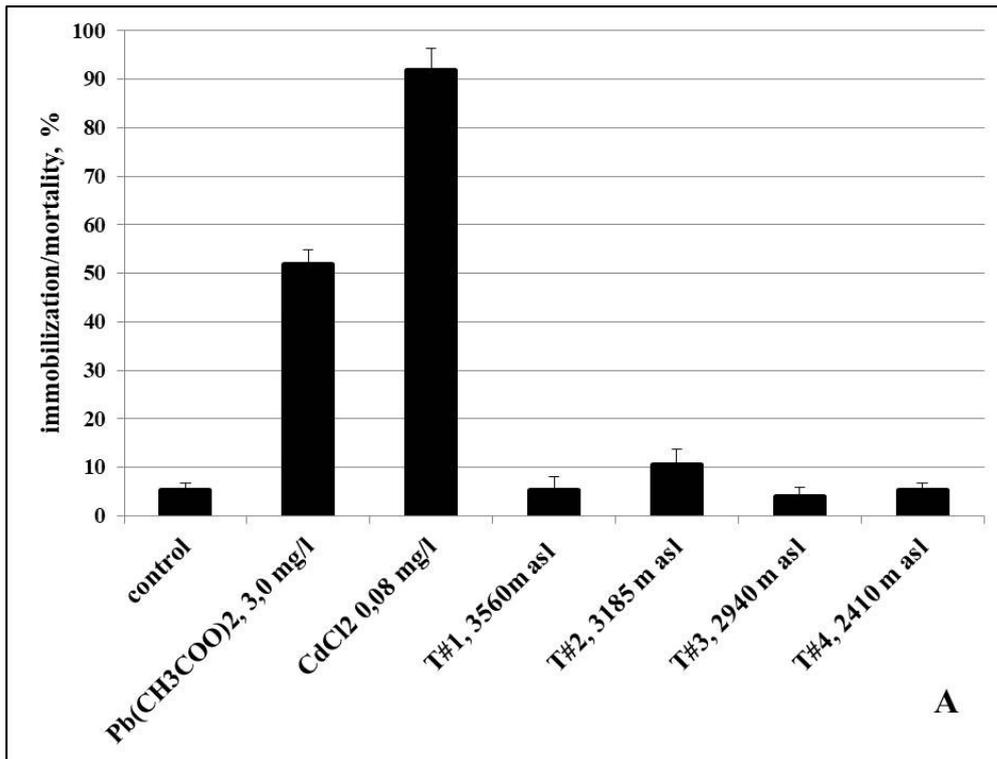


Figure 2 – Acute *D.magna* bioassay for surface waters of high-altitude r. Orta Turgen (Ile Alatau, Northern Tien Shan).

A – results of acute *D.magna* toxicity test, mean±SE; B – sampling sites location. asl – above sea level

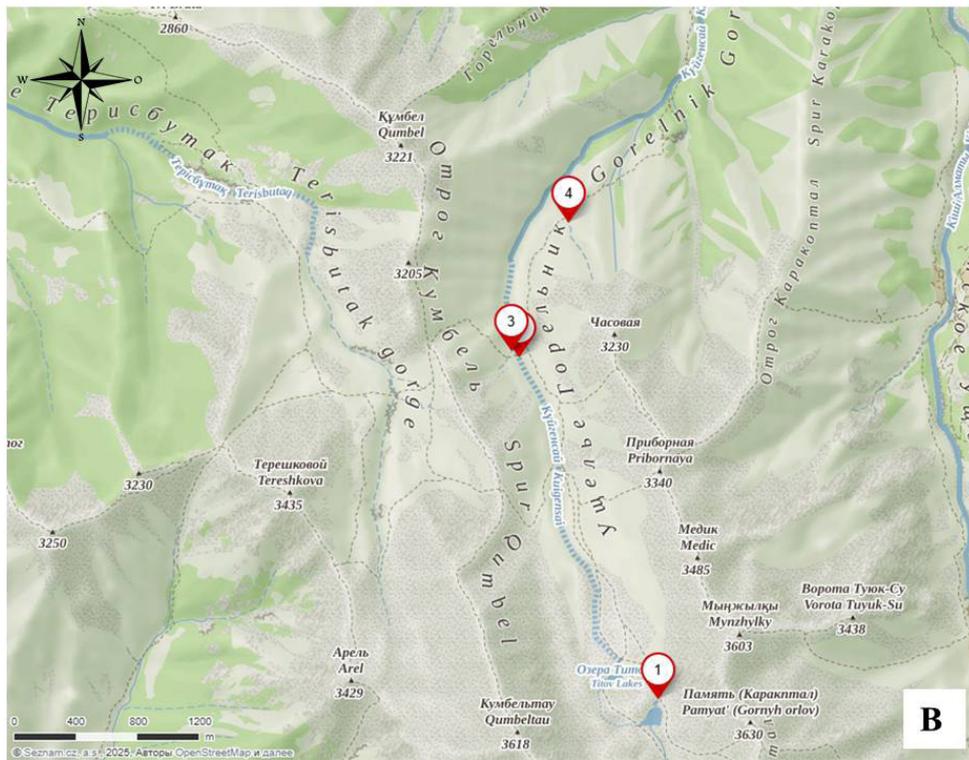
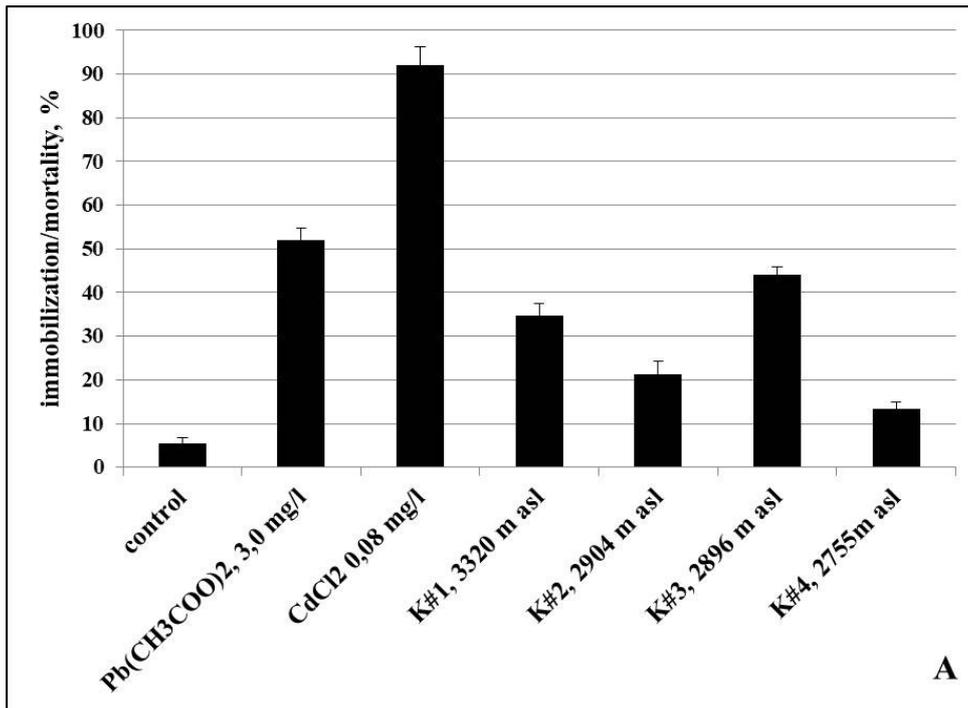


Figure 3 – Acute *D.magna* bioassay for surface water of high-altitude r. Kuygensay (Ile Alatau, Northern Tien Shan).

A – results of acute *D.magna* toxicity test, mean±SE; B – sampling sites location. asl – above sea level

Exposure of young daphnids to high-altitude surface water evidenced the differences in toxic potential of two studied areas. For all water samples from Orta Turgen highlands the average immobilization/mortality didn't exceed the 10% referred to control value and no toxicity effect was recorded, the only exception is sp.T#2 (Sphagnum lake) – 11%, but differences were not statistically significant comparing to control. For Kuygensay gorge the situation was different. The slight mortality effect was shown for the lowest sampling point – K.#4 (2755 asl.), large tributary originating in mossy mountain slope, at the same time higher points all gained significant mortality. So, exposure to water from small tributary spring, K#2 (2904 asl.) resulted in nearly 22% mortality ($p < 0,05$) of young daphnids, whereas water samples from main current located no more than several meters ahead, K.#3 (2896 asl.) caused 44.0% of young daphnids to die after 48 h. of exposure ($p \leq 0,001$). Water samples from moraine lake Titov (K.#1, 3320 a.s.l.) were evidenced to be of moderate toxicity for *D.magna* as well – 35% immobilization/mortality score has been recorded after 48 h. of exposure ($p \leq 0,01$).

Thus the results of a current bioassay study evidence the toxic potential of r. Kuygensay headwaters and generate two issues about the reason for difference between two studied areas and about the sources of toxicity. As it was noted earlier, daphnia species showed to be very sensitive to both organic and inorganic substances. Apart from heavy metals *Daphnia* species were shown to be susceptible to persistent organic pollutants, pesticides and microplastic up to extreme toxicity [21-23]. Multiple researches have shown that high-altitude areas can receive and amass contaminants from external sources, which have been deposited onto the ice surface via processes of atmospheric transfer and precipitation. The contamination of microplastics was shown for remote high-altitude lakes by Chinese researches, the results of the risk assessment were found to be interconnected with the distribution of the local population and agricultural activities around the sampling area [24]. Alpine areas of Western Europe were also indicated to be polluted by heavy metals and persistent organic pollutants, however for some remote high-altitude areas and alpine lakes bedrock and surficial geology proved to be a major factor controlling metal concentrations in lake water [25]. The potential serious heavy metal pollution of alpine

lakes was investigated by physiochemical methods for the mountain ecosystems of Pakistan and Himalayan part of India, and lakes were observed to be more polluted than the rivers with Cd, Hg, Mn, Cu [2, 26]. Accumulation of organochlorine pesticides due to long-range atmospheric transport and subsequent cold-trapping under low-temperature condensation at higher altitude has also been shown for Tibetan Plateau [9]. Melting glaciers would result in a substantial release of persistent organic pollutants as has been evidenced by the researches at Tibetan Plateau, Alps and Antarctica. It also should be noted, that toxic effect might be modulated or caused by the algotoxins as it is established that daphnids are susceptible to toxic action of cyanobacteria, and that toxicity is increased in higher temperature conditions [27]. The water samples for the current assay were filtered from bacteria, but nevertheless the presence of algotoxins in water samples couldn't be excluded and the specific research is needed on that issue for highland waters of Ile Alatau.

Indexation by toxicity classes. The issue of water pollution indexation is of high importance due to diversity of test objects and measured endpoints especially when a battery of test is applied. The three toxicity classes were proposed to estimate the level of pollution: no toxicity, moderate toxicity and high toxicity, where for all bioassays $>50\%$ endpoint response was considered as lower boundary for “high toxicity” of water samples [28]. For invertebrates bioassay the 20-50% toxicity response is usually assigned to “moderate toxicity” and 0-20% toxicity response as “no toxicity”. However according to the OECD criteria, the threshold (validity criterion) for *D.magna* bioassay is no more than 10% toxicity in control, so that “no toxicity” index ought to be revised. In a current research the following toxicity criteria were proposed based on *D.magna* acute toxicity test: “not toxic” (0-10% mortality), “slightly toxic” (10-20% mortality), “moderately toxic” (20-50% mortality), “toxic” (50-70% mortality), “highly toxic” (70-100% mortality). The results of bioassay indexation of high-altitude waters of studied Ile Alatau gorges based on *D.magna* acute toxicity test are represented in table 2.

As mentioned above the pollution level of the tested waters from Orta Turgen gorge is considered as “not toxic” and in case of Sphagnum alpine lake is “slightly toxic”, while for Kuygensay gorge the tested pollution level is noticeably higher.

Table 2 – Toxicity indexes for high-altitude surface water bioassay based on *D.magna* acute toxicity test

High-altitude water sampling sites					
Toxicity class		Orta Turgen river basin			
		Moraine lake#1 3564m asl	Alpine “Sphagnum lake”, 3187m asl	Tributary, main stream, 2942m asl	Tributary, main stream, 2421m asl
not toxic	5				
slightly toxic	4				
moderately toxic	3				
toxic	2				
highly toxic	1				
		Kuygensay river basin			
		Morain “Titov lake” 3316m asl	Main stream 2931m asl	Tributary, spring 2934m asl	Tributary spring 2788m asl
not toxic	5				
slightly toxic	4				
moderately toxic	3				
toxic	2				
highly toxic	1				

Note: asl – above sea level

With the exception of lower tributary, water samples from moraine lake Titov and main stream of Kuygensay river are indexed as “moderately toxic”, and for one sample from small spring the level of pollution is “toxic”. Thus, there are some chemical substances in those water samples that reveal toxic potential when testing on young daphnid, whether through direct or indirect interactions with organism, including synergistic interactions and biotransformation. One ought to keep in mind that the underlying rocks themselves may be sources of toxic inorganic ions, but that is likely true in relation to springs with point sources, but not large lakes.

The pollution footprints in highland water basins depend on geographical position, orographic characteristics and climatic features, wind rose first of all, as the atmospheric transport is considered to be the main source of pollution [29]. Two studied river basins differ by the orographic position (fig. 2B and 3B). The Orta Turgen highlands extend from south-east to north-west, while Kuygensay highlands occupy less area directed nearly from south to north and located nearly above the large Almaty city. This gorge receives the wind-stream from massive wind-flow coming from the west-north, passing through dusty semi-deserts, industrial city suburbs and highly polluted Almaty city. The winds reach-

ing the Orta Turgen gorge are usually passing the Almaty city by.

Moreover main sources of runoff are different for two gorges. For Orta Turgen Moraine lake#1 the main source is glacier melting, riverbed is slope and extended, main stream and tributaries torrents dilute water significantly, and probably the sediment is the main collector of toxic substances. In Kuygensay gorge the primary source of runoff is the snow melt, the gorge is narrow and river is supplied by snowpack melting from surrounding mountain slopes. It is well known that mountain cryosphere (glaciers, snowpack, frozen ground) serve as reservoirs for contaminants, however glaciers are regarded as accumulators of pollutants releasing them slowly, but snowpack receives pollutants by precipitation immediately and they are quickly released during the hot seasons. The deposition of environmental pollutants such as persistent organic pollutants and black carbon in mountain snowpack has been shown recently [3, 6, 7]. The investigations of snowmelt samples toxicity potential got evidences for accumulation of heavy metals and PAHs in snowpack and subsequent release into the snowmelt with the ability to induce teratogenic and toxic effects when studied on embryo-larval fathead minnow [30].

Therefore the source of toxic potential observed for headwaters of r. Kuygensay remains unclear, since it can be of different origin: natural rock erosions, contamination of water with amassed pollutants or algotoxines, etc. it also should be noted that water hardness may significantly influence the bioavailability and toxicity of pollutants. Recent meta-research demonstrated that high water hardness exerted significant effect against pollutant toxicity, reducing their bioavailability through competitive mechanisms involving calcium and magnesium ions [31]. Thus the waters with low TDS as for moraine lakes and high-altitude currents, potentially may gain more toxic effect that those with high water hardness.

Conclusion

Currently there is a serious gap in water quality assessment for high-altitude regions mainly due to remoteness of research areas. The ecological researches of Northern Tien Shan and its rivers remain scarce, despite its great significance for population and industrial activity of South-East Kazakhstan. High-mountain environments are sensitive to changes in atmospheric pollution, and for regions of Ile Alatau range close to the highly polluted Almaty agglomeration the ecotoxicological studies are of great interest and urgency, as its mountain rivers are the very source of drinking water for population. The current bioassay for the first time was aimed to evaluate the toxic potential of two mountain Ile Alatau rivers by acute *D.magna* toxicity test. *D.magna* acute toxicity test, recommended by OECD is proved to be the sensitive and accurate methods for water toxicity assessment, and used as first-line indicator of pollution screening with the certain degree of approximation may provide the quantitative assessment of the level of toxicity for the natural surface waters. The headwaters of rivers Kuygensay and Orta Turgen attributed to high-altitude regions of Ile Alatau range, starting from 2400

m asl (above sea level) and up to the very sources of moraine lakes (3316 – 3564 m asl) were indexed according to toxicity level. The hotspots of water pollution were discovered for Kuygensay river headwaters, indexed as from “moderately toxic” to “toxic” starting from 2900 m asl, and rising the issue of high pollution level for Ile Alatau gorges located above Almaty city. The additional researches are needed to evaluate the level of glaciers and snowpack pollution, to assess the role and reasons for toxic potential of small springs rather than highly diluted main currents, issue of sediment pollution, role of agoflora and other open questions. The ecotoxicological researches of high-altitude Ile Alatau water sources not only provide information on water quality but should further be aimed on understanding the mechanisms of mountain cryoshere pollution and subsequent water contamination.

Acknowledgements

This research has been supported by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No.AP23486019 “Comprehensive ecotoxicological assessment of alpine glacierised drainage basins of main rivers of the Northern Tien-Shan”).

In preparing this work, the authors used Google AI Studio in order to translate abstract text into Kazakh language. After using this tool/service, the author(s) reviewed and edited the content as necessary and take full responsibility for the content of the publication.” We confirm that the article fully complies with the journal’s policy regarding the use of generative AI, and that all tools used were applied in accordance with the guidelines of publishing ethics. We also understand that in case of serious violations of publishing ethics related to the use of AI, the process of retraction may be initiated, and we accept full responsibility for adhering to all norms and standards established by the journal.

References

1. United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution Adopted by the General Assembly on 25 September 2015, 42809, 1-13. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
2. Khan, M., Ellahi, A., Niaz, R., Ghoneim, M.E., Tag-eldin, E., & Rashid, A. (2022) Water quality assessment of alpine glacial blue water lakes and glacial-fed rivers. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 13(1), 2597-2617. <http://doi.org/10.1080/19475705.2022.2126800>
3. Kallenborn, R. (2006). Persistent organic pollutants (POPs) as environmental risk factors in remote high-altitude ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 63, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.02.016>

4. Giri, A., Bharti, V.K., Kalia, S. et al. (2019). Utility of multivariate statistical analysis to identify factors contributing river water quality in two different seasons in cold-arid high-altitude region. *Applied Water Science*, 9(26) <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0902-3>
5. Beard, D. B., Clason, C. C., Rangecroft, S., Poniecka, E., Ward, K. J., & Blake, W. H. (2022). Anthropogenic contaminants in glacial environments I: Inputs and accumulation. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 46(4), 630-648. <https://doi.org/10.1177/03091333221107376>
6. Yapiyev, V., J. Wade, A.J. Shahgedanova, M., Saidaliyeva, Z., Madibekov, A., Severskiy, I. (2021). The hydrochemistry and water quality of glacierized catchments in Central Asia: A review of the current status and anticipated change. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 38, 100960. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100960>
7. Wu, R., Dong, Z., Cheng, X., Brahney, J., Jiao, X., & Wu, L. (2022). Heavy metal levels and sources in suspended particulate matters of the glacier watersheds in Northeast Tibetan Plateau. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 918514. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.918514>
8. Song, X.; Ning, Y.; Yang, S.; Ye, J.; Liu, J. (2023). Spatial Distribution, Pollution, and Ecological Risk Assessment of Metal(loid)s in Multiple Spheres of the Shennongjia Alpine Critical Zone, Central China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20, 1126. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021126>
9. Li, J., Yuan, G.L., Wu, M.Zh., Sun, Y., Han, P., Wang, G.H. (2016). Evidence for persistent organic pollutants released from melting glacier in the central Tibetan Plateau, China. *Environmental Pollution*, 220, 175-185. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.037>
10. Jiao, X., Dong, Zh., Kang, Sh., Li Y., Jiang, C., Rostami, M. (2021). New insights into heavy metal elements deposition in the snowpacks of mountain glaciers in the eastern Tibetan Plateau. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 207, 11228. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111228>
11. Guédron, S., Achá, D., Bouchet, S., Point, D., Tessier, E., Heredia, C., Rocha-Lupa, S., Fernandez-Saavedra, P., Flores, M., Bureau, S., Quino-Lima, I., & Amouroux, D. (2020). Accumulation of Methylmercury in the High-Altitude Lake Uru Uru (3686 m a.s.l, Bolivia) Controlled by Sediment Efflux and Photodegradation. *Applied Sciences*, 10(21), 7936. <https://doi.org/10.3390/app10217936>
12. Rogora, M., Steingruber, S., Marchetto, A. Mosello R., Giacomotti P., Orru A., Tartari G.A., & Tiberti R. (2022). Response of atmospheric deposition and surface water chemistry to the COVID-19 lockdown in an alpine area. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 62312–62329. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20080-w>
13. OECD (2004), Test No. 202: Daphnia sp. Acute Immobilisation Test, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264069947-en>.
14. OECD (2012), Test No. 211: Daphnia magna Reproduction Test, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264185203-en>.
15. Ebert, D. (2022) Daphnia as a versatile model system in ecology and evolution. *EvoDevo*, 13, 16. <https://doi.org/10.1186/s13227-022-00199-0>
16. Reilly, K., Ellis, L-J.A., Davoudi, H.H., Supian, S., Maia, M.T., Silva, G.H., Guo, Z., Martinez, D.S.T., & Lynch, I. (2023). Daphnia as a model organism to probe biological responses to nanomaterials—from individual to population effects via adverse outcome pathways. *Frontiers in Toxicology*, 5, 1178482. <https://doi.org/10.3389/ftox.2023.1178482>
17. Andreu-Sánchez, Ó., Garcia-Lorenzo, M. L., Esbrí, J. M., Sánchez-Donoso, R., Iglesias-Martínez, M., Arroyo, X., Crespo-Feo, E., Ruiz-Costa, N., Roca-Pérez, L., & Castiñeiras, P. (2022). Soil and Freshwater Bioassays to Assess Ecotoxicological Impact on Soils Affected by Mining Activities in the Iberian Pyrite Belt. *Toxics*, 10(7), 353. <https://doi.org/10.3390/toxics10070353>
18. Cui, R., Kwak, J.I., An, J.Y. (2018). Comparative study of the sensitivity of Daphnia galeata and Daphnia magna to heavy metals. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 162, 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.054>.
19. Chen, F., Yao, Q. & Zhou, X. (2015). The Influence of Suspended Solids on the Combined Toxicity of Galaxolide and Lead to Daphnia magna. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 95, 73–79. <https://doi.org/10.1007/s00128-015-1543-3>.
20. da Silva, G.H., Ji, J., Maia, M.T., Mattia, D., Martinez, S.T.D. (2025). Exploring the combined toxicity of boron nitride nanosheets, cadmium and natural organic matter on Daphnia magna. *Aquatic Toxicology*, 279, 107198, <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2024.107198>
21. Samadi, A., Kim, Y., Lee, S. A., Kim, Y. J., & Esterhuizen, M. (2022). Review on the ecotoxicological impacts of plastic pollution on the freshwater invertebrate Daphnia. *Environmental toxicology*, 37(11), 2615–2638. <https://doi.org/10.1002/tox.23623>
22. Hussain, A., Audira, G., Malhotra, N., Uapipatanakul, B., Chen, J.-R., Lai, Y.-H., Huang, J.-C., Chen, K. H.-C., Lai, H.-T., & Hsiao, C.-D. (2020). Multiple Screening of Pesticides Toxicity in Zebrafish and Daphnia Based on Locomotor Activity Alterations. *Biomolecules*, 10(9), 1224. <https://doi.org/10.3390/biom10091224>
23. Häder, D.P., Erzinger, G.S. Daphniatox (2017). Online monitoring of aquatic pollution and toxic substances. *Chemosphere*, 167, 228-235. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.155>.
24. Wang, H., Zhao, C., Huo, T. (2025). The Distribution of Microplastic Pollution and Ecological Risk Assessment of Jingpo Lake—The World's Second Largest High-Mountain Barrier Lake. *Biology*, 14, 201. <https://doi.org/10.3390/biology14020201>
25. Tornimbeni, O., Rogora, M. (2012). An Evaluation of Trace Metals in High-Altitude Lakes of the Central Alps. *Water Air Soil Pollution*, 223, 1895–1909 <https://doi.org/10.1007/s11270-011-0993-4>
26. Giri, A., Bharti, V.K., Kalia, S. (2020). A review on water quality and dairy cattle health: a special emphasis on high-altitude region. *Applied Water Science*, 10, 79. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-1160-0>

27. Davidovi'c, P., Blagojevi'c, D., Meriluoto, J., Simeunovi'c, J., Svir'cev, Z. (2023). Biotests in Cyanobacterial Toxicity Assessment—Efficient Enough or Not? *Biology*, 12, 711. <https://doi.org/10.3390/biology12050711>
28. Pandey, L.K., Lavoie, I., Morin, S. (2019). Towards a multi-bioassay-based index for toxicity assessment of fluvial waters. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 112. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7234-5>
29. Rodriguez-Iruretagoiena, A., Gredilla, A., de Vallejuelo, S.FO. (2023). Metals and metalloids in high-altitude Pyrenean lakes: sources and distribution in pre-industrial and modern sediments. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 87561–87574 <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28347-6>
30. Parrott J.L. (2018). Meltwater from snow contaminated by oil sands emissions is toxic to larval fish, but not spring river water. *Science of the Total Environment*, 625, 264–274 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.284>
31. Shi, G., Wang, J., Yu, J. (2025). The impact of increased water hardness on pollutant toxicity in freshwater aquatic organisms. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197, 1131 <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14625-y>

Information about authors:

Suvorova Mariya (corresponding author) – PhD, senior lecturer of the Department of Molecular biology and Genetics at al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: masyanskii@gmail.com).

Yerubayeva Gulzhan, – candidate of biological science, dean of the Faculty of Humanities and Law at Turan University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: g.yerubayeva@turan-edu.kz).

Ergeshov Alexandr, – master of sciences, lecturer of the Faculty of Humanities and Law at Turan University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.ergeshov@turan-edu.kz).

Авторлар туралы мәлімет:

Суворова Мария (хат-хабар алмасуға жауапты автор) – PhD, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің молекулалық биология және генетика кафедрасының аға оқытушысы (Алматы, Қазақстан, e-mail: masyanskii@gmail.com).

Ерубәева Гүлжан – биология ғылымдарының кандидаты, Тұран университетінің гуманитарлық және құқықтық ғылымдар факультетінің деканы (Алматы, Қазақстан, e-mail: g.yerubayeva@turan-edu.kz).

Эргешов Александр – ғылым магистрі, Тұран университетінің гуманитарлық және құқықтық ғылымдар факультетінің оқытушысы (Алматы, Қазақстан, e-mail: a.ergeshov@turan-edu.kz).

Сведения об авторах:

Суворова Мария (автор для корреспонденции) – PhD, старший преподаватель кафедры молекулярной биологии и генетики Казахского национального университета им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: masyanskii@gmail.com).

Ерубәева Гүлжан – кандидат биологических наук, декан факультета гуманитарных и юридических наук Туранского университета (Алматы, Казахстан, e-mail: g.yerubayeva@turan-edu.kz).

Эргешов Александр – магистр наук, преподаватель факультета гуманитарных и юридических наук Университета Туран (Алматы, Казахстан, e-mail: a.ergeshov@turan-edu.kz).

Поступила 30 октября 2025 года

Принята 25 декабря 2025 года

3-бөлім
**БИОЛОГИЯЛЫҚ
АЛУАНТҮРЛІКТІ САҚТАУДЫҢ
ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ**

Section 3
**ACTUAL PROBLEMS
OF BIODIVERSITY CONSERVATION**

Раздел 3
**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
СОХРАНЕНИЯ
БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ**

МРНТИ 87.26.27

<https://doi.org/10.26577/EJE2025858>

Е.Б. Ларионова¹ , Г.Е. Садыканова¹ , С. Құмарбекұлы^{2*} ,
К.Б. Алипина¹ , К.Ш. Бакирова² , Ж.К. Кабатаева¹ 

¹Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

*e-mail: sanat_kv@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ У ВИДОВ LAMIACEAE В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

Исследование посвящено изучению антиоксидантной активности и содержания фенольных соединений у представителей семейства Lamiaceae, произрастающих в условиях Восточно-Казахстанской области. Для анализа были выбраны три вида, традиционно используемые в медицине и пищевой промышленности: *Mentha longifolia*, *Melissa officinalis* и *Ocimum basilicum*. Впервые проведена комплексная сравнительная оценка их биологической активности с учётом экологических факторов региона, включая высокую инсоляцию, континентальный климат и перепады температуры, которые могут существенно влиять на фитохимический состав растений.

Методы исследования включали спектрофотометрическое определение антиоксидантной активности с использованием радикала DPPH и колориметрическое определение содержания фенольных соединений методом Фолина–Чокальтеу. Анализировались свежие и высушенные образцы растительного сырья, что позволило установить влияние условий обработки на сохранение биологически активных компонентов. Установлено, что свежие листья демонстрируют более высокую антиоксидантную активность по сравнению с высушенными. Наиболее выраженный эффект наблюдался у *Ocimum basilicum*, где значение IC₅₀ снизилось с 30,1 до 21,1 мкг/мл. Наибольшая антиоксидантная активность зафиксирована у *Mentha longifolia* (IC₅₀ 16,3–17,1 мкг/мл), что подтверждает её фитохимическую ценность. Сильная отрицательная корреляция между содержанием фенольных соединений и антиоксидантной активностью ($r = -0,96...-0,98$) указывает на ведущую роль фенольных соединений в механизмах защиты от окислительного стресса.

Полученные результаты демонстрируют значительный потенциал растений семейства Lamiaceae, выращенных в Восточном Казахстане, для использования в фармацевтической и пищевой промышленности. Новизна исследования заключается в выявлении региональной специфики накопления фенольных соединений и подтверждении целесообразности использования свежего сырья для сохранения максимальной биологической активности. Выводы работы подчеркивают перспективность дальнейших исследований, направленных на оптимизацию методов экстракции и изучение индивидуального состава биологически активных веществ.

Ключевые слова: Lamiaceae, антиоксидантная активность, фенольные соединения, свежие и высушенные образцы, Восточно-Казахстанская область.

E.B. Larionova¹, G.E. Sadykanova¹, S. Kumarbekuly^{2*},
K.B. Alipina¹, K.Sh. Bakirova², Zh.K. Kabatayeva¹

¹Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: sanat_kv@mail.ru

Comparative evaluation of antioxidant activity and phenolic content in lamiaceae species depending on the ecological conditions of East Kazakhstan

This study investigates the antioxidant activity and phenolic content of Lamiaceae species cultivated under the ecological conditions of East Kazakhstan. Three species traditionally used in folk medicine and the food industry were selected as objects of study: *Mentha longifolia*, *Melissa officinalis*, and *Ocimum basilicum*. For the first time, a comprehensive comparative evaluation of their biological activity was conducted with consideration of the region's ecological factors, including high solar radiation, continental climate, and daily temperature fluctuations, which may significantly influence the phytochemical composition of plants.

The research methods included spectrophotometric determination of antioxidant activity using the DPPH radical and colorimetric quantification of phenolic compounds by the Folin–Ciocalteu method. Both fresh and dried plant samples were analyzed to determine the effect of processing on the preservation of bioactive components. The results demonstrated that fresh leaves exhibited higher antioxidant activity compared to dried samples. The most pronounced effect was observed in *Ocimum basilicum*, where IC_{50} decreased from 30.1 to 21.1 $\mu\text{g/ml}$. The highest activity was recorded in *Mentha longifolia* (IC_{50} 16.3–17.1 $\mu\text{g/ml}$). A strong negative correlation between phenolic content and antioxidant activity ($r = -0.96\dots-0.98$) confirmed the leading role of phenolic compounds in antioxidant mechanisms.

The findings highlight the considerable potential of Lamiaceae species grown in East Kazakhstan as a source of raw material for pharmaceutical and food industries. The novelty of this research lies in revealing the regional specificity of phenolic accumulation and demonstrating the importance of fresh plant material for maintaining maximum biological activity. These results provide a basis for further studies focused on optimizing extraction methods and identifying the individual composition of bioactive compounds.

Keywords: Lamiaceae, antioxidant activity, phenolic compounds, fresh and dried samples, East Kazakhstan.

Е.Б. Ларионова¹, Г.Е. Садыканова¹, С. Құмарбекұлы^{2*},
К.Б. Алипина¹, К.Ш. Бакирова², Ж.К. Кабатаева¹

¹ С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан

² Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: sanat_kv@mail.ru

Шығыс Қазақстанның экологиялық жағдайларына байланысты Lamiaceae тұқымдасының түрлеріндегі антиоксиданттық белсенділікті және фенолдық қосылыстарды салыстырмалы бағалау

Бұл зерттеу Шығыс Қазақстан жағдайында өсетін Lamiaceae тұқымдасына жататын өсімдіктердің антиоксиданттық белсенділігін және фенолдық қосылыстар құрамын зерттеуге арналған. Зерттеу нысаны ретінде халық медицинасында және азық-түлік өнеркәсібінде дәстүрлі қолданылатын үш түр таңдалды: *Mentha longifolia*, *Melissa officinalis* және *Ocimum basilicum*. Алғаш рет өңірдің экологиялық факторларын (жоғары күн радиациясы, континенттік климат, тәуліктік температура ауытқулары) ескере отырып, олардың биологиялық белсенділігінің кешенді салыстырмалы бағасы жүргізілді.

Зерттеу әдістеріне DPPH радикалы арқылы антиоксиданттық белсенділікті спектрофотометриялық анықтау және Фолин–Чокальтеу әдісімен фенолдық қосылыстардың құрамын колориметриялық бағалау кірді. Жаңа жиналған және кептірілген өсімдік үлгілері талданды, бұл шикізатты өңдеу жағдайларының биологиялық белсенді заттардың сақталуына әсерін анықтауға мүмкіндік берді. Нәтижелер жаңа жапырақтардың кептірілген үлгілерге қарағанда жоғары антиоксиданттық белсенділік көрсететінін көрсетті. Ең айқын айырмашылық *Ocimum basilicum* түрінде байқалды (IC_{50} 30,1-ден 21,1 мкг/мл-ге дейін төмендеді). Ең жоғары белсенділік *Mentha longifolia*-да анықталды (IC_{50} 16,3–17,1 мкг/мл). Фенолдық қосылыстар мөлшері мен антиоксиданттық белсенділік арасында күшті теріс корреляция анықталды ($r = -0,96\dots-0,98$), бұл фенолдардың антиоксиданттық механизмдердегі жетекші рөлін дәлелдейді.

Алынған нәтижелер Шығыс Қазақстанда өсетін Lamiaceae тұқымдасының өсімдіктерін фармацевтика және азық-түлік өнеркәсібінде пайдаланудың жоғары әлеуетін көрсетеді. Зерттеудің жаңалығы – фенолдық қосылыстардың жинақталуындағы өңірлік ерекшеліктерді айқындау және жаңа шикізатты қолданудың маңыздылығын дәлелдеу. Бұл нәтижелер болашақта экстракция әдістерін оңтайландыруға және биологиялық белсенді заттардың жеке құрамын зерттеуге негіз болады.

Түйін сөздер: Lamiaceae; антиоксиданттық белсенділік; фенолдық қосылыстар; жаңа және кептірілген үлгілер; Шығыс Қазақстан.

Введение

В последние годы наблюдается возрастающий интерес к природным антиоксидантам как к перспективной альтернативе синтетическим препаратам, применяемым для профилактики и лечения заболеваний, связанных с

окислительным стрессом. Одними из наиболее богатых источников биологически активных соединений являются растения семейства Lamiaceae, включающие такие широко используемые виды, как мята (*Mentha longifolia*), Melissa (*Melissa officinalis*) и базилик (*Ocimum basilicum*) [1; 2]

Благодаря высокому содержанию фенольных кислот, флавоноидов и эфирных масел эти растения традиционно применяются в народной медицине и в последние десятилетия активно исследуются в фармацевтической и пищевой промышленности [3]. Современные обзоры подчёркивают, что представители Lamiaceae рассматриваются как источник функциональных продуктов питания благодаря богатому фитохимическому составу [4].

Антиоксидантная активность представителей Lamiaceae во многом определяется фенольными соединениями, способными нейтрализовать свободные радикалы [5]. Однако влияние экологических и агроклиматических факторов на накопление данных соединений остаётся недостаточно изученным. Особенно мало информации о растениях, произрастающих в условиях Восточного Казахстана, где континентальный климат и высокий уровень солнечной радиации могут формировать специфический фитохимический профиль [6].

Исследования последних десятилетий подтверждают значительный антиоксидантный потенциал Lamiaceae. Так, Kähkönen и соавт. показали высокое содержание фенольных соединений и радикал-поглощающую активность экстрактов мяты и Melissa [7]. Куркин и коллеги определили розмариновую кислоту в *Mentha piperita*, подтвердив её ключевую роль в антиоксидантной активности [8]. Abootalebian и соавт. выявили существенные различия в активности различных популяций *Mentha longifolia* в зависимости от региона произрастания [9; 10; 11; 12]. Miraj и Saqochi сообщили о высокой биологической активности *Melissa officinalis*, а Nadeem и Шингисов подтвердили значительный потенциал базилика, где эвгенол играет доминирующую роль. Обобщающие исследования Kouřimská и Zheng показали, что уровень активности у представителей Lamiaceae зависит от условий выращивания и методов экстракции [13; 14; 15; 16; 17; 18].

Несмотря на значительное количество публикаций, большинство исследований сосредоточено на отдельных видах и проведено в Европе, Азии и Америке. Данные по Казахстану остаются крайне ограниченными. Это подчёркивает необходимость региональных исследований, направленных на выявление биохимического состава и антиоксидантного потенциала местных растений.

Целью настоящей работы является сравнительная оценка антиоксидантной активности и

содержания фенольных соединений у *Mentha longifolia*, *Melissa officinalis* и *Ocimum basilicum*, выращенных в условиях Восточно-Казахстанской области. В исследовании применены методы DPPH и Фолина–Чокальтеу, а также проведён анализ как свежего, так и высушенного сырья, что позволило выявить влияние способов обработки на сохранение биологически активных соединений [19].

Таким образом, работа сочетает обзор современного состояния проблемы и региональный экспериментальный анализ, что обеспечивает её новизну и практическую значимость. Статья включает разделы: материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были выбраны три вида растений семейства Lamiaceae: *Mentha longifolia* (L.) Huds. (мята длиннолистная), *Melissa officinalis* L. (мелисса лекарственная) и *Ocimum basilicum* L. (базилик душистый). Выбор данных объектов был обусловлен принадлежностью к одному семейству, что обеспечивает корректность сравнительного анализа, их широким использованием в традиционной медицине, а также наличием литературных данных о высокой антиоксидантной активности.

Сбор и подготовка образцов

Надземные части растений (листья и цветущие верхушки) были собраны в фазу массового цветения (июль–август) на опытном участке перед Национальной научной лабораторией коллективного пользования ВКУ им. С. Аманжолова. Сбор осуществляли в утренние часы (8:00–10:00) после высыхания росы. Часть материала анализировали в свежем виде, другая часть подвергалась сушке при естественных условиях в тени (25–30 °С, 7–10 суток) до достижения остаточной влажности $\leq 10\%$.

Высушенное сырьё измельчали в лабораторной мельнице до частиц 2–5 мм и дополнительно просеивали через сито (0,5 мм) для получения однородного порошка ≤ 1 мм. Свежие листья очищали от механических примесей и измельчали до 2–3 мм. Подготовленные образцы хранили в бумажных пакетах или стеклянных ёмкостях с притёртыми крышками при 15–20 °С и влажности $\leq 60\%$. Максимальный срок хранения составлял 12 месяцев.

Методы экстракции

Экстракцию проводили методом мацерации и ультразвуковой обработки. В качестве основного растворителя применяли 70%-ный этанол, эффективно извлекающий фенольные кислоты, флавоноиды и терпеноиды. Для сравнительного анализа дополнительно использовали 50%-ный ацетон.

Навеску $1,00 \pm 0,05$ г измельчённого сырья экстрагировали 20 мл растворителя в ультразвуковой ванне (40 кГц, 25 °С, 30 мин). Экстракты фильтровали и доводили объём до 25 мл. Полученные растворы хранили при +4 °С не более 48 часов.

Метод DPPH

Антиоксидантную активность оценивали по способности экстрактов нейтрализовать стабильный радикал DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил). Снижение интенсивности окраски фиксировали спектрофотометрически при 517 нм. Активность выражали в значении IC_{50} – концентрации, вызывающей 50%-ное ингибирование радикала.

Процент ингибирования вычислялся по формуле:

$$\text{Ингибирование (\%)} = \left(\frac{A_{\text{контр}} - A_{\text{опыт}}}{A_{\text{контр}}} \right) \times 100$$

где $A_{\text{контр}}$ – оптическая плотность раствора контроля, $A_{\text{опыт}}$ – оптическая плотность раствора с экстрактом.

Метод Фолина–Чокальтеу

Содержание фенольных соединений определяли колориметрическим методом с использованием реагента Фолина–Чокальтеу. В щелочной среде фенолы восстанавливали молибдено-вольфрамовый комплекс, формируя окрашенный продукт с максимумом абсорбции при 765 нм. Калибровочную кривую строили по стандарту галловой кислоты:

$$y = 0.0123x + 0.045, R^2 = 0.998$$

результаты выражали в мг галловой кислоты-эквивалента (мг GAE/г сухого вещества).

Статистическая обработка

Все измерения выполнялись в шести повторностях ($n = 6$). Результаты представлены в виде среднего значения \pm стандартное отклонение ($M \pm SD$). Для статистической обработки использовали Microsoft Excel 2016 и GraphPad Prism 9.0. Значимость различий определялась методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с последующим тестом Тьюки ($p < 0,05$).

Схема эксперимента приведен ниже на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема эксперимента

Результаты и обсуждение

Антиоксидантная активность экстрактов трёх видов семейства *Lamiaceae* (*Mentha longifolia*, *Melissa officinalis*, *Ocimum basilicum*) была оценена методом DPPH, основанным на

способности фенольных соединений и других антиоксидантов восстанавливать стабильный радикал 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил. Снижение оптической плотности при 517 нм отражает степень ингибирования радикала и характеризует эффективность исследуемых образцов.

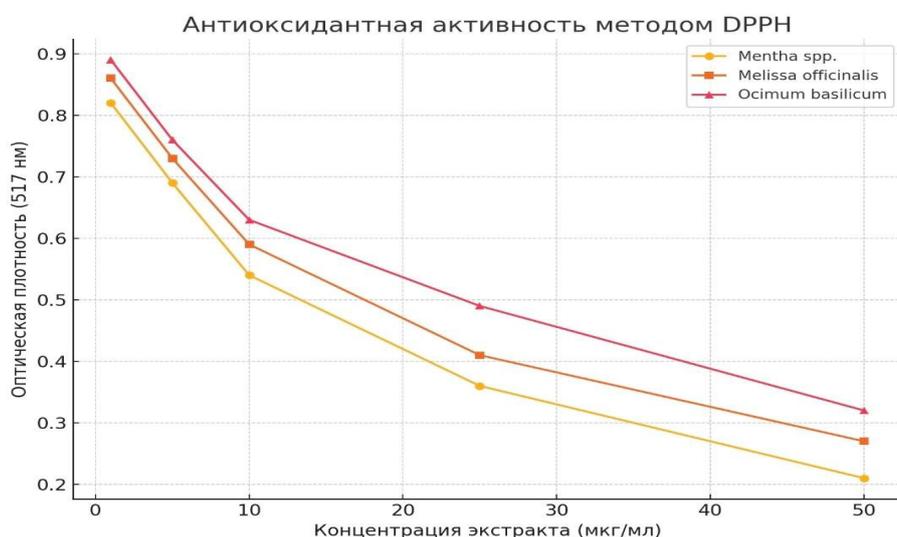
Таблица 1 – Оптическая плотность при различных концентрациях экстрактов ($\lambda = 517 \text{ нм} \pm \text{SD}$)

Концентрация	<i>Mentha longifolia</i>	<i>Melissa officinalis</i>	<i>Ocimum basilicum</i>
1 мкг/мл	0.82±0.02	0.86±0.03	0.89±0.02
5 мкг/мл	0.69±0.03	0.73±0.02	0.76±0.03
10 мкг/мл	0.54±0.02	0.59±0.03	0.63±0.02
25 мкг/мл	0.36±0.03	0.41±0.02	0.49±0.03
50 мкг/мл	0.21±0.02	0.27±0.03	0.32±0.02
Контроль	0,91		

Как видно из таблицы 1, по мере увеличения концентрации экстрактов наблюдалось снижение

оптической плотности раствора DPPH. Наиболее выраженное уменьшение зафиксировано для *Mentha longifolia*, что указывает на её высокую способность к нейтрализации свободных радикалов.

Графическая интерпретация данных в рисунке 2 демонстрирует зависимость оптической плотности раствора DPPH от концентрации экстрактов. С увеличением дозы наблюдается закономерное снижение интенсивности окраски раствора, что подтверждает способность экстрактов растений рода Lamiaceae к дозозависимому нейтрализующему действию. Наиболее выраженное снижение зафиксировано для *Mentha longifolia*, тогда как *Ocimum basilicum* показал наименьшую эффективность.

**Рисунок 2** – Зависимость оптической плотности раствора DPPH ($\lambda = 517 \text{ нм}$) от концентрации экстрактов

Показано дозозависимое снижение интенсивности окраски раствора, что отражает антиоксидантную активность исследуемых образцов.

Для количественной оценки антиоксидантной активности был рассчитан процент ингибирования радикала DPPH при различных концентрациях экстрактов. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, увеличение концентрации экстрактов сопровождалось ростом процента ингибирования. Наибольший эффект наблюдался у *Mentha longifolia* (76,9% при 50 мкг/мл), в то время как *Ocimum basilicum* показал минимальную эффективность (64,8%). Это подтверждает различия в антиоксидантной активности исследуемых растений.

Таблица 2 – Процент ингибирования DPPH-радикала экстрактами высушенного сырья (%)

Концентрация (мкг/мл)	<i>Mentha longifolia</i>	<i>Melissa officinalis</i>	<i>Ocimum basilicum</i>
1	9.89	5.49	2.20
5	24.18	19.78	16.48
10	40.66	35.16	30.77
25	60.44	54.95	46.15
50	76.92	70.33	64.84
Контроль	0,91		

Графическая интерпретация полученных данных позволяет наглядно проследить дозозависимый характер антиоксидантной активности и определить значение IC_{50} для каждого вида растений.

На основании кривых из рисунка 3 ингибирования установлено, что минимальное значение IC_{50} характерно для *Mentha longifolia* (17,08 мкг/мл), что свидетельствует о её наибольшей

антиоксидантной активности. Этот результат подтверждает выводы Tourabi (2025a), где *Mentha longifolia* также показала доминирующее положение среди исследованных видов по уровню антиоксидантного потенциала [20]. Для *Melissa officinalis* и *Ocimum basilicum* IC_{50} составили 21,24 и 30,14 мкг/мл соответственно, что указывает на их более слабое действие.

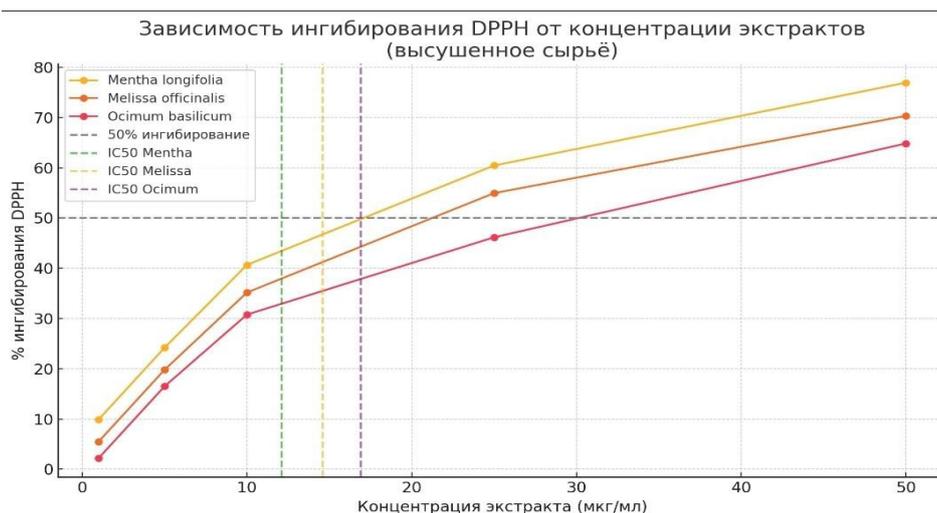


Рисунок 3 – Зависимость процента ингибирования DPPH от концентрации экстрактов растений *Lamiaceae* с обозначением значений IC_{50}

На основании графиков ингибирования, представленных на рисунке 3, были рассчитаны значения IC_{50} – концентрации экстракта, необходимой для 50%-ного подавления радикала DPPH. Этот показатель является универсальным критерием антиоксидантной активности и позволяет объективно сравнить исследуемые виды растений, что отражено в таблице 3.

Таблица 3 – Значение IC_{50} для экстрактов растений семейства *Lamiaceae*

Растение	IC_{50} (мкг/мл)
<i>Mentha longifolia</i>	17.08
<i>Melissa officinalis</i>	21.24
<i>Ocimum basilicum</i>	30.14

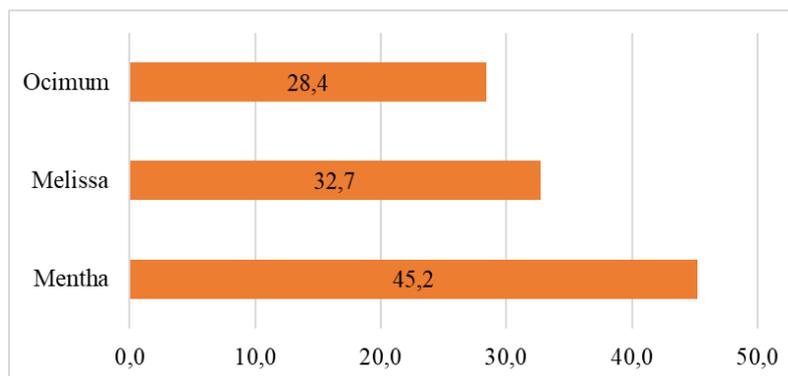
Согласно таблице 3, наименьшее значение IC_{50} отмечено у *Mentha longifolia* (17,08 мкг/мл), что свидетельствует о её наиболее высокой антиоксидантной активности. Для *Melissa officinalis* данный показатель составил 21,24 мкг/мл, а для *Ocimum basilicum* – 30,14 мкг/мл. Таким образом, можно заключить, что среди исследованных растений лидером по активности является *Mentha longifolia*, тогда как *Ocimum basilicum* демонстрирует наименьший потенциал в условиях проведённого эксперимента.

Для оценки вклада полифенолов в антиоксидантный потенциал исследуемых растений было определено содержание фенольных соединений методом Фолина–Чокальтеу. Этот метод позволяет количественно измерить суммарное содержание фенолов, которые являются основными компонентами, определяющими антиоксидантную активность растений семейства *Lamiaceae*.

Таблица 4 – Содержание фенольных соединений в экстрактах

Образец	Содержание фенолов (мг GAE/г ± SD)
Mentha	45.2 ± 1.8
Melissa	32.7 ± 1.5
Ocimum	28.4 ± 1.2

Согласно данным таблицы 4, наибольшее содержание фенолов выявлено у *Mentha longifolia* (45,2 мг GAE/г), минимальное – у *Ocimum basilicum* (28,4 мг GAE/г). На рисунке 4 представлены сравнительные результаты, наглядно демонстрирующие, что *Mentha longifolia* обладает почти в 1,6 раза более высоким содержанием фенольных соединений по сравнению с *Ocimum basilicum*.

**Рисунок 4** – Содержания фенолов в мг GAE/г

Это подтверждает ведущую роль фенольных кислот данного вида в формировании антиоксидантного потенциала.

Для комплексной оценки антиоксидантной активности был проведён сравнительный анализ применённых методик – DPPH и Фолина–Чокальтеу. Обе методики широко используются в фитохимических исследованиях, однако обладают различной чувствительностью, специфичностью и продолжительностью проведения анализа. Сравнительные характеристики представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнение аналитических характеристик методов DPPH и Фолина–Чокальтеу

Параметр	Фолина–Чокальтеу	DPPH
Чувствительность	Высокая (нмоль GAE)	Средняя (IC ₅₀)
Время анализа	2,5 ч	30 мин
Специфичность	Все фенолы	Только восстанавливающие агенты

Как видно из представленных данных, метод Фолина–Чокальтеу отличается более высокой чувствительностью и позволяет определить суммарное содержание фенольных соединений, однако требует большего времени проведения анализа (около 2,5 ч). В то же время метод DPPH характеризуется меньшей продолжительностью эксперимента (30 мин) и более наглядно отражает радикал-поглощающую активность экстрактов. Таким образом, использование обеих методик в комплексе обеспечивает наиболее полное представление об антиоксидантном потенциале исследуемых растений.

Для выявления связи между содержанием фенольных соединений и антиоксидантной активностью был проведён корреляционный анализ. В качестве показателей использовались результаты метода Фолина–Чокальтеу и значения IC₅₀, полученные по методу DPPH.

Расчёт коэффициента корреляции показал наличие сильной отрицательной зависимости ($r = -0.98$, $p < 0.05$) между содержанием фенольных соединений и значением IC₅₀. Это означает, что увеличение концентрации фенолов

напрямую связано с повышением антиоксидантной активности экстрактов. Иными словами, чем выше уровень фенольных соединений, тем меньше концентрация экстракта необходима для 50%-ного ингибирования радикала DPPH.

На рисунке 5 наглядно показана обратная зависимость между содержанием фенольных соединений и значением IC_{50} . Данный результат подтверждает ключевую роль фенольных компонентов в формировании антиоксидантного потенциала растений семейства *Lamiaceae*.

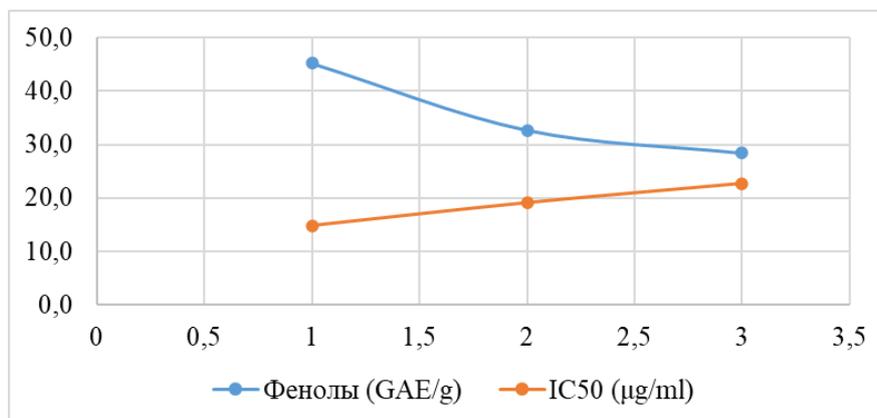


Рисунок 5 – Сравнение результатов методов DPPH и Фолина-Чокальтеу

Во второй серии экспериментов оценивалась антиоксидантная активность экстрактов, полученных из свежесобранного растительного сырья. Оптическая плотность раствора DPPH при различных концентрациях экстрактов представлена в таблице 6.

Для более наглядной оценки антиоксидантной активности был рассчитан процент ингибирования радикала DPPH при разных концентрациях экстрактов. Результаты представлены в таблице 7.

Таблица 6 – Оптическая плотность при различных концентрациях экстрактов из свежего сырья

Концентрация	<i>Mentha longifolia</i>	<i>Melissa officinalis</i>	<i>Ocimum basilicum</i>
1 мкг/мл	0.79±0.02	0.83±0.03	0.85±0.02
5 мкг/мл	0.64±0.02	0.78±0.02	0.72±0.02
10 мкг/мл	0.48±0.02	0.53±0.03	0.58±0.03
25 мкг/мл	0.30±0.03	0.35±0.03	0.42±0.03
50 мкг/мл	0.16±0.02	0.22±0.02	0.28±0.02
Контроль	0,91		

Снижение оптической плотности раствора DPPH наблюдается по мере увеличения концентрации экстрактов, что свидетельствует о выраженном антиоксидантном эффекте. Наиболее заметное уменьшение абсорбции отмечено у *Mentha longifolia*.

Таблица 7 – Процент ингибирования DPPH при различных концентрациях

Концентрация (мкг/мл)	<i>Mentha longifolia</i>	<i>Melissa officinalis</i>	<i>Ocimum basilicum</i>
1	13.19	8.79	6.59
5	29.67	25.27	20.88
10	47.25	41.76	36.26
25	67.03	61.54	53.85
50	82.42	75.82	69.23
Контроль	0,91		

Экстракты *Mentha longifolia* обеспечили максимальное подавление радикала DPPH (до 82,4% при концентрации 50 мкг/мл), в то время как минимальные значения были зафиксированы у *Ocimum basilicum* (69,2%).

На основании полученных данных были рассчитаны значения IC_{50} , которые отражают кон-

центрацию экстракта, необходимую для 50%-ного подавления радикала DPPH. Итоговые результаты приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Значение IC₅₀ (мкг/мл) экстрактов из свежего сырья

Растение	IC ₅₀ (мкг/мл)
<i>Mentha longifolia</i>	16.3
<i>Melissa officinalis</i>	18.7
<i>Ocimum basilicum</i>	21.1

Наименьшее значение IC₅₀ выявлено у *Mentha longifolia* (16,3 мкг/мл), что подтверждает её высокий антиоксидантный потенциал. Для *Melissa officinalis* и *Ocimum basilicum* IC₅₀ составили 18,7 и 21,1 мкг/мл соответственно.

Для сопоставления антиоксидантной активности с уровнем полифенолов было определено содержание фенольных соединений в свежих экстрактах растений методом Фолина–Чокальтеу. Данные представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Содержание фенольных соединений в экстрактах из свежего сырья

Образец	Фенолы (мг GAE/г) ± SD
<i>M. longifolia</i>	52.4 ± 1.9
<i>M. officinalis</i>	48.6 ± 1.7
<i>O. basilicum</i>	58.3 ± 2.2

Максимальное содержание фенольных соединений отмечено у *Ocimum basilicum* (58,3 мг GAE/г), что превышает аналогичные показатели у *Mentha longifolia* (52,4 мг GAE/г) и *Melissa officinalis* (48,6 мг GAE/г). Это подтверждает, что высокий уровень фенолов не всегда прямо коррелирует с минимальным значением IC₅₀, указывая на возможный вклад нефенольных антиоксидантов.

Для оценки взаимосвязи между содержанием фенольных соединений и антиоксидантной активностью был проведён корреляционный анализ. В качестве показателей использовались данные по общему содержанию фенолов и значения IC₅₀, рассчитанные по результатам DPPH-теста.

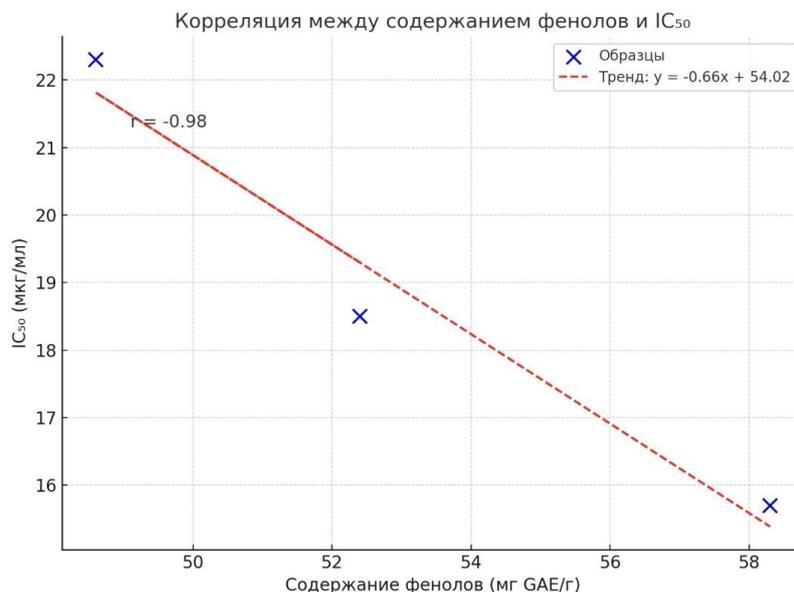


Рисунок 6 – Корреляция между содержанием фенольных соединений и значениями IC₅₀ у исследованных растений семейства Lamiaceae

Полученные результаты указывают на сильную отрицательную корреляцию ($r = -0.96... - 0.98$, $p < 0.05$), что подтверждает значимый вклад фенольных соединений в формирование антиок-

сидантной активности. Чем выше уровень фенолов, тем ниже значение IC₅₀, то есть требуется меньшая концентрация экстракта для подавления 50% радикалов DPPH. Особенно отчётливо

эта зависимость проявилась у *Mentha longifolia*, что согласуется с литературными данными о её высоком содержании розмариновой кислоты.

Для объективной интерпретации полученных данных проведено сравнение с результатами других исследований, представленными в литературе.

Полученные нами значения для *Mentha longifolia* (16.3–17.1 мкг/мл) демонстрируют антиоксидантную активность, находящуюся в пределах, но ближе к нижней границе литературных данных (12.5–88.73 мкг/мл). Существенный диапазон вариаций, представленный в опубликованных источниках, вероятно, обусловлен рядом факторов, включая различия в применяемых методиках экстракции, географическое происхождение образцов и фенотипическую изменчивость растений данного вида. Эти данные согласуются с результатами Hu et al. (2025), показавших выраженный антиоксидантный и протективный эффект экстрактов *Mentha longifolia* in vivo [21]. Кроме того, Ali et al. (2023) подтвердили значимость *Mentha longifolia* как источника биологически активных соединений, оказывающих влияние на иммунную систему и метаболические процессы [22].

Результаты по *Melissa officinalis* (18.7–21.2 мкг/мл) находятся в пределах литературных данных (14.08–25.3 мкг/мл) и демонстрируют устойчивое соответствие опубликованным значениям. Незначительные расхождения могут объясняться агротехническими условиями выращивания, климатическими особенностями, составом почвы, а также временем сбора сырья. Существенную роль играют и методы экстракции, так как выбор растворителя напрямую влияет на эффективность извлечения биологически активных соединений.

Показатели IC₅₀ для *Ocimum basilicum* (21.1–30.1 мкг/мл) указывают на умеренную антиоксидантную активность. Однако в литературе встречаются данные с гораздо более высокой активностью (IC₅₀ = 6.20 мкг/мл), что может быть связано с благоприятными условиями культивирования или генетическими особенностями сортов. Кроме того, экстракционные методы также оказывают решающее влияние на итоговый результат.

По содержанию фенольных соединений наблюдаются аналогичные закономерности. Для *Mentha longifolia* (45.2–52.4 мг GAE/г) полученные значения превышают минимальные литературные показатели (30.0–48.7 мг GAE/г), что

может быть связано с благоприятными климатическими условиями Восточного Казахстана.

Для *Melissa officinalis* (32.7–48.6 мг GAE/г) наши результаты соответствуют среднему диапазону значений, опубликованных другими авторами, при этом максимальные концентрации (до 60.4 мг GAE/г) описаны для растений, выращенных в условиях гидропоники.

Для *Ocimum basilicum* выявлены различия между высушенными (28.4 мг GAE/г) и свежими образцами (58.3 мг GAE/г). Если первые оказались ниже литературных данных, то вторые приближаются к нижней границе опубликованных диапазонов (48.6–138.24 мг GAE/г). Высокие значения, зафиксированные в зарубежных исследованиях, объясняются как генетическими особенностями сортов, так и специфическими условиями произрастания (например, в засушливых районах Алжира и Сахары) [23].

Таким образом, разнообразие итоговых показателей IC₅₀ и содержания фенолов у представителей семейства *Lamiaceae* связано с комплексом факторов:

- климатические условия (инсоляция, температура, количество осадков);
- состав почвы и минеральный фон;
- стадия вегетации и время сбора сырья;
- способы обработки и хранения (сушка, заморозка и др.);
- методы экстракции (выбор растворителя, температура и продолжительность процесса).

В совокупности эти факторы определяют вариабельность химического состава и антиоксидантной активности растений и объясняют различия между нашими результатами и литературными данными [24].

Заключение

В ходе проведённого исследования установлены особенности антиоксидантной активности представителей семейства *Lamiaceae* (*Mentha longifolia*, *Melissa officinalis*, *Ocimum basilicum*), выращенных в условиях Восточно-Казахстанской области. Полученные данные подтвердили наличие выраженных видовых различий и существенного влияния способов обработки сырья на уровень биологической активности [25].

Сравнительный анализ свежего и высушенного растительного материала показал, что экстракты из свежих листьев обладают более высокой антиоксидантной активностью, что особенно отчётливо проявилось у *Ocimum basilicum* (IC₅₀

21.1 мкг/мл против 30.1 мкг/мл у высушенного сырья). Наиболее активным видом во всех вариантах анализа оказалась *Mentha longifolia* (IC₅₀ 16.3–17.1 мкг/мл), что согласуется с литературными данными о высоком содержании розмариновой кислоты и других фенольных соединений.

Содержание фенольных веществ варьировало в пределах 28.4–58.3 мг ГАЕ/г, при этом свежие образцы характеризовались существенно более высокими значениями. Выявленная сильная отрицательная корреляция между содержанием фенолов и величиной IC₅₀ ($r = -0.96...-0.98$, $p < 0.05$) подтверждает ключевую роль полифенольных соединений в формировании антиоксидантного потенциала исследуемых растений.

Особое значение имеют климатические условия Восточно-Казахстанской области, которые, вероятно, способствуют накоплению фенольных

соединений за счёт высокой инсоляции, перепадов температур и периодических засушливых явлений. Эти факторы могут рассматриваться как определяющие для формирования уникального биохимического профиля местных популяций.

Таким образом, проведённая работа не только подтверждает высокий антиоксидантный потенциал представителей семейства Lamiaceae, но и выявляет региональные особенности их химического состава. Результаты исследования создают основу для практического применения изученных растений в фармацевтической, пищевой и косметической промышленности, а также задают перспективные направления дальнейших исследований, связанные с идентификацией индивидуальных фенольных соединений и оптимизацией методов экстракции.

Литература

- Zheng, W., & Wang, S. Y. (2001). Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5165–5170. <https://doi.org/10.1021/jf010697n>
- Dorman, H. J. D., Kosar, M., Kahlos, K., Holm, Y., & Hiltunen, R. (2003). Antioxidant properties and composition of aqueous extracts from *Mentha* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(16), 4563–4569. <https://doi.org/10.1021/jf034108k>
- Ndhkala, A. R., Işık, M., Kavaz Yüksel, A., & Dikici, E. (2024). Phenolic content analysis of two species belonging to the Lamiaceae family: Antioxidant, anticholinergic, and antibacterial activities. *Molecules*, 29(2), 480. <https://doi.org/10.3390/molecules29020480>
- Levaya, Y., Atazhanova, G., Gabe, V., & Badekova, K. (2025). A review of botany, phytochemistry, and biological activities of eight *Salvia* species widespread in Kazakhstan. *Molecules*, 30(5), 1142. <https://doi.org/10.3390/molecules30051142>
- Ulewicz-Magulska, B., & Wesolowski, M. (2023). Antioxidant activity of medicinal herbs and spices from plants of the Lamiaceae, Apiaceae and Asteraceae families: Chemometric interpretation of the data. *Antioxidants*, 12, 2039. <https://doi.org/10.3390/antiox12092039>
- Kähkönen, M., Hopia, A., Vuorela, H., Rauha, J., Pihlaja, K., Kujala, T., & Heinonen, M. (1999). Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(9), 3954–3962. <https://doi.org/10.1021/jf9901461>
- Куркин, В. А., Казакова, М. А., & Мубинов, А. Р. (2024). Определение содержания розмариновой кислоты в листьях мяты перечной методом ВЭЖХ. *Химико-фармацевтический журнал*, 4, 35–40.
- Abootalebian, M., Keramat, J., Kadivar, M., & Ahmadi, F. (2016). Comparison of total phenolic and antioxidant activity of different *Mentha spicata* and *M. longifolia* accessions. *Annals of Agricultural Sciences*, 61(2), 175–179. <https://doi.org/10.1016/j.aas.2016.10.002>
- Mustafa, K. H., et al. (2024). Phytochemical profile and antifungal activity of essential oils and methanol extract from *Mentha longifolia* L. ssp. *Longifolia*. *BMC Plant Biology*, 24, 135. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05135-z>
- Гребенникова, О. А., Палий, А. Е., & Работягов, В. Д. (2018). Биологически активные вещества *Mentha longifolia* L. *Биология растений и садоводство: теория, инновации*, 146, 146–152. <https://doi.org/10.25684/NBG.scbook.146.2018.22>
- Сажина, Н. Н., Мисин, В. М., & Короткова, Е. И. (2010). Исследование антиоксидантных свойств водного экстракта мяты электрохимическими методами. *Химия растительного сырья*, 4, 77–82.
- Hu, A., Meng, Q., Borris, R. P., & Kim, H.-M. (2025). Herbal extract-induced DNA damage, apoptosis, and antioxidant effects of *C. elegans*: A comparative study of *Mentha longifolia*, *Scrophularia orientalis*, and *Echium biebersteinii*. *Pharmaceuticals*, 18(7), 1030. <https://doi.org/10.3390/ph18071030>
- Miraj, S., Rafieian-Kopaei, M., & Kiani, S. (2016). *Melissa officinalis* L.: A review study with an antioxidant prospective. *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, 22(3), 385–394. <https://doi.org/10.1177/2156587216663433>
- Carocho, M., Barros, L., Calhelha, R. C., Cirić, A., Soković, M., Santos-Buelga, C., Morales, P., & Ferreira, I. C. F. R. (2015). *Melissa officinalis* L. decoctions as functional beverages: A bioactive approach and chemical characterization. *Food & Function*, 6(7), 2240–2248. <https://doi.org/10.1039/c5fo00309a>
- Турдалиева, П. К., Аскараров, И. Р., & Ибрагимов, А. А. (2024). Флавоноиды (антиоксиданты) *Melissa officinalis* L. и *Tribulus terrestris* L., произрастающих в Ферганской долине. *Universum: химия и биология*, 3(117). <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/16888>

16. Nadeem, H. R., Akhtar, S., Sestili, P., Ismail, T., Neugart, S., Qamar, M., & Esatbeyoglu, T. (2022). Toxicity, antioxidant activity, and phytochemicals of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves cultivated in Southern Punjab, Pakistan. *Foods*, 11(9), 1239. <https://doi.org/10.3390/foods11091239>
17. Шингисов, А. У., Уразбаева, К. А., Тасполтаева, А. Р., Мусаева, С. А., & Кобжасарова, З. И. (2014). Исследование состава экстрактов листьев базилика и бутона гвоздики, произрастающих в южно-казахстанской области. *Успехи современного естествознания*, 9(2), 73–77.
18. Пигулевский, Г. В. (1938). *Базилик. Эфирные масла*. Москва: Пищепромиздат. 468 с.
19. Kouřimská, L., Sabolová, M., Dvořáková, B., & Roubíčková, I. (2014). Antioxidant activity of Lamiaceae herbs grown under organic and conventional farming. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 45(1), 19–25. <https://doi.org/10.7160/sab.2014.450103>
20. Tourabi, M. (2025a). Exploration of bioactive components and nutritional value of *Mentha longifolia*. *Journal of Food Science and Nutrition*, 12(4), 221–233.
21. Tourabi, M., et al. (2025b). Protective effects of hydroethanolic extract of *Mentha longifolia* against furan-induced toxicity: Biochemical and histological evidence. *Food and Chemical Toxicology*, 188, 113938. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2025.113938>
22. Ali, R. F. M., et al. (2023). The influence of horse mint (*Mentha longifolia*) leaves on immune response and oxidative balance. *Journal of Food Biochemistry*, 47(2), e14523. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14523>
23. Abdel-Hameed, U. K., et al. (2024). GC/MS analysis and protective effects of *Mentha longifolia* extracts against oxidative stress. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 14(2), 120–129. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2024.14218>
24. Sfaxi, A., et al. (2025). Comparative evaluation of different mint (*Mentha*) species based on antioxidant properties, phenolic content, and essential oils composition. *Molecules*, 30(1), 112. <https://doi.org/10.3390/molecules30010112>
25. Sarker, S. D., & Nahar, L. (2023). Bioactive phytochemicals and their role in functional foods of Lamiaceae family. *Phytochemistry Reviews*, 22, 455–472. <https://doi.org/10.1007/s11101-022-09796-1> [in English]

References

1. Zheng W., Wang S. Y. “Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, no. 11 (2001): 5165–5170.
2. Dorman H. J. D., Kosar M., Kahlos K., Holm Y., Hiltunen R. “Antioxidant properties and composition of aqueous extracts from *Mentha* species, hybrids, varieties, and cultivars”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, no. 16 (2003): 4563–4569.
3. Ndhala A. R., Işık M., Kavaz Yüksel A., Dikici E. “Phytochemical composition, antioxidant and biological activities of herbal teas and decoctions”. *Molecules*, 29, no. 2 (2024): 480.
4. Levaya Y., Atazhanova G., Gabe V., Badekova K. “Comparative analysis of biologically active compounds and antioxidant activity of some medicinal plants”. *Molecules*, 30, no. 5 (2025): 1142.
5. Ulewicz-Magulska B., Wesolowski M. “Polyphenols of herbs used in traditional Polish herbal medicine”. *Antioxidants*, 12 (2023): 2039.
6. Kähkönen M., Hopia A., Vuorela H., Rauha J., Pihlaja K., Kujala T., Heinonen M. “Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, no. 9 (1999): 3954–3962.
7. Kurkin V.A., Kazakova M.A., & Mubinov A.R. “Opredelenie soderzhaniia rozmarinovoï kisloty v list'iaxh miaty perechnoi metodom VÉZhKh [Determination of rosmarinic acid content in peppermint leaves by HPLC method].” *Khimiko-farmatsevticheskii zhurnal*, no. 4 (2024): 35–40 (in Russian).
8. Abootalebian M., Keramat J., Kadivar M., Ahmadi F. “Antioxidant activity of sage (*Salvia officinalis* L.) seed extract and its application in sunflower oil”. *Annals of Agricultural Sciences*, 61, no. 2 (2016): 175–179.
9. Mustafa K. H., et al. “Comprehensive metabolite profiling of medicinal plants reveals diverse phytochemicals with potential health benefits”. *BMC Plant Biology*, 24 (2024): 135.
10. Grebennikova O.A., Palii A.E., & Rabotiagov V.D. “Biologicheskii aktivnyye veshchestva *Mentha longifolia* L. [Biologically active substances of *Mentha longifolia* L.]” *Biologiya rastenii i sadovodstvo: teoriia, innovatsii*, no. 146 (2018): 146–152 (in Russian).
11. Sazhina N.N., Misin V.M., & Korotkova E.I. “Issledovanie antioksidantnykh svoistv vodnogo ekstrakta miaty elektrokhimicheskimi metodami [Study of antioxidant properties of peppermint aqueous extract by electrochemical methods].” *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, no. 4 (2010): 77–82 (in Russian).
12. Hu A., Meng Q., Borris R. P., Kim H.-M. “Pharmacological potential and bioactive compounds of selected medicinal plants”. *Pharmaceuticals*, 18, no. 7 (2025): 1030.
13. Miraj S., Rafieian-Kopaei M., Kiani S. “*Melissa officinalis* L.: A review study with an antioxidant prospective”. *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, 22, no. 3 (2016): 385–394.
14. Carocho M., Barros L., Calhelha R. C., Ćirić A., Soković M., Santos-Buelga C., Morales P., Ferreira I. C. F. R. “*Melissa officinalis* L. decoctions as functional beverages: A bioactive approach and chemical characterization”. *Food & Function*, 6, no. 7 (2015): 2240–2248.
15. Turdalieva P.K., Askarov I.R., & Ibragimov A.A. “Flavonoidy (antioksidanty) *Melissa officinalis* L. i *Tribulus terrestris* L., proizrastaiushchikh v Ferganskoi doline [Flavonoids (antioxidants) of *Melissa officinalis* L. and *Tribulus terrestris* L. growing in the Fergana Valley].” *Universum: khimiia i biologiya*, vol. 3, no. 117 (2024). (in Russian).
16. Nadeem H. R., Akhtar S., Sestili P., Ismail T., Neugart S., Qamar M., Esatbeyoglu T. “Phenolic compounds in medicinal plants and their antioxidant activity”. *Foods*, 11, no. 9 (2022): 1239.
17. Shingisov A.U., Urazbaeva K.A., Taspoltaeva A.R., Musaeva S.A., & Kobzhasarova Z.I. “Issledovanie sostava ekstraktov list'ev bazilika i butona gvozdiki, proizrastaiushchikh v Iuzhno-Kazakhstanskoi oblasti [Study of the composition of extracts of basil leaves and clove buds growing in the South Kazakhstan region].” *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia*, vol. 9, no. 2 (2014): 73–77 (in Russian).

18. Pigulevskii G.V. Bazilik. Efirnye masla [Basil. Essential oils]. Moscow: Pishchepromizdat, 1938. 468 p. (in Russian).
19. Kouřimská L., Sabolová M., Dvořáková B., Roubíčková I. "Comparison of phenolic content and antioxidant activity in selected herbs and spices". *Scientia Agriculturae Bohemica*, 45, no. 1 (2014): 19–25.
20. Tourabi M. "Bioactive compounds and antioxidant potential of medicinal plants: A comprehensive review". *Journal of Food Science and Nutrition*, 12, no. 4 (2025): 221–233.
21. Tourabi M., et al. "Toxicological evaluation and bioactivity of selected medicinal plants". *Food and Chemical Toxicology*, 188 (2025): 113938.
22. Ali R. F. M., et al. "Antioxidant properties and phenolic profile of some medicinal plants". *Journal of Food Biochemistry*, 47, no. 2 (2023): e14523.
23. Abdel-Hameed U. K., et al. "Phytochemical screening and pharmacological potential of selected herbal extracts". *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 14, no. 2 (2024): 120–129.
24. Sfaxi A., et al. "Phytochemical characterization and antioxidant potential of selected medicinal plants". *Molecules*, 30, no. 1 (2025): 112.
25. Sarker S. D., Nahar L. "Plant-derived natural products as potential source of antioxidants: scope, progress, and prospects". *Phytochemistry Reviews*, 22 (2023): 455–472.

Сведения об авторах:

Ларионова Екатерина Борисовна – магистрант 2 курса ОП 7М05101-Биология кафедры биологии ВКУ имени С. Аманжолова (Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: katya.larionova.132@gmail.com).

Садықанова Гүлназ Есімбековна – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор кафедры биологии ВКУ имени С. Аманжолова (Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: gulnaz.sadykanova@mail.ru).

Құмарбекұлы Санат (корреспондентный автор) – PhD, старший преподаватель кафедры географии и экологии КазНПУ им. Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: sanat_kv@mail.ru).

Алипина Куралай Бейсеновна – сениор-лектор Восточно-Казахстанского университета имени С. Аманжолова (Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: alipina_87@mail.ru).

Бакирова Құлжахан Шаймерденовна – доктор педагогических наук, профессор кафедры географии и экологии Казахского национального педагогического университета имени Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: bakirova59@mail.ru).

Қабатаева Жадыра Канатовна – сениор-лектор Восточно-Казахстанского университета имени С. Аманжолова (Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: zhadyra_kabataeva@mail.ru).

Information about authors:

Ekaterina Borisovna Larionova – 2nd year master's student EP 7M05101-Biology, Department of Biology, VKU named after S. Amanzholov (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: katya.larionova.132@gmail.com).

Sadykanova Gulnaz Yesimbekovna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biology of VKU named after S. Amanzholov (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: gulnaz.sadykanova@mail.ru).

Kumarbekuly Sanat (corresponding author) – PhD, senior lecturer at the Department of Geography and Ecology of KazNPU named after Abay (Almaty, Kazakhstan, e-mail: sanat_kv@mail.ru).

Kuralay Beisenovna Alipina – Senior Lecturer at S. Amanzholov East Kazakhstan University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: alipina_87@mail.ru).

Kulzhakhan Shaimerdenovna Bakirova – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor in the Department of Geography and Ecology at Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: bakirova59@mail.ru).

Zhadyra Kanatovna Kabataeva – Senior Lecturer at S. Amanzholov East Kazakhstan University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: zhadyra_kabataeva@mail.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Екатерина Борисовна Ларионова – 7М05101-Биология мамандығының 2-курс магистранты, С. Аманжолов атындағы ШҚМУ биология кафедрасы (Өскемен, Қазақстан, e-mail: katya.larionova.132@gmail.com).

Садықанова Гүлназ Есімбекқызы – биология ғылымдарының кандидаты, С. Аманжолов атындағы ШҚМУ биология кафедрасының доценті (Өскемен, Қазақстан, e-mail: gulnaz.sadykanova@mail.ru).

Құмарбекұлы Санат (корреспондент-автор) – ф.ғ.д., Абай атындағы ҚазҰПУ география және экология кафедрасының аға оқытушысы (Алматы, Қазақстан, e-mail: sanat_kv@mail.ru).

Құралай Бейсенқызы Алипина – С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің аға оқытушысы (Өскемен, Қазақстан, e-mail: alipina_87@mail.ru).

Құлжахан Шаймерденқызы Бакирова – педагогика ғылымдарының докторы, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің география және экология кафедрасының профессоры (Алматы, Қазақстан, e-mail: bakirova59@mail.ru).

Жадыра Қанатқызы Қабатаева – С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің аға оқытушысы (Өскемен, Қазақстан, e-mail: zhadyra_kabataeva@mail.ru).

Поступила 24 августа 2025 года

Принята 25 декабря 2025 года

МРНТИ 34.01.05

<https://doi.org/10.26577/EJE2025859>

Г.А. Садырова^{1*}, К.С. Оразбекова², М.М. Даулетбаева³,
А.К. Таныбаева¹, Б.Х. Тусупова¹, Л.С. Курбанова¹,
Г.А. Муканова¹

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

²Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан

³Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан

*e-mail: gulbanu-s@mail.ru

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИИ РЕДКОГО ВИДА *RHEUM WITTROCKII* LUNDSTR. ФЛОРЫ ЮГО-ВОСТОКА КАЗАХСТАНА

Данная статья посвящена изучению современного состояния популяции вида *Rheum wittrockii* Lundstr., флористического состава и экологической характеристики популяций этого вида на территории хребта Узынкара и Иле-Алатау, Алматинской области. *Rheum wittrockii* Lundstr., древний род неогенового периода азиатского происхождения, включает 9 видов в Казахстане. Три природных популяций *Rheum wittrockii* Lundstr., были изучены в различных экологических и фитоценологических условиях хребтов Узынкара и Иле-Алатау. *Rheum wittrockii* на исследуемых территориях распространены в средней части лесного пояса среднегорий, где проявляют высокие адаптационные способности, которые свидетельствуют об их экологической пластичности, характеризуются высокими показателями семенного и вегетативного размножения, устойчивы к болезням, сохраняют в культуре характерный габитус, высоко-декоративны и могут быть рекомендованы для использования в озеленении. В большинстве популяций *Rheum wittrockii* преобладали особи генеративные и виргинильные особи, реже в сложении популяции основную роль играли прегенеративные особи. В результате проведенного мониторинга численность популяций на исследованной территории в последние десятилетия стремительно сокращаются, что требует необходимых мер по сохранению и восстановлению численности популяций видов *Rheum wittrockii* Lundstr. на исследованной территории. Для поддержания и нормальной жизнедеятельности популяций *Rheum wittrockii* Lundstr. на исследуемых территориях необходимо нормировать степень антропогенных воздействий. Основные антропогенными угрозами для редкого вида *Rheum wittrockii* Lundstr., являются чрезмерный выпас скота, нарушение среды обитания, которые привели к сокращению популяций, что потребует стратегий сохранения, таких как мониторинг среды обитания.

Ключевые слова: природные популяция, растительные сообщества, редкие виды, Узынкара, Иле Алатау.

G.A. Sadyrova^{1*}, K. S. Orazbekova², M.M. Dauletbayeva³,
A.K. Tanybayeva¹, B. Kh. Tusupova¹, L.S. Kurbanova¹, G.A. Mukanova¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan

³Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: gulbanu-s@mail.ru

Assessment of the current state of the population of the species *Rheum wittrockii* Lundstr. flora of the South-east of Kazakhstan

This article is devoted to the study of the current state of the *Rheum wittrockii* Lundstr. species population, floristic composition and ecological characteristics of this species populations in the Uzynkara and Ile-Alatau ridges, Almaty region. *Rheum wittrockii* Lundstr., an ancient genus of the Neogene period of Asian origin, includes 9 species in Kazakhstan. Three natural populations of *Rheum wittrockii* Lundstr. were studied in various ecological and phytocenotic conditions of the Uzynkara and Ile-Alatau ridges. *Rheum wittrockii* in the studied areas are distributed in the middle part of the forest belt of mid-mountains where they exhibit high adaptive abilities, which indicate their ecological plasticity, are characterized by high rates of seed and vegetative reproduction, are resistant to diseases, retain a characteristic habitus in culture, are highly decorative and can be recommended for use in landscaping. In most populations of *Rheum wittrockii*, generative and virginal individuals prevailed, less often pregen-

erative individuals played the main role in the population. As a result of the monitoring, the population size in the studied area has been rapidly declining in recent decades, which requires necessary measures to preserve and restore the population size of *Rheum wittrockii* Lundstr. species in the studied area. To maintain and ensure normal life of *Rheum wittrockii* Lundstr. populations in the studied areas, it is necessary to standardize the degree of anthropogenic impacts. The main anthropogenic threats to the rare species *Rheum wittrockii* Lundstr. are overgrazing, habitat disturbance, which have led to a reduction in populations, which will require conservation strategies such as habitat monitoring.

Keywords: natural populations, plant communities, rare species, Uzynkara, Ile Alatau.

Г.А. Садырова^{1*}, К.С. Оразбекова², М.М. Даулетбаева³,
А.К. Таныбаева¹, Б.Х. Тусупова¹, А.С. Курбанова¹, Г.А. Муканова¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²География және су қауіпсіздігі институты, Алматы, Қазақстан

³ Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: gulbanu-s@mail.ru

Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы сирек кездесетін *Rheum wittrockii* Lundstr. флорасы популяциясының қазіргі жағдайын бағалау

Мақалада *Rheum wittrockii* Lundstr қазіргі жағдайын зерттеуге арналған. Алматы облысы Ұзынқара және Іле-Алатау жоталарындағы осы түр популяцияларының түр популяциясы, флористикалық құрамы және экологиялық сипаттамасы. *Rheum wittrockii* Lundstr., азиялық текті неоген кезеңінің көне тұқымдасы Қазақстанда 9 түрді қамтиды. *Rheum wittrockii* Lundstr. үш табиғи популяциясы. Ұзынқара және Іле-Алатау жоталарының әртүрлі экологиялық және фитоценоздық жағдайында зерттелді. Зерттелетін аумақтардағы *Rheum wittrockii* орта таулардың орман белдеуінің ортаңғы бөлігінде таралған, оларда жоғары бейімделу қабілеті бар, бұл олардың экологиялық икемділігін көрсетеді, тұқымдық және вегетативті көбеюінің жоғары жылдамдығымен сипатталады, ауруларға төзімді, өзіне тән тіршілік ортасын сақтайды, мәдениетте өте сәндік және егіншілікте пайдалануға ұсынылады. *Rheum wittrockii* популяцияларының көпшілігінде генеративті және виргинальды даралар басым болды, популяцияда негізгі рөлді азырақ прегенеративті даралар атқарды. Мониторинг нәтижесінде соңғы онжылдықтарда зерттелетін аумақта популяция санының тез азаюы байқалды, бұл *Rheum wittrockii* Lundstr. зерттелетін аумақтағы түрлер. *Rheum wittrockii* қалыпты өмірін сақтау және қамтамасыз ету үшін Lundstr. Зерттелетін аумақтардағы популяцияларға антропогендік әсер ету дәрежесін стандарттау қажет. Сирек кездесетін *Rheum wittrockii* түріне негізгі антропогендік қауіптер Lundstr. популяциялардың азаюына әкеліп соқтыратын шамадан тыс мал жаю, тіршілік ету ортасының бұзылуы, бұл мекендеу ортасын бақылау сияқты сақтау стратегияларын талап етеді.

Түйін сөздер: табиғи популяциялар, өсімдіктер қауымдастығы, сирек түрлер, Ұзынқара, Іле Алатауы.

Введение

Охрана флоры и растительного покрова приобретает сегодня особую актуальность в связи с усилением воздействия человеческого общества на природную среду. Флора и растительный покров в горах, ущельях и долинах больших и малых рек особенно уязвимы из-за сильной расчлененности рельефа, разреженности травостоев на различных высотных поясах. На сегодняшний день изучение редких исчезающих видов горных территорий имеет большое теоретическое и практическое значение. Исследование редких исчезающих видов горных территорий привлекает большое внимание зарубежных и отечественных ученых. Исследуемые территории хребта Узынқара и Иле Алатау испытывают сильное антропогенное воздействие. Распаш-

ка земель, неконтролируемый выпас мелкого и крупного рогатого скота нарушают поверхность почвы, вызывают эрозию и смыв склонов. Большая крутизна экспозиционных склонов, узкие горные ущелья, особенно в верхних частях горных массивов сильно урбанизированы, широкие долины нижнего течения больших рек обуславливают деградацию пастбищ и сенокосных угодий, смыв каменистых склонов, на которых находятся зимние стоянки, летние и осенние стойбища животноводов.

Неумеренные заготовки лекарственного сырья, ягод приводят к разрушению биоценологических связей, истощению запасов, исчезновению целых популяций видов растений. Среди зарубежных исследований можно выделить работы, посвященные исследованию редких и исчезающих видов [1-15].

Материалы и методы

Сбор растительного материала и определение редких видов растений. Объектом исследования явились природные популяции редкого многолетнего поликарпического коротко-корневищного вида *Rheum wittrockii* Lundstr., относящегося к семейству Polygonaceae. Исследования

проводились на хребтах Иле Алатау и Узынкара (Северный Тянь-Шань) полевыми и стационарными методами. Материалы для данной работы собраны в естественной природе, где цветущие экземпляры редкого исчезающего вида *Rheum wittrockii* Lundstr. были найдены и собраны в Иле Алатау в Большом Алматинском ущелье лесного пояса, на высоте 2850 м н.у.м. (Figure 1)

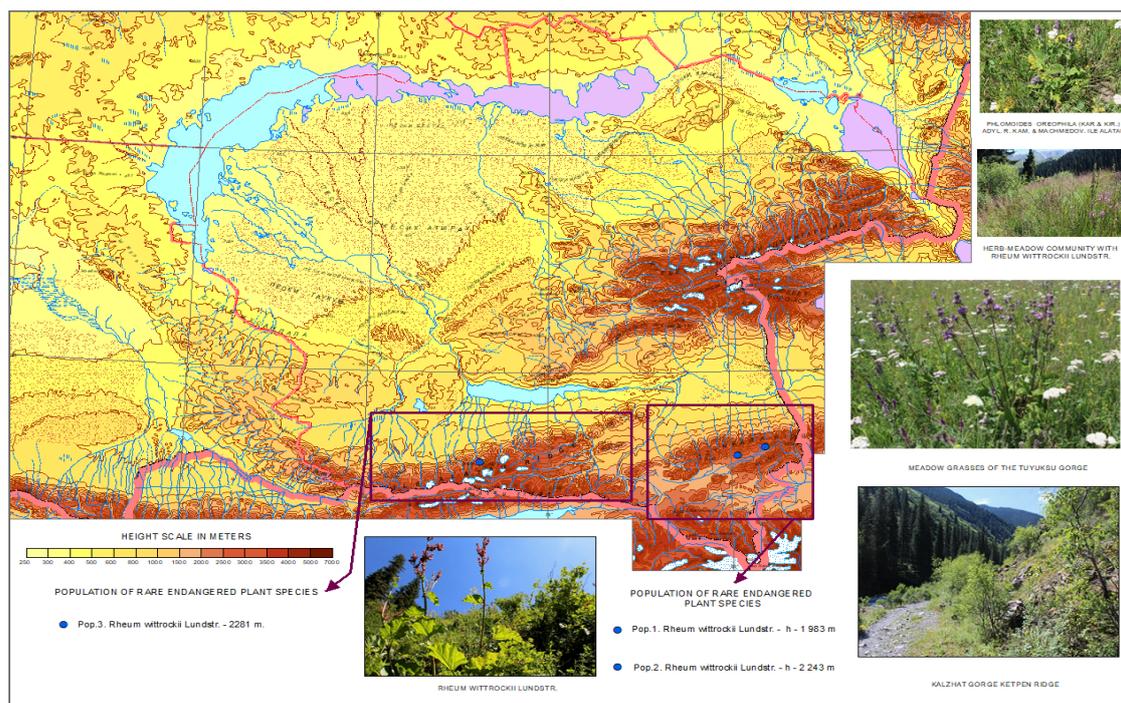


Рисунок 1 – Карта районов исследования. Популяция *Rheum wittrockii* Lundstr. Хребет Узынкара, ущелье Калжатсай, высота 1983 м, ущелье Туюксу, высота 2243 м. Хребет Иле Алатау, Большое Алматинское ущелье, высота 2281 м

При обработке материалов по флористическому составу использовались соответствующие тома книг «Флора Казахстана» [16], «Определителя растений Средней Азии» [17], «Иллюстрированного определителя растений Казахстана» [18]. Классификация родов проводилась по С.А. Абдуллиной [19], а названия видов по С.К. Черепанову [20].

Геоботанические методы. Для оценки современного состояния исследуемой популяции *Rheum wittrockii* Lundstr. в ее естественных природных местообитаниях были проведены полевые экспедиции маршрутно-рекогносцировочным методом в Алматинской области. Маршруты охватывали среднегорные районы лесного пояса хребтов Узынкара и Иле Алатау. С целью изучения

естественного возобновления исследуемого вида *Rheum wittrockii* Lundstr. были заложены пробные площади размером (100 м x 100 м), (50 м x 50 м), (25 м x 100 м). Обилие видов в фитоценозах оценивалось с использованием шкалы обилия Друде [21]. Определение возрастной структуры проводилось после выявления диагностических признаков возрастных состояний изучаемых видов. Возрастной спектр составлен на основе комплекса качественных и количественных характеристик особей. Сравнительный анализ морфологических признаков особей разновозрастных групп (*Rheum wittrockii* Lundstr.) проводился согласно общепринятым методикам. Для изучения географического распространения *Rheum wittrockii* Lundstr. использовался метод маршрутной разведки, а также

традиционные методы изучения морфологии растений, ценопопуляций, фитоценозов, экологии и биологии видов. Полевые работы проводились в соответствии классическими методами [22-23].

Температура воздуха, осадки и характеристики вегетационного периода. В таблице 1 представлены температура воздуха, осадки и характеристики вегетационного периода на 2023-2024 годы в исследуемой территории.

Метеорологические данные были получены с официального сайта «Казгидромета» [24]. В таблице 1 приводятся годовые сравнительные данные с метеостанций, наиболее близких к каждой исследуемой популяции: метеостанция «Большое Алматинское озеро» для Бостандыкского района Иле Алатау и метеостанция Кеген для Кегенского района хребта Узынкара (Таблица 1).

Таблица 1 – Annual comparative data of the meteorological station

Name of weather station	Temperature, C air average	Temperature, surface soil average	Relative humidity of the air, %	Atmospheric pressure, h Pa		The of precipitation. per day mm
				at station level	Aa sea level	
Big Almaty Lake	-5.4	-10	60	749.6	3000	29,7
Kegen	-7.1	-10	76	815.6	1915	15.5

В Бостандыкском районе средняя температура воздуха составляет $-5,4^{\circ}\text{C}$, в то время как в Кегенском районе она немного выше и составляет $-7,1^{\circ}\text{C}$. Температура почвы в Бостандыкском районе составляет и в Кегенском районе одинаковое и составляет -10°C . Средняя относительная влажность воздуха на Большом Алматинском озере составляет 60 , в Кегенском районе на 16% выше по сравнению с Бостандыкском. Кроме того, суточное количество осадков в Кегенском районе значительно ниже и составляет всего 15.5 по сравнению с Бостандыкским районом – $29,7$. Эти сравнительные метеорологические наблюдения показывают, что климат исследуемой территории соответствует климату Северного Тянь-Шаня.

Отбор проб растительности. При оценке состояния ценопопуляций редкого вида *Rheum wittrockii* Lundstr. учитывали следующие параметры: численность, плотность, возрастной спектр. На исследуемых территориях пробные площади 100 м^2 использовались для описания экологиче-

ских характеристик растительного покрова. Для документирования данных использовалась подробная геоботаническая форма, включая координаты GPS, высоту, топографию, тип почвы и растительный покров. Жизненные формы видов растений были классифицированы в соответствии с системами жизненных форм К. Раункиера и И.Г. Серебрякова [25]. Полученные данные были проанализированы с использованием статистического пакета для социальных наук (SPSS, версия 20 и независимого выборочного t-теста, с уровнем значимости, установленным на 5% . Анализ данных проводился с использованием программного обеспечения Microsoft Office для статистической обработки.

Цель исследования – оценка состояния популяции редкого и исчезающего вида растения *Rheum wittrockii* Lundstr.

Объектом исследования являются популяции вида *Rheum wittrockii* Lundstr. на территории хребта Узынкара и Иле Алатау (Таблица 2).

Таблица 2 – Популяции вида *Rheum wittrockii* Lundstr., обнаруженные в ходе полевых исследований.

Название вида, номер популяции	Географическое местоположение	Координаты местонахождения
<i>Rheum wittrockii</i> Pop. 1	Хребет Узынкара, ущелье Калжатсай, северо-восточный склон	N $43^{\circ} 24' 771''$ E $080^{\circ} 38' 354''$, 1983 м. н.у.м.
<i>Rheum wittrockii</i> Pop. 2	Хребет Узынкара, ущелье Туюксу, северо-западный склон	N $43^{\circ} 04' 854''$; E $079^{\circ} 24' 235''$, 2243 м. н.у.м.
<i>Rheum wittrockii</i> Pop. 3	Хребет Иле Алатау, Большое Алматинское ущелье	$43^{\circ} 04' 504''$ E $076^{\circ} 59' 762''$, 2281 м.н.у.м.

Результаты и их обсуждение

Род *Rheum* L. – является одним из древнейших родов произраставшего в неогеновых горных смешанных лесах Азии [26]. Род насчитывает около 50 видов, которые встречаются в основном умеренных широтах Азии. В Казахстане род *Rheum* L. представлен 9 видами [27]. Ареал распространения вида *Rheum wittrockii* Lundstr. находится в Азии, в Средней Азии Тянь-Шань, Памиро-Алай), Западный Китай (Джунгария, Кашгария) [16].

Rheum wittrockii Lundstr. – редкий эндемичный вид. Травянистый поликарпик, с толстым вертикальным корневищем и прямым тонкостебельным стеблем до 1 м высоты. Листья крупные, пластинки их яйцевидные, треугольные, до

40 см длиной и 30 см шириной. Стебель высотой 50–100 см, соцветие – редкая раскидистая метелка [2]. *Rheum wittrockii* Lundstr. включен в Красную книгу Казахстана [38]. Растет по травянистым и лесным склонам гор, поднимается в субальпийский пояс Иле Алатау и Узынкара (Figure 5).

На исследуемой территории обнаружены 3 популяции вида *Rheum wittrockii* Lundstr.

Калжатская популяция *Rheum wittrockii* (Pop. 1) размещена в восточной части хребта Узынкара, встречается в ущелье Калжатсай, на высоте 1983 м н.у.м. Популяция занимает спорадические локусы в горно-луговых мезо-ксерофитных растительных сообществах. Участки имеют полное освещение. Ветровое воздействие не сильное в течение всего года,

Таблица 3 – Характеристика местонахождений популяций *Rheum wittrockii* Lundstr.

Название популяции и ее локалитет	Эколого-фитоценотическая приуроченность	Площадь популяции, м ²	Количество предгенеративных особей на 50 м ²	Показатели жизнеспособности популяции
Калжатсайская популяция				
Популяция лесно-лугово-разнотравного фитоценоза (<i>Picea schrenkiana</i> Fisch. & C.A. Mey., <i>Spiraea latifolia</i> (Aiton) Borkh., <i>Dactylis glomerata</i> L., <i>Phlomis oreophila</i> (Kar. & Kir.) Adylov, <i>Kamelin & Makhm.</i> , <i>Aconitum soongaricum</i> Stapf.) Восточная часть хребта Узынкара, ущелье Калжат N 43° 24' 771" E 080°38'354", 1983 м. над у.м.	Разнотравные луга, широкой полосой по северо-восточному древесно-кустарниковому склону.	400	7	110 генеративных особей. Полноценная, развитая, с удовлетворительным возобновлением. Несмотря на экстремальность условий, популяция имеет высокую конкуренцию в травостое.
Туюксуйская популяция				
Популяция лугово-разнотравного фитоценоза (<i>Spiraea latifolia</i> (Aiton) Borkh., <i>Dactylis glomerata</i> L., <i>Phlomis oreophila</i> (Kar. & Kir.) Adylov, <i>Kamelin & Makhm.</i> , <i>Achillea millefolium</i> L. <i>Aconitum soongaricum</i> Stapf.) Западная часть хребта Узынкара, ущелье Туюксу N 43° 04' 854"; E 079°24'235", 2243 м. н.у.м.	Разнотравно-злаковые луга, на открытом северо-западном склоне.	550	6	65 генеративных особей. Устойчивые, медленно развивающиеся сообщества с высокой плотностью и конкуренцией. Популяция размножается преимущественно семенным путем, и имеет высокое возобновление.

Продолжение таблицы

Название популяции и ее локалитет	Эколого-фитоценотическая приуроченность	Площадь популяции, м ²	Количество предгенеративных особей на 50 м ²	Показатели жизнеспособности популяции
Большая Алматинская популяция				
Популяция разнотравно-злакового фитоценоза (<i>Dactylis glomerata</i> L., <i>Poa pratensis</i> L., <i>Origanum vulgare</i> L., <i>Phleum phleoides</i> (L.) N. Karst., <i>Phlomis oreophila</i> (Kar. & Kir.) Adylov, Kamelin & Makhm., <i>Achillea millefolium</i> L., <i>Melilotus albus</i> Medik.). Хребет Иле Алатау, Большое Алматинское ущелье. 43° 04' 504" E 076°59'762", 2281 м н.у.м.	Разнотравное сообщество на увлажненном средней крутизны юго-западном склоне	350	3	59 генеративных особей. Состояние популяции в разнотравно-злаковых фитоценозах хорошее, вид стабильно занимает новые территории. Возобновление стабильное, высокое.

Уровень годовых осадков в пределах 800-900 мм, которые приходятся на весенний и осенний период. Основными типичными местами произрастания *Rheum wittrockii* являются не сильно крутые склоны разнотравных лугов. Характерными сопутствующими видами являются: из древесных пород: *Picea schrenkiana* Fisch. & С.А. Mey., *Sorbus tianshanica*, *Populus tremula*, *Betula tianshanica* из кустарников

Lonicera karelinii, *L. hispida*, *Rosa laxa*, *Spiraea lasiocarpa*, из травянистых видов: *Geranium collinum*, *Ligularia macrophylla*, *L. narynensis*, *Rumex tianschanicus*, *Rumex acetosa*, *Codonopsis clematidae*, *Gentiana tianshanica*, *Daucus carota*, *Phlomis oreophylla*, *Veratrum lobelianum*, *Achillea millefolium*, *Veronica spicata*, *V. spuria*, *Origanum vulgare*, *Thalictrum collinum* Wallr., *Heracleum dissectum* и другие (рисунок 2).



1.



2.

Рисунок 2 – Естественные местообитания:

1 – Population of *Rheum wittrockii* Lundstr. b. Herb-meadow community with *Rheum wittrockii* Lundstr.

Растительный покров разнообразен в видовом отношении и сложен 118 видами. Наиболее многочисленными являются семейства: *Roaceae*–17%, *Asteraceae*–50,1%, *Rosaceae*–11%,

Ranunculaceae – 8%, *Fabaceae* – 5%. По характеру жизненных форм на долю травянистых видов приходится 97% и на долю древесно-кустарниковых видов приходится 3% в сложении

фитоценоза. В экологическом отношении в калжатской популяции преобладают мезофитные виды – 75%, незначительную часть мезоксерофитов – 16% и мезогигрофиты – 2%. Коэффициент синантропизации – 36% – значительная степень антропогенной нагрузки.

Туюксуйская популяция *Rheum wittrockii* Lundstr. (Pop. 2) расположена в западной части хребта Узынкара в ущелье Туюксу на высоте 2243 м н.у.м. Популяция расселена чаще небольшими, но плотными группами. Основными местами произрастания вида *Rheum wittrockii* Lundstr. являются открытые склоны разнотравно-злаковых лугов. Растительный покров сложен 90 видами. Основной жизненной формой является травянистые растения 90%, на долю древесно-кустарниковых видов – приходится около 10%. Самыми многочисленными в видовом отношении являются семейства: Poaceae – 23%, Ranunculaceae – 2%, Asteraceae – 26%, Rosaceae – 6%, Apiaceae – 5%, Fabaceae – 7%. По экологической приуроченности доминирующую часть составляют мезофитные виды – 62% и меньшую часть мезоксерофитные виды – 27%, Коэффициент

синантропизации – 38% – значительная степень антропогенной нагрузки.

Большая Алматинская популяция *Rheum wittrockii* Lundstr. (Pop. 3) расположена на хребте Иле Алатву, в Большом Алматинском ущелье на высоте 2281 м. Растительный покров с высокой плотностью и высотой травостоя, относительно богат в видовом отношении – 89 видов. Основу фитоценоза составляют травянистые виды – 94%, в меньшей степени древесные виды и кустарники – 6%. В видовом отношении самыми многочисленными являются семейства: Poaceae – 21%, Asteraceae – 19%, Fabaceae – 6%, Apiaceae – 2%/ По экологической приуроченности преобладают мезофиты – 58%, на долю мезоксерофитов приходится по 32%. Коэффициент синантропизации – 42% – значительная степень антропогенной нагрузки. Типичными местами обитания вида являются горные склоны. Ниже приводится геоботаническая характеристика растительных сообществ с участием видов *Rheum wittrockii* Lundstr. в Алматинской области, Кегенского, Уйгурского района, хребта Узынкара и Бостандыкского района Иле Алатау (таблица 4).

Таблица 4 – Геоботаническая характеристика растительных сообществ с участием вида *Rheum wittrockii* Lundstr. на исследуемых территориях

Номер описания	1
Дата	22. 07.2024 г
Размер п.п., м ²	100x100
Древостой	
Сообщество кустарниковое	Кустарниковое
Сообщество травянистое	Травянисто-разнотравное
Травяной и полукустарничковый ярус	
Общее проективное покрытие, %	100
Проективное покрытие деревьев, %	10
Проективное покрытие кустарников, %	5-10
Проективное покрытие травяного покрова, %	80-90
Фенофаза по видам, по Б.А. Быкову	вегет., плод.
Состояние поверхности	Северные лугово-разнотравные склоны, лесного пояса.
Степень антропогенной трансформации	Средняя
Степень увлажнения почв	атмосферные осадки
Геоморфология, местоположение	
Координаты местности по JPS	N 43° 04' 504" E 076°59'762"
Высота над ур. м., м ²	2281

Продолжение таблицы

Уклон, градусы				45	
Экспозиция				СВ	
Микрорельеф, м				Увалистые, волнистые неравномерные повышения, горный склон, среднегорье лесного пояса	
Макрорельеф, м				Калжатское, Туюкское, Большое Апматинское ущелья.	
Флористическое разнообразие					
Название вида	Семейство	Обилие по Друде	Размещение по Б.А. Быкову	Высота, м/см	Фенофаза
Древесный ярус (ПП: 5-10%)					
<i>Picea schrenkiana</i> Fisch. & . С.А. Meу.	<i>Pinaceae</i>	sol (1-3%)	груп. неравном.	30-40	вег., плод.
<i>Populus tremula</i> L.	<i>Salicaceae</i>	sol (1-3%)	единично, неравном.	10-12	вег., плод.
<i>Betula tianschanica</i> Rupr.	<i>Betulaceae</i>	sol (5-10%)	группами, неравном.	8-10	вег., плод.
<i>Salix alata</i> Kar. ex Stschehl.	<i>Salicaceae</i>	sol (5-10%)	группами, неравном.	6-8	вег., плод.
<i>Salix hastata</i> L.	<i>Salicaceae</i>	sol (3-5%)	группами, неравном.	8-10	вег., , плод.
<i>Malus sieversii</i> (Ledeb.) M. Roem.	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	единично, неравном.	6-8	вег., плод.
Кустарники (ПП: 10–20%)					
<i>Cotoneaster uniflorus</i> Bunge	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	единично, неравном.	1,5-2	вег., плод.
<i>Cotoneaster melanocarpus</i> Fisch. ex Blytt	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	единично, неравном.	1,5-2	вег., плод.
<i>Cotoneaster oliganthus</i> Pojark.	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	единично, неравном	1,5-2	вег., плод.
<i>Cotoneaster soongoricus</i> (Regel & Herder) Popov	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	единично, неравном	1,5-2	вег., плод.
<i>Rosa alberti</i> Regel	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	группами, неравном.	1,5	вег., плод.
<i>Rosa beggeriana</i> Schrenk	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	группами, неравном.	1,5	вег., плод.
<i>Spiraea lasiocarpa</i> Kar. & Kir.	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	группами, неравном.	1,5	вег., плод.
<i>Lonicera hispida</i> Pall. ex Schult.	<i>Caprifoliaceae</i>	sol (1-2%)	единично, неравном.	1,5-2	вег., плод.
<i>Lonicera stenantha</i> Pojark.	<i>Caprifoliaceae</i>	sol (1-2%)	единично, неравном.	1,5-2	вег., плод.
<i>Lonicera microphylla</i> Willd. ex Schult.	<i>Caprifoliaceae</i>	sol (1-2%)	единично, неравном.	1,5-2	вег., цв.
<i>Lonicera almannii</i> Regel & Schmalh.	<i>Caprifoliaceae</i>	sol (1-2%)	единично, неравном.	1,5-2	вег., цв.
<i>Rubus idaeus</i> L.	<i>Rosaceae</i>	sol (1-3%)	группами, неравном.	1,5-2	вег., цв.

<i>Juniperus sabina</i> L.	<i>Cupressaceae</i>	sol (1-3%)	группами, неравном.	2-2,5	вег., пл.
<i>Ribes meyeri</i> Maxim.	<i>Grossulariaceae</i>	sol (1-3%)	группами, неравном.	1,5-2	вег., цв.
<i>Atragene sibirica</i> L.	<i>Ranunculaceae</i>	sol (1-3%)	группами, неравном.	1,5-2	вег., цв.
<i>Berberis sphaerocarpa</i> Kar. & Kir.	<i>Berberidaceae</i>	sol (1-3%)	диффузно.	1,5-2	вег., пл.
Травянисто-кустарничковый ярус (ПП: 15–20%)					
<i>Euonymus semenovii</i> Regel & Herder	<i>Celastraceae</i>	sp- sol (5-15%)	диффузно	0,5-1,5	вег.
<i>Ajania fastigiata</i> (C. Winkl.) Poljakov	<i>Asteraceae</i>	sp- sol (5-15%)	диффузно	0,5-1,5	вег.,
<i>Polygonum aviculare</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	sol (1-5%)	ед.,	50	вег
<i>Sisymbrium loeselii</i> L.	<i>Brassicaceae</i>	sol (1-5%)	неравн.	35	вег., цв.
<i>Pyrola rotundifolia</i> L.	<i>Ericaceae</i>	sol (2-5%)	ед., неравном.	10	вег., цв.
<i>Goodyera repens</i> (L.) R. Br.	<i>Orchidaceae</i>	sol (1-5%)	ед.,	7	вег., цв. пл.
<i>Rheum wittrockii</i> Lundstr.	<i>Polygonaceae</i>	sol (1-5%)	группами, неравном.	50	вег., цв. пл.
<i>Polygonum undulatum</i> Murray	<i>Polygonaceae</i>	sol (1-5%)	группами, неравном.	75	вег., цв. пл.
<i>Polygonum coriarium</i> Grig.	<i>Polygonaceae</i>	sol (1-5%)	группами, неравном.	65	вег., цв. пл.
<i>Poa nemoralis</i> L.	<i>Poaceae</i>	sp (10-15%)	неравном.	30-40	вег., цв.
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	<i>Poaceae</i>	sol (1-3%)	ед., неравном.	70	вег., цв.
<i>Iris ruthenica</i> Ker Gawl.	<i>Iridaceae</i>	sol (1-5%)	неравн.	45	вег., цв. пл.
<i>Fragaria vesca</i> L.	<i>Rosaceae</i>	sol (1-5%)	неравн.	35	вег., цв. пл.
<i>Mentha asiatica</i> Boriss.	<i>Fabaceae</i>	sol (1-5%)	груп	70	вег., цв. пл.
<i>Alchemilla vulgaris</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	неравном.	35	вег., цв. пл.
<i>Poa pratensis</i> L.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	груп	70	вег., цв. пл.
<i>Dracocephalum origanoides</i> Stephan.	<i>Lamiaceae</i>	sol (1-5%)	груп	35	вег., цв. пл.
<i>Artemisia absinthium</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	неравном	70	вег., цв.
<i>Plantago lanceolata</i> L.	<i>Plantaginaceae</i>	sol (1-5%)	груп	35	вег., цв.
<i>Prunella vulgaris</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	sol (1-5%)	неравном	70	вег., цв.
<i>Artemisia annua</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	груп	35	вег., цв.
<i>Geranium albiflorum</i> L.	<i>Geraniaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	70	вег., цв.
<i>Geranium pratense</i> L.	<i>Geraniaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	35	вег., цв.
<i>Geranium rectum</i> Trautv.	<i>Geraniaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	40	вег., цв.
<i>Geranium transversale</i> (Kar. & Kir.) Vved.	<i>Geraniaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	35	вег., цв.
<i>Iris sogdiana</i> Bunge	<i>Iridaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	65	вег.,
<i>Dracocephalum nutans</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	45	вег., цв.
<i>Phleum phleoides</i> (L.) H. Karst.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	100	вег., цв.
<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	70	вег., цв.

Продолжение таблицы

<i>Agropyron pectiniforme</i> Roemer & Schultes	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	80	вег., цв.
<i>Dactylis glomerata</i> L.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	90	вег., цв.
<i>Alfredia acantholepis</i> Kar. & Kir.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	100	вег., цв.
<i>Helictotrichon tianschanicum</i> (Roshev.) Henrard.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	100	вег., цв.
<i>Erigeron acris</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	55	вег., цв.
<i>Galium aparine</i> L.	<i>Rubiaceae</i>	sol (1-5%)	ед., нерав.	70	вег., цв.
<i>Senecio nemorensis</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	65	вег., цв.
<i>Senecio jacobaea</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	75	вег., цв.
<i>Semenovia transiliensis</i> Regel & Herd.	<i>Apiaceae</i>	sol (1-5%)	груп	80	вег., цв.
<i>Myosotis suaveolens</i> Waldst. & Kit. ex Willd.	<i>Boraginaceae</i>	sol (1-5%)	груп	85	вег., цв.
<i>Thalictrum petaloideum</i> L.	<i>Ranunculaceae</i>	sol (1-5%)	ед., неравном	65	вег., цв.
<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Lam.,	<i>Fabaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	75	вег., цв.
<i>Melilotus albus</i> Medikus.	<i>Fabaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	85	вег., цв.
<i>Daucus carota</i> L.	<i>Apiaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	95	вег., цв.
<i>Berteroa incana</i> (L.) DC.	<i>Brassicaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	85	вег., цв.
<i>Astragalus chlorodontus</i> Bunge	<i>Fabaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	85	вег., цв.
<i>Trifolium repens</i> L.	<i>Fabaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	15	вег., цв.
<i>Trifolium pratense</i> L.	<i>Fabaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	10	вег., цв.
<i>Holosteum polygamum</i> C. Koch.	<i>Caryophyllaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	10	вег., цв.
<i>Veronica chamaedrys</i> L.	<i>Scrophulariaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	25	вег., цв.
<i>Verbascum thapsus</i> L.	<i>Scrophulariaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	25	вег., цв.
<i>Pedicularis alberti</i> Regel.	<i>Scrophulariaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	45	вег., цв.
<i>Vicia tenuifolia</i> Roth.	<i>Fabaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	85	вег., цв.
<i>Origanum vulgare</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	40	вег., цв.
<i>Dracocephalum integrifolium</i> Bunge.	<i>Lamiaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	40	вег., цв.
<i>Phlomis pratensis</i> (Kar. & Kir.) Adylov, Kamelin & Makhm.	<i>Lamiaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	40	вег., цв.
<i>Saxifraga sibirica</i> L.	<i>Saxifragaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	7	вег., цв.
<i>Bromus squarrosus</i> L.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	45	вег., цв.
<i>Anisantha tectorum</i> (L.) Nevski.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	100	вег., цв.
<i>Cortusa brotheri</i> Pax ex Lipsky	<i>Primulaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	10	вег., цв.
<i>Solenanthus circinnatus</i> Ledeb.	<i>Boraginaceae</i>	sol (1-2%)	груп. неравном	40	вег., цв. пл.
<i>Echium vulgare</i> L.	<i>Boraginaceae</i>	sol (1-2%)	груп. неравном	45	вег., цв. пл.
<i>Achillea millefolium</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	70	вег., цв. пл.
<i>Achillea asiatica</i> Serg.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-4%)	груп. неравном	75	вег., цв. пл.
<i>Marrubium vulgare</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	sol (1-2%)	груп. неравном	40	вег., цв. пл.
<i>Rumex confertus</i> Willd.	<i>Polygonaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	90	вег., цв.
<i>Rhodiola linearifolia</i> Boriss.	<i>Crassulaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	35	вег., цв.
<i>Onopordum acanthium</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-3%)	груп. неравном	25	вег., цв.

<i>Phlomooides oreophila</i> (Kar. & Kir.) Adylov, Kamelin & Makhm.	<i>Lamiaceae</i>	sol (1-6%)	груп. неравном	40	вег., цв.
<i>Polygonum songaricum</i> Schrenk	<i>Polygonaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	35	вег., цв.
<i>Bistorta vivipara</i> (L.) Delarbre	<i>Polygonaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	40	вег., цв.
<i>Lithospermum officinale</i> L.	<i>Boraginaceae</i>	sol (1-3%)	груп. неравном	50	вег., цв.
<i>Astragalus fedtschenkoanus</i> Lipsky	<i>Fabaceae</i>	sol (1-3%)	груп. неравном	20	вег., цв. пл.
<i>Thalictrum minus</i> L.	<i>Ranunculaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	35	вег., цв. пл.
<i>Hesperis sibirica</i> L.	<i>Brassicaceae</i>	sol (1-2%)	груп. неравном	20	вег., цв. пл.
<i>Achoriphragma lancifolium</i> (M.Pop.) Sojak.	<i>Brassicaceae</i>	sol (1-6%)	груп. неравном	45	вег., цв. пл.
<i>Asperugo procumbens</i> L.	<i>Boraginaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	30	вег., цв. пл.
<i>Ferula akitschkensis</i> B. Fedtsch. ex Koso-Pol.	<i>Apiaceae</i>	sol (1-3%)	груп. неравном	50	вег., цв. пл.
<i>Rhytispermum tenuiflorum</i> (L. f.) Link	<i>Boraginaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	30	вег., цв. пл.
<i>Cardaria draba</i> (L.) Desv.	<i>Brassicaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	20	вег., цв.
<i>Arctium lappa</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-2%)	груп. неравном	20	вег., цв.
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	<i>Brassicaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	15	вег., цв.
<i>Xanthium strumarium</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-2%)	груп. неравном	30	вег., цв.
<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-12%)	груп. неравном	25	вег., цв.
<i>Rumex tianschanicus</i> Losinsk.	<i>Polygonaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	85	вег., цв.
<i>Cerastium pusillum</i> Ser.	<i>Caryophyllaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	15	вег., цв.
<i>Minuartia biflora</i> (L.) Schinz & Thell.	<i>Caryophyllaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	5	вег., цв.
<i>Melandrium apetalum</i> (L.) Fenzl	<i>Caryophyllaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	15	вег., цв.
<i>Descurainia sophia</i> (L.) Webb ex Prantl	<i>Brassicaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	35	вег., цв.
<i>Draba stenocarpa</i> Hook. f. & Thomson	<i>Brassicaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	40	вег., цв.
<i>Saxifraga setigera</i> Losinsk.	<i>Saxifragaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	20	вег., цв.
<i>Potentilla nervosa</i> Juz.	<i>Rosaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	20	вег., цв.
<i>Polygala hybrida</i> DC.	<i>Polygalaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	80	вег., цв.
<i>Viola rupestris</i> F.W. Schmidt.	<i>Violaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	10	вег., цв.
<i>Viola biflora</i> L.	<i>Violaceae</i>	sol (1-55%)	груп. неравном	10	вег., цв.
<i>Viola altaica</i> Ker Gawl.	<i>Violaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	5	вег., цв.
<i>Viola acutifolia</i> (Kar. & Kir.) W. Becker	<i>Violaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	10	вег., цв.
<i>Schulzia crinita</i> (Pall.) Spreng.	<i>Apiaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	10	вег., цв.
<i>Gentiana turkestanorum</i> Gand.	<i>Gentianaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	45	вег., цв.
<i>Gentiana tianschanica</i> Rupr.	<i>Gentianaceae</i>	sol (1-8%)	груп. неравном	50	вег., цв.
<i>Eritrichium villosum</i> (Ledeb.) Bunge	<i>Boraginaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	40	вег., цв.
<i>Plantago major</i> L.	<i>Plantaginaceae</i>	sol (1-3%)	груп. неравном	30	вег., цв.

Продолжение таблицы

<i>Codonopsis clematidea</i> (Schrenk ex Fisch. & C.A. Mey.) C.B. Clarke	<i>Campanulaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	30	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	70	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Hyoscyamus niger</i> L.	<i>Solanaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	30	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Helictotrichon pubescens</i> (Huds.) Pilg.	<i>Poaceae</i>	sol (7-10%)	груп. неравном	90	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	<i>Poaceae</i>	sol (5-10%)	груп. неравном	70	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Ligularia macrophylla</i> (Ledeb.) DC.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	95	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Anthriscus nemorosa</i> (M.Bieb.) Spreng.	<i>Apiaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	65	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Aconitum soongaricum</i> Stapf	<i>Ranunculaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	110	ВЕГ., ЦВ.
<i>Aconitum leucostomum</i> Vorosch.	<i>Ranunculaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	95	ВЕГ., ЦВ.
<i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	85	ВЕГ., ЦВ.
<i>Cynara scolymus</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	65	ВЕГ., ЦВ.
<i>Cirsium polyacanthum</i> Kar. & Kir.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	105	ВЕГ., ЦВ.
<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	105	ВЕГ., ЦВ.
<i>Cirsium esculentum</i> (Siev.) C.A. Mey.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	100	ВЕГ., ЦВ.
<i>Lapsana communis</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-3%)	груп. неравном	80	ВЕГ., ЦВ.
<i>Ligularia narynensis</i> (C. Winkl.) O. Fedtsch. & B. Fedtsch.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-10%)	груп. неравном	110	ВЕГ., ЦВ.
<i>Gentiana tianschanica</i> Rupr.	<i>Gentianaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	45	ВЕГ., ЦВ.
<i>Phleum pratense</i> L.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	75	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Solidago dahurica</i> Kitag.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	90	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Erigeron aurantiacus</i> Regel	<i>Asteraceae</i>	sol (1-2%)	груп. неравном	65	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Hieracium korshinskyi</i> Zahn	<i>Asteraceae</i>	sol (1-10%)	груп. неравном	120	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Rhinanthus songaricus</i> (Sterneck) B. Fedtsch.	<i>Scrophulariaceae</i>	sol (1-2%)	груп. неравном	40	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Cirsium polyacanthum</i> Kar. & Kir.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	75	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rauschert	<i>Poaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	65	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Cichorium intybus</i> L.	<i>Asteraceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	110	ВЕГ., ЦВ.
<i>Hierochloa odorata</i> (L.) P. Beauv.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	60	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Stipa zaleskii</i> Wilensky	<i>Poaceae</i>	sol (1-3%)	груп. неравном	40	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Milium effusum</i> L.	<i>Poaceae</i>	sol (1-3%)	груп. неравном	35	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Piptatherum songaricum</i> (Trin. & Rupr.) Roshev. ex Nikitina	<i>Poaceae</i>	sol (1-2%)	груп. неравном	70	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	<i>Poaceae</i>	sol (1-3%)	груп. неравном	220	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Calamagrostis pseudophragmites</i> (Haller f.) Koeler	<i>Poaceae</i>	sol (1-3%)	груп. неравном	250	ВЕГ., ЦВ. ПЛ.
<i>Trisetum sibiricum</i> Rupr.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	75	ВЕГ., ЦВ.
<i>Melica nutans</i> L.	<i>Poaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	25	ВЕГ., ЦВ.
<i>Poa attenuata</i> Trin.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	30	ВЕГ., ЦВ.
<i>Festuca rubra</i> L.	<i>Poaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	35	ВЕГ., ЦВ.
<i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) Beauv.	<i>Poaceae</i>	sol (1-3%)	груп. неравном	55	ВЕГ., ЦВ.

<i>Elymus tianschanigenus</i> Czerep.	<i>Poaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	65	вег., цв.
<i>Elymus caninus</i> (L.) L.	<i>Poaceae</i>	sol (1-3%)	груп. неравном	70	вег., цв.
<i>Elymus sibiricus</i> L.	<i>Poaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	65	вег., цв.
<i>Allium polyphyllum</i> Kar. & Kir.	<i>Alliaceae</i>	sol (1-3%)	груп. неравном	45	вег., цв. пл.
<i>Epipactis latifolia</i> (L.) All.	<i>Orchidaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	10	вег., цв. пл.
<i>Corallorhiza trifida</i> Chatel.	<i>Orchidaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	15	вег., цв. пл.
<i>Rumex acetosa</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	115	вег., цв. пл.
<i>Stellaria soongorica</i> Roshev.	<i>Caryophyllaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	15	вег., цв. пл.
<i>Cerastium davuricum</i> Fisch. ex Spreng.	<i>Caryophyllaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	10	вег., цв. пл.
<i>Minuartia kryloviana</i> Schischk.	<i>Caryophyllaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	10	вег., цв. пл.
<i>Melandrium songaricum</i> Fisch., С.А. Mey. & Ave-Lall.	<i>Caryophyllaceae</i>	sol (1-3%)	груп. неравном	45	вег., цв. пл.
<i>Delphinium iliense</i> Huth.	<i>Ranunculaceae</i>	sol (1-3%)	груп. неравном	75	вег., цв.
<i>Aconitum nemorum</i> Popov.	<i>Ranunculaceae</i>	sol (1-5%)	груп. неравном	105	вег., цв.
<i>Cardamine impatiens</i> L.	<i>Brassicaceae</i>	sol (1-10%)	груп. неравном	35	вег., цв.
<i>Potentilla canescens</i> Besser	<i>Rosaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	55	вег., цв.
<i>Potentilla chrysantha</i> Trevir.	<i>Rosaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	25	вег., цв.
<i>Astragalus alpinus</i> L.	<i>Faabaceae</i>	sol (1-7%)	груп. неравном	15	вег., цв.

В таблице 5 представлены морфометрические параметры разновозрастных особей *Rheum wittrockii* Lundstr. из различных местообитаний. Виргинильные особи имеют максимальными размеры в популяции 1, минимальные размеры в

популяции 2. Количество листьев у них во всех популяциях одинаковое. В популяции 3 было найдено только 2 растений средневозрастного и старого генеративного состояния, поэтому их параметры не учитывались (Table 5).

Таблица 5 – Comparative characteristics of the morphological characteristics of *Rheum wittrockii*

Название	Возрастные группы	Juvenile (j)	Immature (i)	Virginal (v)	Generative (g)
Популяция 1	Общее количество	35	47	74	29
	Длина листа, см	8,83±0,76	14,17±1,17	17,83±1,26	31,17±3,40
	Высота растения, см	15,67±1,15	30,00±5,00	47,33±7,51	83,33±7,64
Популяция 2	Общее количество	29	33	63	38
	Длина листа, см	6,67±1,53	11,33±1,53	19,33±2,08	30,67±4,04
	Высота растения, см	17,33±2,52	23,33±1,53	40,67±9,29	78,33±7,64
Популяция 3	Общее количество	19	25	10	15
	Длина листа, см	10,00±1,00	22,33±2,52	31,67±2,89	37,67±2,52
	Высота растения, см	12,67±2,52	27,67±2,52	48,00±7,55	73,33±20,82

Устойчивость ценопопуляций *Rheum wittrockii* в биоценозах обеспечивается его биологическими свойствами такими как преобладание молодых виргинильных и средневозрастных генеративных особей, ежегодное пополнение

ценопопуляции новыми семенными проростками. Механизм устойчивости позволяет *Rheum wittrockii* длительно существовать в ограниченной численности в составе широкого спектра разнотравных сообществ. Исследуемые терри-

тории хребта Узынкара и Иле Алатау издавна испытывали антропогенное воздействие. Но за последние десятилетия нарушение естественного растительного покрова на исследуемых горных территориях, сведение лесов на склонах и водоразделах привело к развитию эрозионных процессов. Вследствие антропогенного воздействия на флору и растительность горных поясов хребта Узынкара и Иле Алатау произошло нарушение первичного растительного покрова и образование вторичных манжетковых, фломиновых, гераниевых лугов. Возрастающую роль в определении дальнейшего развития жизнедеятельности популяций редких видов растений играют лимитирующие факторы не природного, а антропогенного характера.

Основными лимитирующими факторами, ограничивающими расселения вида в естественных местах обитания, является высокая конкуренция в фитоценозах, антропогенная нагрузка, строгая экологическая приуроченность.

Заключение

Таким образом, в результате проведенного исследования на хребте Узынкара и Заилийского Алатау обнаружены три популяции *Rheum wittrockii* Lundstr. Типичными местами расселения *Rheum wittrockii* Lundstr. являются разнотравно-злаковые луговые сообщества среднего горного лесного пояса. Видовое разнообразие

сообществ с участием *Rheum wittrockii* Lundstr. на хребте Узынкара и Иле Алатау насчитывает 148 видов, принадлежащих к 37 семействам и 90 родам. Характерными видами-маркерами этих сообществ являются *Phleum pratense* L., *Trifolium pratense* L., *Geranium pratense* L., *Festuca pratensis* Huds., *Dactylis glomerata* L., *Daucus carota* L. Флоропопуляционное сходство обследованных популяций варьирует в пределах 60-70%. Самоподдержание и размножение вида осуществляется преимущественно семенами. Эколого-биологический анализ подтвердил мезофитный и мезоксерофитный характер флоры луговых местообитаний популяций *Rheum wittrockii* Lundstr. Основными лимитирующими факторами, существенно ограничивающими расселение вида, являются высокая конкуренция в фитоценозах, антропогенная нагрузка, строгая экологическая приуроченность. Обследованные популяции требуют охраны и проведения многолетнего мониторинга за демографической структурой.

Работа выполнена при поддержке и финансировании Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках проекта «Оценка влияния природных и антропогенных факторов на степень деградации пастбищных экосистем юго-востока Казахстана для реализации Цели устойчивого развития 15» (ИРН АР23490247).

References

1. Wani I. A., Verma S., et al. Ecological assessment and environmental niche modelling of Himalayan rhubarb (*Rheum webbianum* Royle) in northwest Himalaya: PLOS ONE 16(12), e0261100, (2021). DOI: 10.1016/j.pone.2021.11.026 Plos One.
2. Tabin S, Kamali AN, Gupta RC. Micropropagation and conservation of *Rheum webbianum* collected from Zanskar valley through tissue culture. Ann. Plant Sci.; 7(4), (2018), 2187–2203. DOI: 10.21746/aps.2018.7.4.4
3. Tayade A, Dhar P, et al. *Rheum webbianum* Royle: A potential medicinal plant from trans-himalayan cold deserts of Ladakh, India. Plant Archives: 12, (2012), 603–606. DOI: 10.26493/6098.
4. Matsuda H, Tewtrakul S, Morikawa T, Yoshikawa M. Anti-allergic activity of stilbenes from Korean rhubarb (*Rheum undulatum* L.) structure requirements for inhibition of antigen-induced degranulation and their effects on the release of TNF- α and IL-4 in RBL-2H3 cells. Bioorg. Chem.: 12, (2004), 4871–487. DOI: 10.1016/j.bmc.2004.07.007.
5. Radhika R, Kumari DK, Sudarsanam D. Antidiabetic activity of *Rheum emodi* in alloxan induced diabetic rats. Int. J. Pharma. Sci. Res.: 1, (2010), 296–300. DOI: 10.50434391.
6. Kumar A., Bisht Y. Morphological and genetic diversity assessment of *Rheum australe* D. Don – A high value medicinal herb from the Himalaya, and implications for conservation strategies: South African Journal of Botany. 163, (2023), 620-629. DOI:10.1016/j.sajb.2023.11.016.
7. Chen F. et al. Genetic diversity and population structure of the endangered and medically important *Rheum tanguticum* (Polygonaceae) revealed by SSR markers: Biochemical Systematics and Ecology. 37 (5), (2009), 613-621. DOI:10.1016/j.bse.2009.08.004
8. Y Hu. Genetic diversity of wild populations of *Rheum tanguticum* endemic to China as revealed by ISSR analysis. Biochemical Systematics and Ecology: 38 (3), (2010), 264-274 DOI:10.1016/j.bse.2010.01.006.

9. Ruiting Xu, et al. Unraveling the Rhubarb (*Rheum officinale* Baill.) Root and Rhizosphere Microbial Communities in Response to Pathogen Exposure. *Molecular Biotechnology*: (2025), DOI:10.1007/s12033-025-01367-y.
10. Xu-Mei Wang, et al. Genetic Diversity of the Endemic and Medicinally Important Plant *Rheum officinale* as Revealed by Inter-Simple Sequence Repeat (ISSR) Markers. *International Journal Molecular Sciences*: 13 (3), (2012), 3900-3915. DOI:10.3390/ijms13033900.
11. Shahzad A. Pandith. Evaluation of anthraquinones from Himalayan rhubarb (*Rheum emodi* Wall. ex Meissn.) as antiproliferative agents. *South African Journal of Botany*: 95 (2014), 1-8. DOI:10.1016/j.sajb.2014.07.012.
12. Paromik Bhattacharyya, et al. Start Codon Targeted (SCoT) marker reveals genetic diversity of *Dendrobium nobile* Lindl., an endangered medicinal orchid species. *Gene*: 529 (1), (2013), 21-26. DOI: 10.1016/j.gene.2013.07.096.
13. Ishfaq Ahmad Wani1, et al. Reproductive Biology of *Rheum webbianum* Royle, a Vulnerable Medicinal Herb From Alpines of North-Western Himalaya. *Front. Plant Sci.*, 13, (2022), DOI:10.3389/fpls.2022.699645.
14. Ganie, A. H., Tali, B. A., Reshi, Z. A., and Nawchoo, I. A. Stigmatic Movement Promotes Cross Pollination in *Rheum webbianum* Royle: an Important Endemic Medicinal Plant of Kashmir Himalaya. *Natl. Acad. Sci. Lett.*: 40, (2017), 435-438. DOI: 10.1007/s40009-017-0579-9.
15. Anderson, G. J., Johnson, S. D., Neal, P. R., Bernardello, G. Reproductive biology and plant systematics: the growth of symbiotic association. *Taxon*: 51, (2002), 637-653. DOI: 10.2307/3647326.
16. Flora Kazakhstana (1956-1966) [Flora of Kazakhstan], Alma-Ata, vol.1-9.
17. Opredeletel rastenii Srednei Azii (1968 - 1993) [The determinant of plants in Central Asia], Tashkent, vol.1-10.
18. Illyustrirovannyi opredelitel' rastenii Kazakhstana (1962 - 1975) [Illustrated determinant of plants of Kazakhstan], Alma-Ata, vol. 1-2.
19. Abdulina S.A. (1998) Sosudistye rastenia Kazakhstana [Vascular plants of Kazakhstan], Almaty, -188 p. [in Russian].
20. Cherepanov S.K. (1995) Sosudistye rastenia Rossii i sopredelnykh gosudarstv, v predelakh byvshego SSSR [Vascular plants of Russia and neighboring states, within the former USSR], -Spb., - 990 p. [in Russian].
21. Drude O. Die Okologie der pflanzen. Braunschweig. 1913.
22. Rabotnov T. A. (1970) Znachenie konsortivnykh svyazey v opredelenii vzaimnykh otnosheniy rasteniy v fitotsenozakh [The Importance of Consortium Relations in Determining Mutual Relationships of Plants in Phytocenoses // Bulletin of the Moscow Society for Nature Research, Biol. Department]. 75 (2). [in Russian].
23. Uranov, A. A. (1960) Zhiznennoye sostoyaniye vida v rastitel'nom soobshchestve [Vital state of a species in a plant community // Bulletin of Moscow Society for Nature Research, Department of Biol.]. 65 (3). [in Russian].
24. <https://www.kazhydromet.kz/ru/>
25. Serebryakov I. G. (1962) Ekologicheskaya morfologiya rasteniy [Ecological morphology of plants]. - Moscow, - 437 p.
26. Korovin E.P. (1961) Rastitel'nost Sredney Azii i Yuzhnogo Kazakhstana [Vegetation of Central Asia and Southern Kazakhstan], - 437 p. [in Russian].
27. Baitenov M.S. (2001) Flora Kazakhstatna [Flora of Kazakhstan]. - Almaty, vol. 2, - 279 p. [in Russian].

Сведения об авторах:

Садырова Гулбану (автор для корреспонденции) – доктор биологических наук, ассоциированный профессор кафедры ЮНЕСКО по устойчивому развитию факультета географии и природопользования Казахского национального университета имени аль-Фараби (e-mail: gulbanu-s@mail.ru).

Таныбаева Айнур – кандидат химических наук, сениор-лектор кафедры ЮНЕСКО по устойчивому развитию факультета географии и природопользования Казахского национального университета имени аль-Фараби (e-mail: Ainur.Tanybaeva@kaznu.kz).

Тусупова Баян Халиловна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры ЮНЕСКО по устойчивому развитию факультета географии и экологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (e-mail: tussupova@yandex.ru).

Курбанова Лаура Сериковна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры ЮНЕСКО по устойчивому развитию факультета географии и экологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (e-mail: k_lau@mail.ru).

Даулетбаева Маржанкуль – кандидат биологических наук, сениор-лектор кафедры биологии Казахского национального женского педагогического университета (e-mail: marjandmm19@gmail.com).

Муканова Гульжанат Амангельдиевна – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор кафедры ЮНЕСКО по устойчивому развитию Казахского национального университета имени аль-Фараби (e-mail: gulzhanat.Mukanova@kaznu.kz).

Оразбекова Куралай – учёный секретарь, кандидат медицинских наук (e-mail: kuralay_orazbekova@mail.ru).

Information about authors:

Sadyrova Gulbanu (corresponding author) – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor of the UNESCO Department of Sustainable Development, Faculty of Geography and environment, Al-Farabi Kazakh National University (e-mail: gulbanu-s@mail.ru).

Tanybayeva Ainur – Candidate of Chemical Sciences, Senior lecturer of the of the UNESCO Department of Sustainable Development, Faculty of Geography and environment, Al-Farabi Kazakh National University (e-mail: Ainur.Tanybaeva@kaznu.kz).

Tusupova Bayan Khalilovna – candidate of technical sciences, UNESCO Department of Sustainable Development, Faculty of Geography and environment, Al-Farabi Kazakh National University (e-mail: tussupova@yandex.ru).

Kurbanova Laura Serikovna – candidate of technical sciences, UNESCO Department of Sustainable Development, Faculty of Geography and environment, Al-Farabi Kazakh National University (e-mail: k_lau@mail.ru).

Dauletbayeva Marzhankul – Candidate of biological sciences, senior lecturer, Department of Biology, Kazakh National Women's Teacher Training University (e-mail: marjandmm19@gmail.com)

Mukanova Gulzhanat Amangeldikyzy – associate professor UNESCO Department of Sustainable Development (e-mail: gulzhanat.Mukanova@kaznu.kz).

Orazbekova Kuralay – scientific secretary, candidate of medical sciences (e-mail: kuralay_orazbekova@mail.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Садырова Гүлбану Ауесхановна (корреспондент-автор) – биология ғылымдарының докторы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің география және экология факультетінің ЮНЕСКО-ның тұрақты даму кафедрасының доценті (e-mail: gulbanu-s@mail.ru).

Таныбаева Айнұр Кабрасуловна – химия ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің география және экология факультетінің ЮНЕСКО-ның тұрақты даму кафедрасының аға оқытушысы (e-mail: Ainur.Tanybaeva@kaznu.kz).

Тусупова Баян Халиловна – техника ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің география және экология факультетінің ЮНЕСКО-ның тұрақты даму кафедрасының аға оқытушысы (e-mail: tussupova@yandex.ru).

Курбанова Лаура Сериковна – техника ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің география және экология факультетінің ЮНЕСКО-ның тұрақты даму кафедрасының аға оқытушысы (e-mail: k_lau@mail.ru).

Даулетбаева Маржанкүл Мырзахметқызы – биология ғылымдарының кандидаты, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университетінің биология кафедрасының аға оқытушысы (Алматы, Қазақстан, e-mail: marjandmm19@gmail.com).

Мұқанова Гүлжанат Амангелдіқызы – ЮНЕСКО-ның тұрақты даму кафедрасының доценті, биология ғылымдарының кандидаты (Алматы, Қазақстан, e-mail: gulzhanat.Mukanova@kaznu.kz)

Оразбекова Күралай – ғылыми хатшы, медицина ғылымдарының кандидаты (Алматы, Қазақстан, e-mail: kuralay_orazbekova@mail.ru).

*Поступила 24 марта 2025 года
Принята 25 декабря 2025 года*

A.Y. Abdegaliyeva^{1*} , A.A. Amanbayev² ,

A.B. Abzhalelov¹ , Cengiz Acar³

¹LN Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²Almaty Branch of the Republican State Enterprise on the Right of Economic Management
“National Center of Expertise” of the Sanitary and Epidemiological Control Committee
of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

³Karadeniz Technical University, Türkiye

*e-mail: abdegaliyeva_a@mail.ru

ADAPTATION OF ORNAMENTAL FLOWERING SHRUBS TO THE SHARPLY CONTINENTAL CLIMATE: LANDSCAPING EXPERIENCE IN ASTANA

Under the sharply continental climate of Astana, the selection of resilient ornamental shrub species is especially important for establishing durable and sustainable urban green infrastructure. The aim of this study was to assess the survival and adaptation characteristics of ornamental flowering shrubs in urbanized areas of the capital of Kazakhstan.

The analysis was carried out on several experimental plots that differed in agrochemical soil properties, including nutrient availability, humus content, and acidity. The results showed an average plant loss rate of 28.6%. Glossy cotoneaster (*Cotoneaster lucidus*) demonstrated the highest resilience, with losses below 1%, while common ninebark (*Physocarpus opulifolius*) exhibited moderate tolerance, with losses ranging from 15% to 25%. Panicle hydrangea (*Hydrangea paniculata*) was identified as the least adapted species, with mortality reaching 24.4%. Plant survival was strongly influenced by soil potassium and phosphorus levels, organic matter content, and pH balance.

Based on these findings, it is recommended to prioritize glossy cotoneaster and common ninebark for urban landscaping projects in Astana, whereas panicle hydrangea should be used only in areas with favorable agrochemical conditions. Future research should focus on identifying and testing new drought- and cold-tolerant cultivars to further enhance the sustainability of Astana's urban green spaces.

Keywords: ornamental shrubs, urban ecology, Astana, plant adaptation, landscaping.

A.Е. Абдегалиева^{1*}, А.А. Аманбаев^{2*}, А.Б. Абжалелов¹, Д. Аджар⁴

¹ А.Н. Гумилёв атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

² Алматы қаласындағы Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрлігі
Санитариялық-эпидемиологиялық бақылау комитетінің шаруашылық жүргізу құқығындағы
«Ұлттық сараптама орталығы» РМК филиалы, Алматы, Қазақстан

³ Каратеңіз техникалық университеті, Түркия

*e-mail: abdegaliyeva_a@mail.ru

Сәндік гүлді бұталардың қатты континенттік климат жағдайына бейімделуі: Астананы көгалдандыру тәжірибесі

Астананың қатаң континенттік климаты жағдайында ұзақ мерзімді жасыл инфрақұрылымды қалыптастыру үшін тұрақты сәндік бұт түрлерін таңдау ерекше маңызға ие. Бұл зерттеудің мақсаты – Қазақстан астанасының урбанизацияланған аймақтарында сәндік гүлді бұталардың тіршілік етуі мен бейімделу ерекшеліктерін анықтау. Талдау бірнеше тәжірибелік учаскелерде, әртүрлі агрохимиялық топырақ сипаттамалары бойынша жүргізілді.

Нәтижелер көрсеткендей, орташа өсімдік жоғалту деңгейі 28,6 % болды, сонымен қатар Қызыл тұт (*Cotoneaster lucidus*) ең жоғары тұрақтылықты көрсетті (1 %-дан аз), Қабақшабұт (*Physocarpus opulifolius*) орташа жоғалту деңгейінде болды (15–25 %), ал метельді гортензия (*Hydrangea paniculata*) ең төмен бейімделген түр ретінде анықталды. Өсімдіктердің тіршілік етуі тікелей топырақтағы калий мен фосфор мөлшеріне, гумус деңгейіне және қышқылдыққа байланысты болды.

Алынған нәтижелерге сүйене отырып, Астананы жасылдандыру кезінде Қызыл тұт пен Қабақшабұтты басым түрде пайдалану ұсынылады, ал метельді гортензияны тек агрохимиялық жағдайлары қолайлы учаскелермен шектеу қажет. Зерттеу нәтижелері сәндік өсімдіктер ассортиментін таңдауда кешенді тәсілдің және топырақ көрсеткіштерін тұрақты бақылаудың

дылығын растайды, бұл тұрақты қалалық жасыл инфрақұрылымды қалыптастыру үшін маңызды. Болашақта бұл Астананың неғұрлым тұрақты және экологиялық жағынан орнықты жасыл инфрақұрылымын қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: декоративті бұталар, урбан экологиясы, Астана, өсімдіктердің бейімделуі, ландшафттық көгалдандыру.

А.Е. Абдегалиева^{1*}, А.А. Аманбаев², А.Б. Абжалелов³, Д. Аджар⁴

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан

²Алматинский филиал РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы»
Комитета санитарно-эпидемиологического контроля Министерства здравоохранения
Республики Казахстан, Алматы, Казахстан

³Черноморский технический университет, Турция

*e-mail: abdegaliyeva_a@mail.ru

Адаптация декоративно-цветущих кустарников к условиям резко континентального климата: опыт озеленения Астаны

В условиях резко континентального климата города Астаны особое значение приобретает выбор устойчивых видов декоративных кустарников для формирования долговечной зелёной инфраструктуры. Целью данного исследования является выявление особенностей приживаемости и адаптации декоративно-цветущих кустарников на урбанизированных территориях столицы Казахстана.

Анализ проводился на нескольких опытных участках с различными агрохимическими характеристиками почв. Результаты показали, что средний уровень отпада составил 28,6 %, при этом кизильник блестящий (*Cotoneaster lucidus*) продемонстрировал наилучшую устойчивость (менее 1 %), пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolius*) имел средний уровень отпада (15–25 %), тогда как гортензия метельчатая (*Hydrangea paniculata*) оказалась наименее приспособленной (до 24,4 %). Приживаемость растений напрямую зависела от содержания калия и фосфора в почве, уровня гумуса и кислотности. На основании полученных данных рекомендуется приоритетное использование кизильника блестящего и пузыреплодника калинолистного при озеленении Астаны, в то время как применение гортензии метельчатой целесообразно ограничить участками с благоприятными агрохимическими условиями.

Результаты исследования подчеркивают важность комплексного подхода к подбору ассортимента декоративных растений и регулярного мониторинга почвенных показателей для успешного формирования устойчивой городской зелёной инфраструктуры. В перспективе это позволит формировать более стабильную и экологически устойчивую зелёную инфраструктуру города Астаны.

Ключевые слова: декоративные кустарники, городская экология, Астана, адаптация растений, ландшафтное озеленение.

Introduction

Astana is the capital of Kazakhstan, a modern and dynamically developing metropolis with a population of about 1,392 people, embodying advanced urban ideas and architectural innovations. The climate of Astana belongs to the sharply continental type, which is one of the most important characteristics of the region. This type is due to the geographical location of the city in the center of the Eurasian continent, far from the seas and large bodies of water. Therefore, Astana is characterized by sharp temperature fluctuations and the formation of weather anomalies: in winter – from severe frosts to thaws and rains, in summer – from heat above +35 °C to frosts [16]. The sharply continental climate influences urbanization, architecture, transport system, landscaping and lifestyle of the city. Despite the harsh climatic conditions, the development of

the capital of Kazakhstan requires new approaches to landscape design, landscaping, ecologically sustainable and aesthetically attractive urban environment. Typical vegetation characteristic of the city is represented by the following plants: fescue (*Festuca valesiaca*), feather grass (*Stipa*), fescue (*Festuca*), wormwood (*Artemisia*), couch grass (*Elytrigia*), reed grass (*Calamagrostis*), bluegrass (*Poa*), yarrow (*Achillea*), rose hips (*Rosa*) and other plant species. In the parks, squares and alleys, trees such as poplar (*Populus*), birch (*Betula*), ash (*Fraxinus*), pine (*Pinus*) and others are common. You can also find plantain (*Plantago*), dandelion (*Taraxacum*), chamomile (*Matricaria*). The total number of trees in the city is about 500 thousand pieces. Their number increases annually due to plantings as part of landscaping, due to the construction and reconstruction of parks and squares, as well as landscaping of the territories of new construction projects. The average

survival rate of trees in the capital is 92% [7]. However, sustainable urban green infrastructure based only on landscaping with native tree species is not feasible due to the limited number of native flora species. In addition, the list of resistant tree species in a given region may be too limited to provide ecosystem services and sustainable development of landscape architecture objects. Active introduction processes, primarily of ornamental plants, are observed in the Mediterranean region [19], in Europe [6], and other regions of our planet. Introduction processes are actively manifested in the Asian part of Russia.

Materials and methods

Classical methods for assessing the success of the introduction of a particular plant species are determining its winter hardiness, drought resistance and ability to germinate seeds. One of the main indicators of plant introduction is the study of the chemical and physicochemical properties of the soil. Including the study of the properties of the soils on which the introduced species grow is a necessary condition for the reliability of the assessment of the success of the introduction [2].

Due to the fact that the urbanization process requires the introduction of new plant species, since 2020, landscaping activities in Astana have been actively carried out by Astana-Zelenstroy LLP across the five administrative districts of the city (Fig-

ure 1). In particular, ornamental flowering shrubs such as Cossack juniper (*Juniperus sabina*), glossy cotoneaster (*Cotoneaster lucidus*), Panicle hydrangea (*Hydrangea paniculata*), Japanese spirea (*Spiraea japonica*), Common ninebark (*Physocarpus opulifolius*), and Shrubby cinquefoil (*Potentilla fruticosa*), along with many other species, have been introduced and planted in containers with C5 and C3 seedlings. C5 seedlings are obtained after transplanting (transshipment) of C3 seedlings into a larger container (from C3 to C5). This type of transplant does not disturb the integrity of the root ball, which is already intertwined with roots. This method is particularly well suited for the cultivation of ornamental shrubs. The letter “C” in container labeling designates a round pot, and the number indicates its volume in liters (1 liter = 1000 cm³). For example, C3 corresponds to a 3-liter pot measuring 18 × 15 cm, where 18 cm is the upper diameter of the container and 15 cm is its height; C5 corresponds to a 5-liter container with a diameter of 22 cm and a height of 18 cm. The containers are most commonly round in shape [23].

For the purposes of this study, three types of ornamental flowering shrubs were selected: panicle hydrangea (*Hydrangea paniculata*), glossy cotoneaster (*Cotoneaster lucidus*), and common ninebark (*Physocarpus opulifolius*). These species are highly ornamental, tolerate pruning well, and are resistant to urban environmental conditions.



Figure 1 – Administrative districts of Astana (as of 2023)

Cotoneaster lucidus

This culture is distinguished (Figure 2), first of all, by dark green glossy numerous leaves, glossy cotoneaster plantings are beautiful in spring, when the bushes are strewn with small pink flowers, which form black fruits in autumn [1]. Due to the abun-

dant foliage, numerous shoots, glossy cotoneaster presents great prospects for topiary haircuts, it can be given absolutely any shape – balls, cubes, trapezoids, various animal figures, etc.; and also form hedges when creating parks, squares and decorate highways.

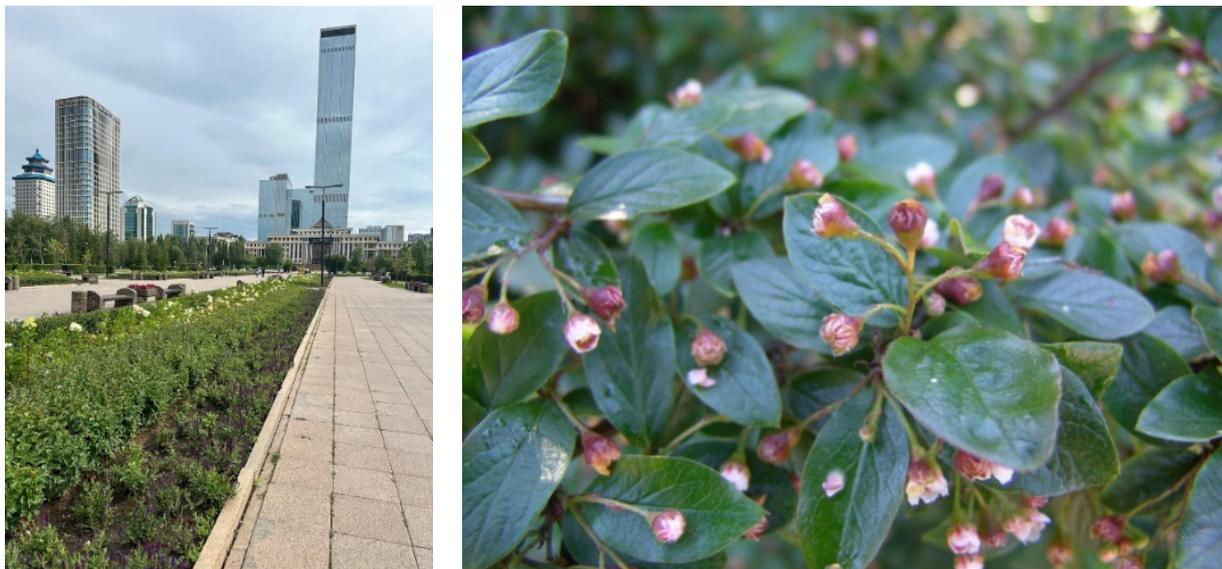


Figure 2 – Cotoneaster lucidus planted in flowerbeds near the “Baiterek” monument, Astana

Hydrangea paniculata

Hydrangea paniculata- this is enough large by his own sizes shrub (Figure 3). The height can reach one and a half to two meters. It got its name due to its spectacular inflorescences – large panicles of an elongated or spherical shape. In some cases, the size of the inflorescences can reach 25 or even 30 centimeters.

Hydrangea is highly valued for several key traits, including ease and cost-effectiveness of cultivation, frost tolerance even in northern regions where temperatures can drop to $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, low sensitivity to environmental conditions, resistance to pests and diseases, and suitability for growth in urban environments, including locations adjacent to busy roads and highways.



Figure 3 – Hydrangea paniculata flowering on the Green-Water Boulevard, Astana

Hydrangea is highly valued for several key traits, including ease and cost-effectiveness of cultivation, frost tolerance even in northern regions where temperatures can drop to $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, low sensitivity to environmental conditions, resistance to pests and diseases, and suitability for growth in urban environments, including locations adjacent to busy roads and highways.

Hydrangeas are distinguished by a variety of shapes and sizes. Flowers are collected in spectacular spherical inflorescences – corymbs or panicles at the ends of stems. Most species have two types of flowers in the inflorescences: small fertile ones in the center and large sterile ones at the edges.

Physocarpus opulifolius

Physocarpus viburnifolia (Figure 4) belongs to the genus of deciduous shrubs of the Rosaceae family. The branches are flexible and drooping. The leaves are round-ovate, up to 4 cm long, with 3-5 blunt lobes, of which the middle one is larger. The edge of the leaf is serrate-toothed. Depending on the species, the leaf blades of the physocarpus can have a color from bright green to bright red shades. The flowers are pink or white, collected in convex corymbose inflorescences. Blooms in June-July. Fruits from 3-4 swollen leaflets, which ripen in September-October. Begins to bloom and bear fruit from the age of four [13].

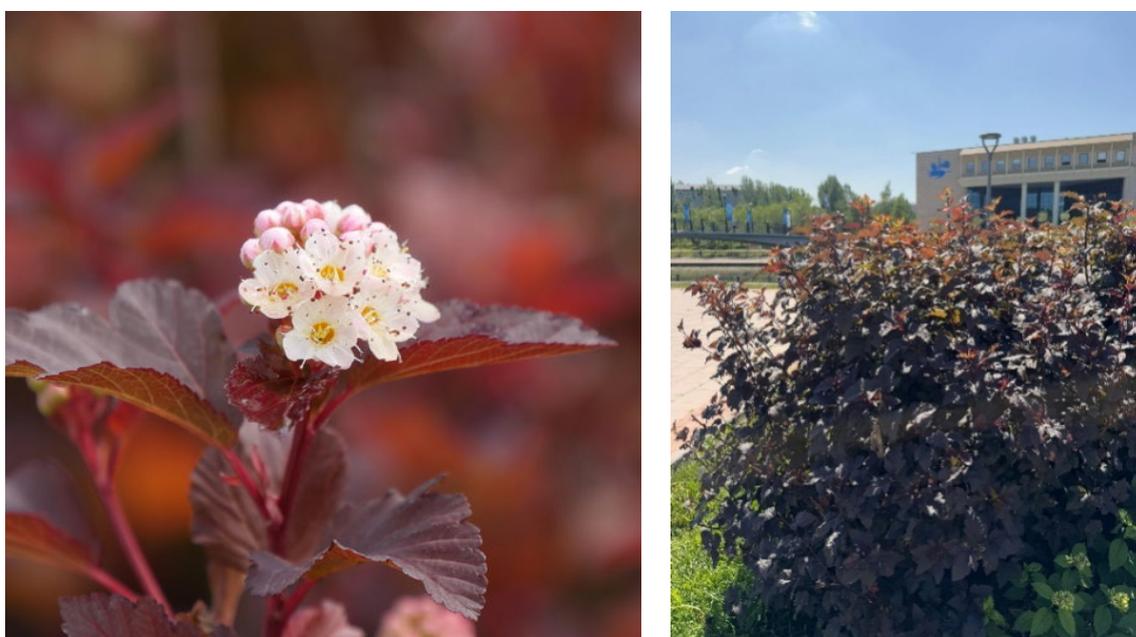


Figure 4 – *Physocarpus opulifolius* in flowerbeds of “Teachers’ Square”, Astana

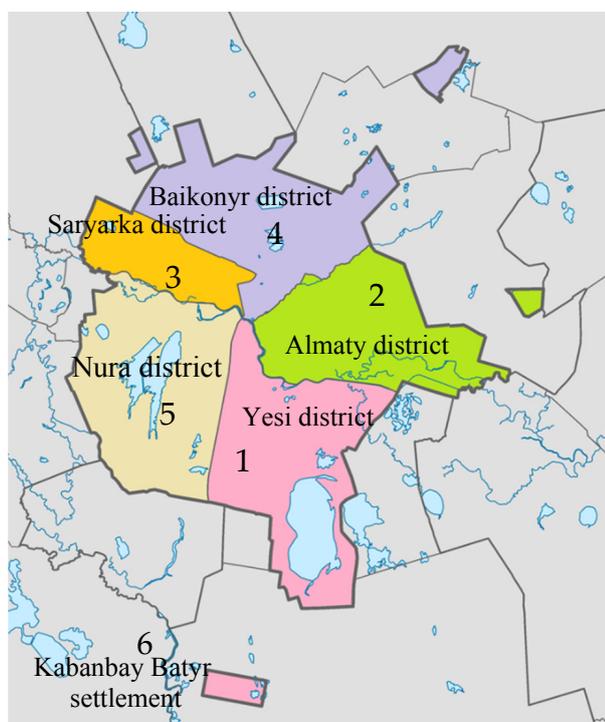
The genus has about 10 species growing in East Asia and North America. In culture, the bladder senna shrub is a fast-growing plant, quite shade-tolerant, frost-resistant, undemanding to soil conditions, gas-resistant, tolerates pruning well, and is used in group plantings and hedges. By 2015, the number of bladder senna varieties already exceeded three dozen. And this is only the beginning, since the shrub has a large untapped genetic potential. The bladder senna is popularly called meadowsweet, and sometimes viburnum-leaved spirea (*lat. Spiraea opulifolia*) [12].

Agrochemical and physicochemical properties of soils where selected species of ornamental flowering shrubs grow were studied at the Analytical Center of the A.I. Barayev Scientific and Production Center for Agriculture and Chemicalization. The studies covered areas located in five administrative districts of Astana – Yesil, Saryarka, Almaty, Nurinsky and Baikonur (Figure 5) – where shrubs grow in urban conditions, as well as in the Tselinograd district of the Akmola region (Kabanbay Batyr settlement, Maybalyk street, 22/1), where plants are grown in a greenhouse environment (Table 1).

Table 1 – Sampling locations for soil collection in habitats of ornamental flowering shrubs in Astana

№	District research	Object of study	Soil layer, cm
1	Yesil	Park area of the Bayterek monument	0 – 20
2	Almaty	st.Satpayev (from Kuishi Dina st. to Momyshuly avenue)	0 – 20
3	Saryarka	The square in front of the city Akimat	0 – 20
4	Baikonur	The territory of the «Teachers» square	0 – 20
5	Nura	Park area «Astana-Opera»	0 – 20
6	Kabanbay Batyr settlement.	Maybalyk st. 22/1	0 – 20

Soil samples were collected from a depth of 20 cm by forming pit-like excavations. All samples after collection were hermetically sealed, appropriately labeled and sent to a specialized laboratory for complex agrochemical analysis.

**Figure 5** – Research address on the city map (as of 2024)

The following methods were used in laboratory conditions:

1. The determination of nitrates followed the TsINAO method specified in GOST 26488–85, which is based on the reduction of nitrates to nitrites followed by photometric measurement [12].

2. Determination of mobile forms of phosphorus and potassium was carried out according to the

Machigin method using a 1 M solution of ammonium acetate (pH 4.8) as an extractant. Phosphorus was determined colorimetrically, potassium – using a flame photometer.

3. Organic matter content was evaluated using the Tyurin method modified by TsINAO, which relies on the oxidation of organic carbon with potassium dichromate followed by titration.

4. Measurement of pH, specific electrical conductivity and solid residue were performed in an aqueous extract (soil:water ratio 1:5) in accordance with generally accepted methods of agrochemical analysis [14].

5. The content of fulvic and humic acids was assessed through sequential alkaline extraction, followed by fractionation under decreasing pH. Humic acids precipitate at pH 1, whereas fulvic acids remain in solution [10].

Results and discussion

A comprehensive analysis of the granulometric composition of soils in the urban microdistricts of Saryarka, Baikonur, Almaty, Yesil and Nura was conducted, covering sixty control points and resulting in the identification of four main soil types: dark chestnut, meadow chestnut, solonchaks, and urban soils. Heavy, medium and light loams were found to predominate in terms of mechanical composition [31]. A recent study examined the engineering and geotechnical characteristics of sulfate-rich soils in Astana, revealing that a considerable portion of the urban territory is dominated by solonetz–chloride clays, clayey sandy loams, and glaciated sediments. Another investigation focused on the dynamics of humus, total nitrogen, mobile phosphorus, and exchangeable potassium in the soils of Northern Kazakhstan, including the suburban areas of Astana [9,3]. Over 33 years, a gradual decrease in these indicators has been observed, which emphasizes the relevance of the transition to sustainable agriculture

[3]. According to the study “Study of the soil of green areas of Astana” (2023), the chemical parameters of soils in the city’s parks and squares vary depending on the landscape approach and soil-hydrological conditions.

The study assessed the content of the main plant nutrients – nitrate nitrogen (N-NO_3), phosphates (P_2O_5) and potassium (K_2O) – in soils in different areas of the city. The analysis was conducted at six points with varying degrees of greenery and anthropogenic load: from central parks and squares to the surrounding area of residential buildings (Figure 6).

In the Teachers’ Square, the highest potassium content (approximately 1350 mg/kg) and elevated phosphate levels (approximately 230 mg/kg) were recorded, with an average level of nitrate nitrogen. Such agrochemical characteristics of the soil indicate its high nutrient availability, which contributes to the successful landscaping using ornamental plants that are sensitive to mineral nutrition [15].

At 22/1 Maibalyk Street, the highest content of nitrate nitrogen, as well as elevated levels of phosphates and potassium, were observed. This may be associated with increased anthropogenic pressure, intensive maintenance, and fertilizer application typical for residential and public areas [32].

Thus, Teachers’ Square and 22/1 Maibalyk Street stand out as sites with the best agrochemical indicators, where as Astana-Opera Park requires

reclamation measures and improvement of plant nutrition conditions.

The park area around the Bayterek Monument and the site along Satpaev Street exhibited an average level of nutrient availability, which is considered acceptable for introduced woody and shrub species that do not have high fertility requirements [29].

In the soil of the square in front of the City Akimat, a sufficient potassium content (approximately 760 mg/kg) was detected, but phosphate levels were low (less than 70 mg/kg), which may limit root system development, particularly in young plants [25]. The Astana-Opera park area is characterized by the lowest concentrations of all studied macronutrients: K_2O – approximately 410 mg/kg, P_2O_5 – less than 50 mg/kg, and N-NO_3 – at minimal levels.

For the quantitative assessment of organic matter content in the soils of the studied sites, the classical Tyurin oxidation method modified by TsINAO was used, as recommended for agrochemical soil analysis.

The content of total humus and its fractional composition – humic acids (C_h) and fulvic acids (C_f) – in the soils of the studied green areas of Astana varies over a wide range (Figure 7). Determinations were carried out using the Tyurin method modified by TsINAO. These methods remain among the most accurate and widely applied in agroecological research [11,18].

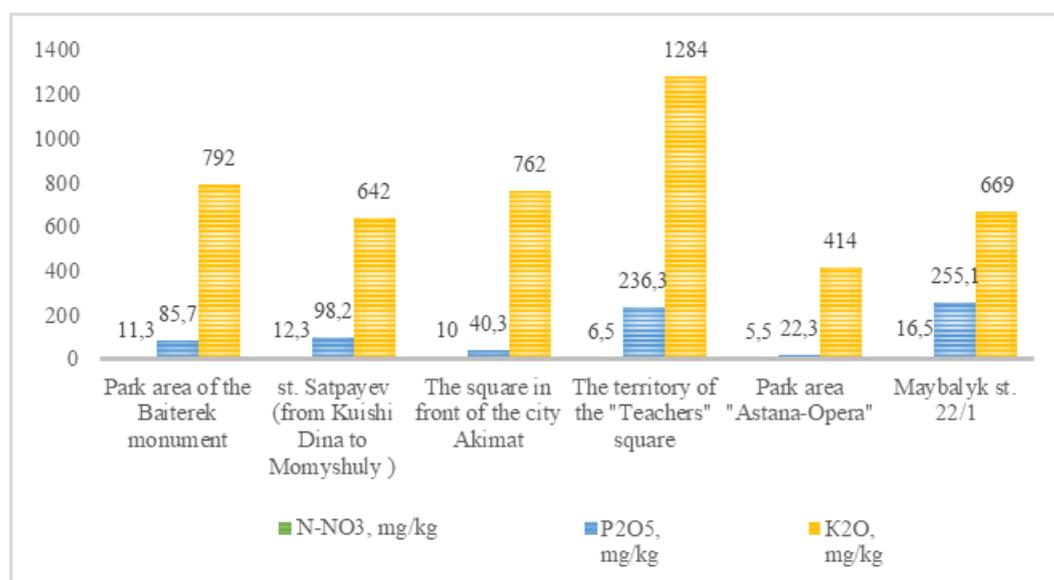


Figure 6 – Assessment of the content of the main plant nutrients – nitrate nitrogen (N-NO_3), phosphates (P_2O_5) and potassium (K_2O) – in the soils of various zones of the city

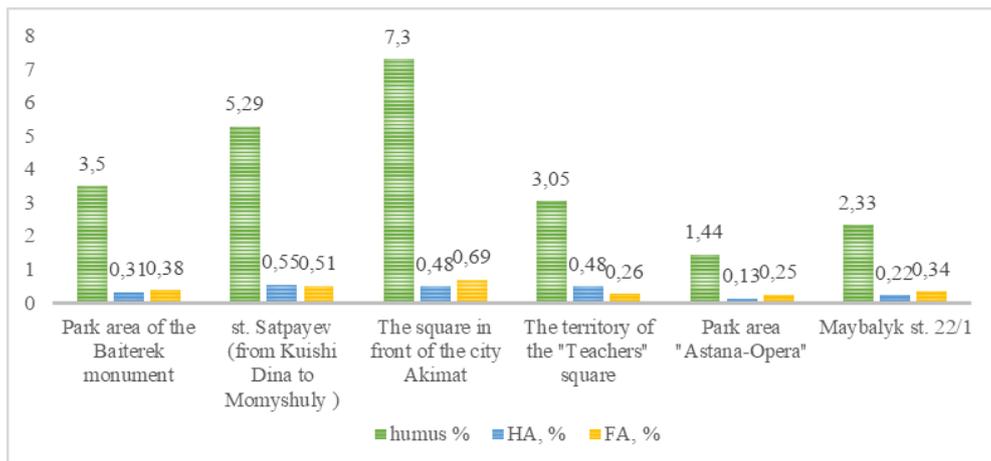


Figure 7 – The content of total humus and its fractional composition – humic (HgA) and fulvic acids (FFA) – in the soils of the studied green areas of the city of Astana

The Satpaev Street site (from Kuishi Dina to Momyshuly) is characterized by an elevated humus level (5.29%) with a relative balance between humic acids (0.55%) and fulvic acids (0.51%), which is typical for soils with an active microbiological cycle and recent organic matter inputs (Lehmann et al., 2020). In the park zone of the Bayterek Monument, humus content was 3.5%, and the humus fractions (humic acids – 0.31%, fulvic acids – 0.38%) indicated a predominance of mobile forms of organic matter, characteristic of surface horizons with regular organic inputs.

Teachers' Square also demonstrated a moderate humus content (3.05%), with the proportion of humic acids (0.48%) exceeding that of fulvic acids (0.26%), suggesting stabilization of organic matter and its partial fixation within the soil mineral matrix (Ding et al., 2021). At 22/1 Maibalyk Street, a low overall humus content was recorded (2.33%), along with low concentrations of humic acids (0.22%) and fulvic acids (0.34%), reflecting poor organic enrichment and possibly the effects of soil compaction and insufficient vegetation cover [34]. The lowest humus values (1.44%) were registered in the Astana-Opera park area, where the humus fraction content was also minimal (humic acids – 0.13%; fulvic acids – 0.25%). Such values are typical for urbanized territories with low bio productivity and anthropogenic disturbance of the upper soil horizon [21].

A comparative analysis of the soil pH values across six landscaped areas of Astana (Figure 8) showed that all samples exhibited an alkaline reaction, which is typical for soils of arid regions in Central Kazakhstan. The pH values ranged from 8.28 (Teachers' Square) to 8.77 (square in front of the City Akimat). Other sites also demonstrated high values: Bayterek Monument park zone – 8.76, Satpaev Street – 8.41, Astana-Opera park area – 8.61, and 22/1 Maibalyk Street – 8.57. Variations in soil pH may be attributed both to natural factors (particle size distribution, parent material) and to anthropogenic impacts, such as differences in irrigation intensity, fertilizer application, and urbanization effects [30,33]. Elevated pH values reduce the mobility and bioavailability of several micronutrients (Fe, Mn, Zn, Cu), which may negatively affect the growth and development of both introduced and native plants, especially during the initial stages of establishment [24,21]. Under such conditions, the use of organic fertilizers and acidifying amendments is recommended to improve soil buffering capacity, as well as the selection of tree and shrub species tolerant to alkaline environments [34,8]. Thus, the soil pH level is a crucial factor determining the adaptation of vegetation in urban environments and should be taken into account when planning landscaping projects and selecting plant assortments.

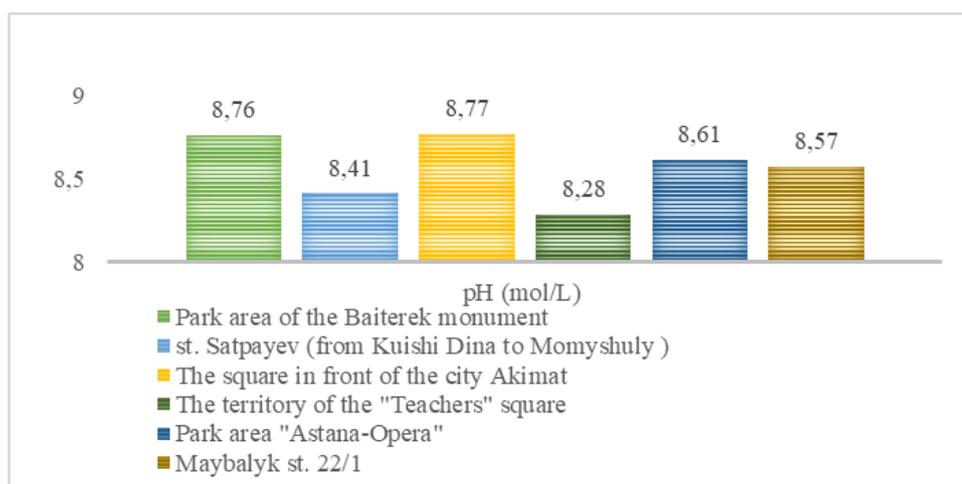


Figure 8 – Acid-base reaction (pH) of soil solution in green areas of Astana city

Based on the collected data (Figure 9) on humus content, a comparative analysis of the following locations can be made: in the park area of the Bayterek Monument and along Satpaev Street, humus content exceeds 0.4 g/kg, indicating high soil quality [5]. In contrast, in Teachers'

Square, humus content is below 0.2 g/kg, signaling the need for soil improvement measures [28]. These results highlight the importance of monitoring and analyzing humus content to maintain ecosystems and develop effective agronomic practices.

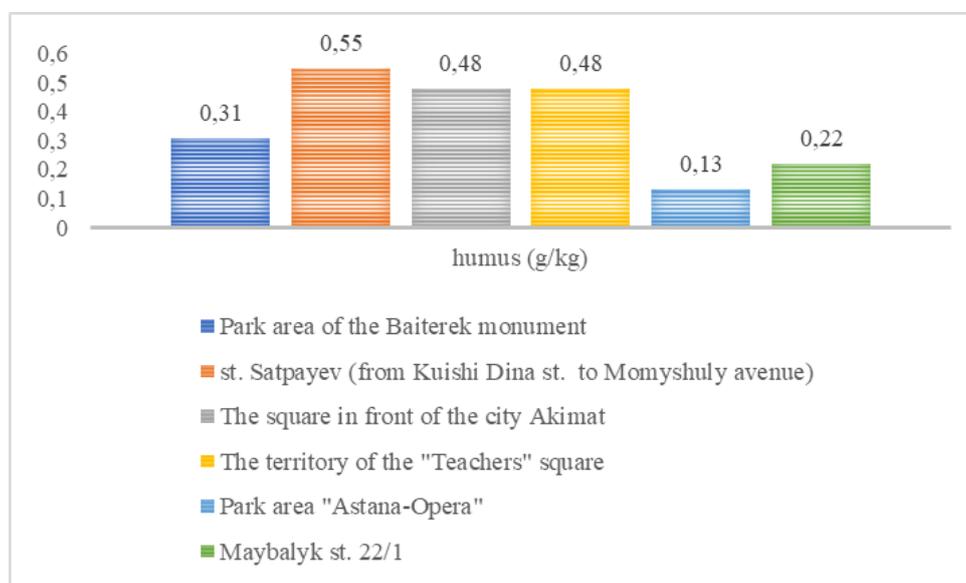


Figure 9 – Determination of the group composition of humus (humic acids) by the pyrophosphate method according to MM Konova and NP Belchikova (g/kg)

According to the report of Astana-Zelenstroy LLP for 2023 65,471 specimens of ornamental flowering shrubs and perennial flowers were planted in five districts of the city. However, out of the total number of planted material, 18,746 specimens

were considered fallen. This paper presents table 2, which demonstrates the ratio between planted and fallen material for 2023 and 2024. These data are key to assessing the effectiveness of city greening and identifying factors affecting plant survival.

Table 2 – Information on planting and cutting of ornamental flowering woody shrubs and perennial flowers in Astana for 2023-2024

№	Name of the district	Planted in 2023	Mortality during 2023–2024
		number of specimens (pcs)	number of specimens (pcs)
1	«Almaty»	11 075	4 305
2	«Baikonur»	18 336	5 816
3	«Yesil»	12 404	5 050
4	«Saryarka»	8 566	2 172
5	«Nura»	15 090	1 403
	Total	65 471	18 746

Table 2 presents data on the planting and loss of ornamental flowering woody shrubs and perennial herbaceous plants across the districts of Astana for 2023–2024. These indicators serve as important measures of the effectiveness of landscaping activities and allow for the identification of factors affecting plant survival in different urban microdistricts [27].

According to the data, the highest number of planting material was introduced in the “Baikonur” district – 18,336 specimens, followed by the “Nura” district – 15,090 specimens. At the same time, the “Baikonur” district also exhibited the highest number of plant losses in 2023 – 5,816 specimens, representing approximately 31.7% of the total planted material. High loss rates were also recorded in the “Yesil” district – 5,050 specimens.

Overall, 65,471 ornamental plants were planted in the city in 2022, of which 18,746 did not survive the winter period. The average loss rate across the city was approximately 28.6%.

The analysis results confirm the need for a comprehensive approach to the selection of woody and shrub plant species for urban landscaping, taking into account the climatic and soil conditions of each district [1]. An important step to increase the survival rate of planting material is the development of adaptive measures, including agrotechnical techniques aimed at enhancing the resilience of plantings [23].

In the “Almaty” district of Astana, the study focused on the area along K. Satpaev Street. Table 3 presents data on the number of planted ornamental shrubs and perennial flowers, as well as the number of plants that failed to establish in this area.

Table 3 – Data on the Planting and Loss of Ornamental Flowering Woody Shrubs and Perennial Flowers on K. Satpaeva Street in “Almaty” district for 2023–2024

№	Planting material	Planting in 2023, pcs.	Root ball/ pot size, cm × cm	Plant height, cm	Loss in 2024, pcs
1	<i>Juniperus sabina</i>	901	0.3x0.3 (5 L)	20-30	0
2	<i>Juniperus sabina</i>	100	0.3x0.3 (5 L)	30-50	0
3	<i>Cornus alba</i>	500	0.3x0.3 (5 L)	40-60	25
4	<i>Cotoneaster lucidus</i>	2690	0.3x0.3 (5 L)	40-60	0
5	<i>Spiraea japonica</i>	935	0.3x0.3 (5 L)	30-50	0
6	<i>Hydrangea paniculata</i>	215	0.3x0.3 (5 L)	30-50	153
7	<i>Rosa rugosa</i>	78	0.3x0.3 (5 L)	40-60	0
8	<i>Physocarpus opulifolius</i>	163	0.3x0.3 (5 L)	40-60	8
	Total	5582			186

A total of 5,582 specimens were planted, of which 186 did not survive the winter period. These data indicate the need for improved agrotechnical measures and adaptive practices to increase plant survival under urban conditions.

Within the framework of the study on planting ornamental flowering shrubs in the “Baikonur” district, a site was selected for detailed analysis – Teachers’ Square (Table 4). This square, located on Alexander Pushkin Street near L. N. Gumilyov Eurasian National University, represents an important element of urban infrastructure and serves as an example of successful implementation of sustainable landscaping principles in an urban context.

In 2023, a total of 1,650 plants were planted. The highest loss rates were recorded for Common ninebark (*Physocarpus opulifolius*)–160 specimens, Panicle hydrangea “Daimontrush” (*Hydrangea paniculata*) – 89 specimens, and Cossack juniper (*Juniperus sabina*) – 60 specimens. Some species, such

as Rowan-leaved cotoneaster, Rugosa rose (*Rosa rugosa*), and Japanese spirea (*Spiraea japonica*), experienced no losses.

Analysis of plant survival indicators allows the development of effective landscaping strategies and enhances the resilience of urban green spaces. Assessing plant losses also enables the optimization of landscaping planning and ensures more efficient improvement of the urban environment.

The study site in the Yesil district of Astana is the area surrounding the Bayterek Monument. As part of landscaping activities carried out in 2022, ornamental shrubs were planted, including Glossy cotoneaster (*Cotoneaster lucidus*), Cossack juniper (*Juniperus sabina*), Panicle hydrangea (*Hydrangea paniculata*), and Japanese spirea (*Spiraea japonica*). The root ball size (0.3 × 0.3 m, C5 category) and plant height at the time of planting (30–60 cm) are indicated. Information on the number of planted specimens and their survival rate is presented in Table 4.

Table 4 – Data on the Planting and Loss of Ornamental Flowering Woody Shrubs and Perennial Flowers on “Teachers’ Square” in “Baikonur” district for 2023–2024

№	Planting material	Planting in 2023, pcs.	Root ball/ pot size, cm × cm	Plant height, cm	Loss in 2024, pcs
1	<i>Cotoneaster scutellaris</i>	182	0.3x0.3(5 L)	20-30	0
2	<i>Juniperus sabina</i>	136	0.3x0.3(5 L)	30-50	60
3	<i>Cotoneaster lucidus</i>	127	0.3x0.3(5 L)	40-60	48
4	<i>Hydrangea paniculata</i>	315	0.3x0.3(5 L)	40-60	89
5	<i>Rosa rugosa</i>	420	0.3x0.3(5 L)	30-50	0
6	<i>Spiraea japonica</i>	105	0.3x0.3(5 L)	30-50	0
7	<i>Physocarpus opulifolius</i>	365	0.3x0.3(5 L)	40-60	160
	Total	1650			357

The object of the study in the Yesil district of Astana is the area around the Baiterek monument. As part of the landscaping work carried out in 2022, ornamental shrubs were planted here, including: glossy cotoneaster (*Cotoneaster lucidus*), Cossack juniper (*Juniperus sabina*), panicle hydrangea (Hy-

drangea paniculata) and Japanese spirea (*Spiraea japonica*), the dimensions of the planting ball (0.3 × 0.3 m, category C-5) and the height of the plants when planted (30–60 cm) are indicated. Information on the number of planted plants and their survival rate is presented in Table 5.

Table 5 – Data on the planting and loss of ornamental flowering woody shrubs and perennial flowers in Monument “Baiterek” in the Yesil district for 2023–2024

№	Planting material	Planting in 2023, pcs.	Root ball/ pot size, cm × cm	Plant height, cm	Loss in 2024, pcs
1	<i>Cotoneaster lucidus</i>	8778	0.3x0.3(5 L)	40-60	10
2	<i>Juniperus sabina</i>	1684	0.3x0.3(5 L)	30-50	439
3	<i>Hydrangea paniculata</i>	8579	0.3x0.3(5 L)	40-60	429
4	<i>Spiraea japonica</i>	2525	0.3x0.3(5 L)	30-50	127
	Total	12 788			1005

This material allows for the assessment of plant survival: the overall loss rate is approximately 7.9%, which corresponds to successful landscaping practices under the continental climate of the capital, where, with proper maintenance, loss rates typically do not exceed 5–11%.

In 2023, ornamental shrubs in the “Saryarka” district of Astana were planted in the square located in front of the City Akimat building. The composition of the ornamental shrubs planted in this area is detailed in Table 6.

The use of perennial ornamental shrubs provides not only aesthetic appeal but also resilience of plantings to urban conditions, including air

pollution, soil compaction, and temperature fluctuations. According to studies (Smagulova et al., 2020; Baitursynova, 2018), the use of native and acclimatized shrub species contributes to reduced maintenance requirements and increased plant survival. Based on the data in Table 6, a total of 5,101 ornamental shrubs were planted in the area in 2023, of which 995 plants did not survive by 2024, representing approximately 19.5% of the total plantings.

These species were the most abundant in the planting assortment and were likely selected for their high ornamental value and resilience to urban environmental conditions.

Table 6 – Data on the planting and loss of ornamental flowering woody shrubs and perennial in front of the building of the City Akimat on the “Saryarka” district for 2023–2024

№	Planting material	Planting in 2023, pcs.	Root ball/ pot size, cm × cm	Plant height, cm	Loss in 2024, pcs
1	<i>Pinus mugo</i>	193	0.3x0.3(10 L)	40-60	0
2	<i>Cotoneaster scutellaris</i>	90	0.3x0.3(5 L)	40-60	0
3	<i>Hydrangea paniculata</i>	215	0.3x0.3 (5 L)	40-60	0
4	<i>Cotoneaster lucidus</i>	716	0.3x0.3 (5 L)	40-60	262
5	<i>Philadelphus spp.</i>	422	0.3x0.3 (5 L)	40-60	0
6	<i>Physocarpus opulifolius</i>	120	0.3x0.3 (5 L)	40-60	0
7	<i>Spiraea japonica</i> ‘Anthony Waterer’	209	0.3x0.3 (5 L)	30-50	0
8	<i>Spiraea japonica</i> ‘Little Princess’	558	3x0.3 (5 L)	30-50	0
9	<i>Spiraea cinerea</i>	300	0.3x0.3 (5 L)	30-50	220
10	<i>Spiraea japonica</i> ‘Golden Prince’	627	0.3x0.3 (5 L)	30-50	0
11	<i>Juniperus sabina</i>	444	0.3x0.3(10 L)	30-50	7
12	<i>Cornus alba</i>	390	0.3x0.3 (5 L)	40-60	0

Continuation of the table

№	Planting material	Planting in 2023, pcs.	Root ball/ pot size, cm × cm	Plant height, cm	Loss in 2024, pcs
13	<i>Potentilla spp.</i>	207	0.3x0.3 (5 L)	40-60	0
14	<i>Physocarpus opulifolius</i> ‘Diablo	607	0.3x0.3 (5 L)	40-60	150
	Total	5 098			639

Table 7 – Data on the planting and loss of ornamental flowering woody shrubs and perennials in the “Nura” district at the “Astana Opera” site for 2023–2024

№	Planting material	Planting in 2023, pcs.	Root ball/ pot size, cm × cm	Plant height, cm	Loss in 2024, pcs
1	<i>Hydrangea paniculata</i>	30	0.3x0.3(5 L)	40-60	120
2	<i>Cotoneaster lucidus</i>	770	0.3x0.3(5 L)	40-60	75
	Total	800			195

Based on observations in the “Nura” district at the “Astana Opera” 2024 (Table 7), the total plant loss amounted to 195 specimens, corresponding to 24.4% of the total number planted. The highest loss rate was recorded for Panicle hydrangea (*Hydrangea paniculata*), with 120 specimens lost out of 30 planted, indicating its low resilience at this study site. In contrast, Glossy cotoneaster (*Cotoneaster lucidus*) demonstrated significantly higher survival, with a loss of 75 specimens, confirming the findings of other researchers regarding its adaptability to urban conditions [27].

The results indicate that adaptation of ornamental flowering shrubs under Astana’s sharply continental climate is strongly influenced by species-specific traits and the agrochemical properties of soils. The overall loss rate of 28.6% reflects the presence of several limiting factors, including low frost resistance of certain species, nutrient deficiencies, and elevated soil alkalinity.

Species with high ecological tolerance, such as Glossy cotoneaster and Common ninebark, showed superior performance, confirming their suitability for urban landscaping. Conversely, Panicle hydrangea exhibited substantially lower survival, especially in nutrient-poor sites such as Astana-Opera.

Soil properties played a decisive role: high potassium and phosphorus levels at Teachers’ Square corresponded with better plant survival, whereas

low nutrient availability and high alkalinity at Astana-Opera were associated with increased plant mortality. Alkaline soil conditions (pH 8.28–8.77) likely reduced micronutrient accessibility, further limiting plant growth.

These findings align with previous research [27,1], emphasizing the necessity of selecting resilient shrub species and conducting comprehensive ecological assessments when planning urban green spaces.

Conclusion

The analysis of the adaptation of ornamental flowering shrubs to Astana’s sharply continental climate revealed several important trends relevant to the planning of urban green infrastructure. Survival rates varied widely—from 75% to 99%—depending on both the species and the soil conditions of the planting sites. The smallest losses were observed for Glossy cotoneaster (*Cotoneaster lucidus*), where mortality remained below 1%, while the greatest losses were recorded for Panicle hydrangea (*Hydrangea paniculata*), reaching up to 24.4%.

Soil characteristics played a decisive role: areas enriched with potassium and phosphorus—such as Teachers’ Square, where concentrations reached 1,350 mg/kg K₂O and 230 mg/kg P₂O₅—showed

higher plant survival. In contrast, sites with low humus content (1.44%) and strongly alkaline soil conditions (pH up to 8.77) exhibited notably higher mortality rates.

The practical value of this research lies in providing evidence-based recommendations for improving urban landscaping practices. These include:

- increasing the use of species with consistently high resilience, such as Glossy cotoneaster and Common ninebark;
- restricting the planting of Panicle hydrangea to ecologically favorable sites;
- integrating soil agrochemical indicators into the planning and selection of ornamental shrubs;

- implementing regular monitoring and corrective measures to enhance soil quality and plant survival.

Overall, the findings help optimize the selection of ornamental shrubs and support the development of scientifically grounded landscaping strategies, which is particularly important for the extreme climatic conditions of Kazakhstan's capital [1].

Acknowledgments

The authors would like to thank all colleagues and institutions who contributed to the development of this research through their support and constructive discussions.

References

1. Akhmetov, T. (2019). Ecological assessment of green spaces in Astana. *Bulletin of KazNU Biological Series*, 5(2), 41–47.
2. Ali, B., Bano, A., and Fazal, H. (2017). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, photosynthetic pigments and nutrient uptake of *Trifolium alexandrinum* L. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(7), 1387–1395. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.01.009>
3. Almanova, G., Zhaparkulova, D., Ibrayeva, R., & Sarsenova, A. (2023). Adaptation of woody plants in the steppe zone of Kazakhstan. *Eurasian Journal of Ecology*, 21(4), 88–97.
4. Baitursynova, A. (2018). Adaptation of ornamental shrubs to continental climate. *Landscape and Urban Horticulture*, 9(1), 22–29(2010). *Soil biology and humus processes*. Moscow: Nauka.
5. Brown, P., and Green, D. (2018). *Urban ecosystems and sustainable landscapes*. New York: Routledge.
6. Chrobok, T., Kempel, A., & Van Kleunen, M. (2011). Introduction bias: Cultivated alien plant species germinate faster and more abundantly than native species. *Basic and Applied Ecology*, 12(3), 244–250. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2011.03.001>
7. Department of Architecture, Urban Planning and Land Relations of Astana & AstanaGenPlan Research and Design Institute LLP. (2019). *General plan of Astana city until 2030*. Astana.
8. Fan, Y., Zhang, X., Li, Q., & Wang, Z. (2020). Urban vegetation and microclimate regulation in megacities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 48, 126–139. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126539>
9. *Frontiers in Environmental Science*. (2024). Special issue: Sustainable urban greening. *Frontiers in Environmental Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.00001>
10. KLab. (2023). *Annual report on soil fertility and landscaping in Kazakhstan*. Astana.
11. Goryachkin, S. V., Dobrovolsky, G. V., Kudayarov, V. N., & Kurganova, IN (2022). Soil carbon dynamics in Eurasian ecosystems. *Eurasian Soil Science*, 55(6), 721–734. <https://doi.org/10.1134/S1064229322060041>
12. Khairova, N.V., Zolotaryova, T.V., & Dubovitskaya, M.I. (2015). Decorative qualities of shrubs in the Southern Urals. *Izvestiya of Ural Federal University*, 12(2), 74–82.
13. Knyazeva, T. N., & Knyazeva, O. A. (2016). Introduction of ornamental shrubs in the Urals. *Bulletin of Orenburg State University*, (11), 125–132.
14. Kopylov, VI, & Babenko, L. M. (2009). *Urban ecology and landscaping*. Moscow: Akademkniga.
15. Kashtanov, A. N., and Chugunova, E. V. (2021). Ornamental plant resources for sustainable landscaping. *Russian Journal of Ecology*, 52(2), 125–134. <https://doi.org/10.1134/S1067413621020075>
16. Kozhakhmetova, G., & Kozhakhmetov, E. (2023). Urban landscape planning in Central Kazakhstan. *Journal of Urban Ecology*, 12(3), 55–64.
17. Kuzyakov, Y., and Zamanian, K. (2019). Soil carbon dynamics and ecosystem functions. *Global Change Biology*, 25(1), 1–14. <https://doi.org/10.1111/gcb.14475>
18. Lal R. (2020). Soil organic matter and sustainable agriculture. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 358–370. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0062-1>
19. Lambdon, P. W., Lloret, F., & Hulme, P. E. (2008). Do non-native species invasion and diversity patterns differ among plant functional types? *Journal of Ecology*, 96, 688–698. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01359.x>

20. Lehmann, J., Hansel, C.M., Kaiser, C., Kleber, M., Maher, K., Manzoni, S., Nunan, N., Reichstein, M., Schimel, J.P., Torn, M.S., Wieder, W.R., Kögel-Knabner, I., Feng, X., Georgiou, K., Hildebrandt, A., Mao, J., Mayes, M. A., Rasmussen, C., Trumbore, S. E. (2020). Persistence of soil organic carbon caused by functional complexity. *Nature Geoscience*, 13, 529–534. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0612-2>
21. Li, H., Zhong, Z., Cai, J., & Zhang, J. (2021). Vegetation resilience and climate adaptation in Eurasian drylands. *Science of the Total Environment*, 755, 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142152>
23. Ministry of Ecology of the Republic of Kazakhstan (team). (2023). Report on urban greening and climate adaptation, Astana
23. Obezinskaya, L. A., & Balakanova, A. V. (2022). Ornamental shrubs in urban greening of Siberia. *Contemporary Problems of Ecology*, 15(5), 489–498.
24. Ren, J., Zhou, X., Lin, Y., & Zhao, C. (2022). Climate adaptation of urban vegetation in East Asia. *Urban Climate*, 41, Article 101068. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101068>
25. Sadovnikova, L. K. (2019). Urban soil ecology. Moscow: INFRA-M.
26. Ren J., et al. (2022). Climate adaptation of urban vegetation in East Asia. *Urban Climate*, 41, 101068. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101068>
27. Smagulova, D. (2021). Ornamental shrubs in urban green spaces of Nur-Sultan. *Bulletin of KazNU. Biological Series*, 88(3), 101–109.
28. Smith, J., and Jones, R. (2019). Sustainable landscape architecture. London: Routledge.
29. Tyurin, IV (2010). Methods of soil organic matter analysis. Moscow: GEOS.
30. Yuan, Z., Gazel, T., Skutsch, M., & Cohen, J. (2016). Urban biodiversity and ecological resilience. *Ecological Indicators*, 66, 281–291. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.039>
31. Zandybay, A., Bissenova, N., Kydyrbekova, A., & Saparov, K. (2024). Sustainable strategies for green urbaning in Central Asia. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 12045. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.12045>
32. Zhang, Y., Wang, R. (2020). Resilience of urban vegetation under climatic stress: A review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 47, 126–138. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126515>
33. Zhang, Z., Xiao, J., Li, J., & Zheng, Y. (2020). Vegetation dynamics and climate interaction in Central Asia. *Remote Sensing of Environment*, 247, 111938. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111938>
34. Zhao, Q., Li, F., Wang, R., & Liu, Y. (2019). Climate change and urban green infrastructure. *Landscape and Urban Planning*, 190, 103605. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103605>
35. Zhao, Y., Huang, K., Chen, J., & Wang, X. (2023). Soil–plant–atmosphere interactions under climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4, 112–125. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00394-0>

Information about authors:

Abdegaliyeva Aigerim Yerlanovna (corresponding author) – researcher, master of Landscape Architecture, Doctoral Student, LN Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: abdegaliyeva_a@mail.ru).

Amanbayev Altay Amangeldiyevich – director of the Almaty Branch of the Republican State Enterprise on the Right of Economic Management “National Center of Expertise” of the Sanitary and Epidemiological Control Committee of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan, e-mail: almaty@nce.kz).

Abzhalelov Akhan Begmanovich – researcher, doctor of Biological Sciences, professor, Department of Management and Engineering in the Field of Environmental Protection, LN Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: ab_akhan@mail.ru).

Cengiz Acar – researcher, professor and Head of the Department of Landscape Architecture, Plant Material and Cultivation, Faculty of Forestry, Karadeniz Technical University (Trabzon, Turkey; e-mail: cengiz@ktu.edu.tr).

Авторлар туралы мәлімет:

Абдеғалиева Айгерім Ерлановна (жауапты автор) – ландшафтық архитектура магистрі, докторант, Л.Н. Гумилёв атындағы Еуразия ұлттық университеті (Астана, Қазақстан, e-mail: abdegaliyeva_a@mail.ru).

Аманбаев Алтай Амангелдиевич – Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрлігі Санитариялық-эпидемиологиялық бақылау комитетінің шаруашылық жүргізу құқығындағы «Ұлттық сараптама орталығы» РМК Алматы филиалының директоры (Алматы, Қазақстан; e-mail: almaty@nce.kz).

Абжалелов Ахан Бегманович – биология ғылымдарының докторы, профессор, Л.Н. Гумилёв атындағы Еуразия ұлттық университетінің Қоршаған ортаны қорғау саласындағы басқару және инжиниринг кафедрасы (Астана, Қазақстан, e-mail: ab_akhan@mail.ru).

Джанкыз Акар (Cengiz Acar) – профессор, Ландшафтық архитектура, өсімдік материалы және өсіру кафедрасының меңгерушісі, Қаратеңіз техникалық университеті (Трабзон, Түркия; e-mail: cengiz@ktu.edu.tr).

Сведения об авторах:

Абдегалиева Айгерим Ерлановна (автор-корреспондент) – магистр ландшафтной архитектуры, докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва (Астана, Казахстан, e-mail: abdegaliyeva_a@mail.ru).

Аманбаев Алтай Амангельдиевич – директор Алматинского филиала РГП на праве хозяйственного ведения «Национальный центр экспертизы» Комитета санитарно-эпидемиологического контроля Министерства здравоохранения Республики Казахстан (Алматы, Казахстан, e-mail: almaty@nse.kz).

Абжәлелов Ахан Бегманович – доктор биологических наук, профессор кафедры управления и инжиниринга в области охраны окружающей среды Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилёва (Астана, Казахстан, e-mail: ab_akhan@mail.ru).

Дженгиз Аджар – профессор, заведующий кафедрой ландшафтной архитектуры, растительного материала и культивирования, лесной факультет, Черноморский технический университет (Трабзон, Турция, e-mail: sengiz@ktu.edu.tr).

Поступила 12 ноября 2025 года

Принята 25 декабря 2025 года

ШОЛУ МАҚАЛАЛАР



REVIEW ARTICLES



ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

FTAMP 34.27.51

<https://doi.org/10.26577/EJE20258511>

Ж.К. Батықова^{1*}, А.С. Кистаубаева¹, Л.Н. Сайдуллаева²,
У. Ережетова³, Ж.Е. Наурызбаева³, М.А. Абдулжанова¹

¹ Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

² М. Әуезов атындағы Оңтүстік-Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

³ Қазақ Ұлттық Қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: batyqova@gmail.com

ЖҮГЕРІ РИЗОБАКТЕРИЯЛАРЫ – ӨСІМДІКТЕРДІҢ ӨНІМДІЛІГІН ЖӘНЕ ҚОРҒАНЫСЫН АРТТЫРУДЫҢ ПЕРСПЕКТИВАЛЫ БИОИНКУЛЯНТТАРЫ

Қазіргі таңда ауыл шаруашылығында саласы топырақ деградациясы, қоректік элементтердің азаюы және фитопатогендердің таралуы сияқты экологиялық қиындықтар жиі туындайды. Осы мәселелерді шешудің баламалы тәсілдерінің бірі – өсімдіктердің өсуін ынталандыратын ризобактерияларды (PGPR) қолдану. Осы зерттеу жұмысы жергілікті экологиялық жағдайға бейімделген жүгері (*Zea mays* L., КазЗП 200) ризосферасынан бөлініп алынған автохтонды бактериялардың биологиялық белсенділігін жан-жақты бағалауға бағытталды. Алынған 25 бактериялық изоляттың ішінде 15 грамтеріс және 10 грамоңштамның анықталды. Алдынала жүргізілген скрининг олардың өсімдікке пайдалы қасиеттерін салыстыруға мүмкіндік беріп, нәтижесінде ең тиімді деп танылған екі перспективалы штамм – BJ14 және BJ18 зерттеуге таңдалып алынды. Бұл штаммдардың функционалдық әлеуеті бірнеше биологиялық көрсеткіш бойынша бағаланды: индол-3-сірке қышқылының (ИСК) синтезі, ерімейтін фосфатты өсімдікке қолжетімді формаға айналдыру қабілеті, атмосфералық азотты фиксациялау және фитопатогендерге қарсы антагонистік әсер. BJ18 ең жоғары ИСК мөлшерін (61.4 мг/мл) өндіруі және фосфатты тиімді еріту қабілетін көрсетті. Ал BJ14 изоляты екі фитопатогенге қарсы да ең жоғары ингибициялық әсер көрсетіп, *Pythium spp.* өсуін 73%, ал *Alternaria alternata* дамуын 62–63% деңгейінде тежеп, тұрақты әрі айқын биобақылау белсенділігімен ерекшеленді. Зерттеу нәтижелері бұл ризобактериялардың өсімдіктердің қоректік элементтерді сіңіруін жақсартуда, олардың өсуін ынталандыруда және фитопатогендердің дамуын тежеуде жоғары тиімділікке ие екенін көрсетті. Мұндай көпфункционалды штаммдар ауыл шаруашылығында химиялық тыңайтқыштар мен фунгицидтерді алмастыра алатын экологиялық тұрғыдан қауіпсіз биоинкулянттарды әзірлеуге нақты мүмкіндік береді. Алынған деректер тұрақты ауыл шаруашылығы технологияларын қалыптастыруда жергілікті PGPR штаммдарының маңыздылығын айқындайды.

Түйін сөздер: ризобактериялар, PGPR, индол-сірке ұшышылы, фосфат еріту, мырыш солюбилизациясы, антагонистік белсенділік.

Zh.K. Batykova^{1*}, A.S. Kistaubayeva¹, L.N. Saidullayeva²,
U. Yerezhetova³, Zh.E. Nauryzbayeva³, M.A. Abdulzhanova¹

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

² M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

³ Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: batyqova@gmail.com

Corn rhizobacteria as promising bioinoculants for increasing plant productivity and protection

Agricultural production is increasingly challenged by soil degradation, nutrient imbalance, and the prevalence of plant pathogenic fungi, which collectively threaten crop productivity and ecological stability. As a sustainable alternative to chemical inputs, plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) have gained considerable attention due to their ability to enhance plant vigor through natural biochemical mechanisms. This study focused on isolating and characterizing autochthonous bacterial strains associated with the rhizosphere of the maize hybrid KazZP 200 (*Zea mays* L.) and evaluating their functional traits relevant to plant growth promotion and biological control.

A total of 25 bacterial isolates were obtained, comprising 15 Gram-negative and 10 Gram-positive strains. Based on a comparative screening of beneficial traits, two isolates – BJ14 and BJ18 – were selected for detailed investigation. Their functional potential was assessed through several key indica-

tors, including the production of indole-3-acetic acid (ИСК), solubilization of insoluble phosphorus, biological nitrogen fixation, and antifungal activity against major phytopathogens. Among the tested isolates, BJ18 produced the highest level of ИСК (61.4 mg/mL) and demonstrated superior phosphate-solubilizing activity, suggesting a strong capability to stimulate root development. Isolate BJ14 showed the highest inhibitory effect against both phytopathogens, inhibiting the growth of *Pythium spp.* by 73% and the development of *Alternaria alternata* by 62–63%, and was distinguished by its stable and pronounced biocontrol activity. The results clearly indicate that these maize-associated rhizobacteria possess multifunctional traits that may significantly contribute to improving nutrient acquisition, promoting plant growth, and mitigating pathogenic stress. Such characteristics highlight their value as potential bioinoculants for sustainable crop production systems. The findings emphasize the importance of integrating locally adapted PGPR strains into eco-friendly agricultural technologies aimed at reducing chemical fertilizer dependency and enhancing soil health.

Keywords: rhizobacteria, PGPR, ИСК, phosphate solubilization, zinc solubilization, antifungal activity.

Ж.К. Батықова^{1*}, А.С. Кистаубаева¹, Л.Н. Сайдуллаева²,
У. Ережетова³, Ж.Е. Наурызбаева³, М.А. Абдулжанова¹

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

²Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

³Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан

*e-mail: batyqova@gmail.com

Ризобактерии кукурузы как перспективные биоинокулянты для повышения продуктивности и защиты растений

Современное сельское хозяйство сталкивается с ростом экологических проблем, включая обеднение почв, нарушение баланса питательных элементов и расширение спектра фитопатогенов. В этих условиях возрастает потребность в биологически безопасных технологиях, способных повысить устойчивость растений и снизить зависимость от химических препаратов. Одним из наиболее перспективных направлений является использование ризосферных бактерий, стимулирующих рост растений (PGPR). Настоящее исследование посвящено выделению и характеристике автохтонных бактериальных штаммов, ассоциированных с ризосферой гибрида кукурузы КазЗП 200 (*Zea mays* L.), а также оценке их функциональных свойств. В ходе работы было выделено 25 бактериальных изолята, среди которых определено 15 граммотрицательных и 10 грамположительных штаммов. Сравнительный анализ ключевых физиолого-биохимических показателей позволил выделить два наиболее перспективных изолята – BJ14 и BJ18. Их способность к биологической активности была изучена по ряду критериев: синтез индол-3-уксусной кислоты (ИСК), солюбилизация нерастворимых соединений фосфора, фиксация атмосферного азота, а также ингибирование роста фитопатогенных грибов. Штамм BJ18 продемонстрировал наибольшую продукцию ИСК (61.4 мг/мл) проявил высокую эффективность в растворении фосфатных соединений, что указывает на его потенциал в стимуляции корневой системы. Изолят BJ14 проявил наиболее высокий ингибирующий эффект в отношении обоих фитопатогенов, подавляя рост *Pythium spp.* на 73% и развитие *Alternaria alternata* на 62–63%, и отличался стабильной и выраженной биоконтролирующей активностью. Полученные данные подтверждают значительный агробиологический потенциал изученных штаммов. Их комплексные свойства – улучшение доступности питательных элементов, стимулирование роста и подавление фитопатогенов – делают эти ризобактерии перспективными кандидатами для разработки экологически безопасных биоинокулянтов. Результаты исследования подчеркивают важность использования местных PGPR в современных системах устойчивого растениеводства.

Ключевые слова: ризобактерии, PGPR, индол-3-уксусная кислота, солюбилизация фосфатов, растворение цинка, антагонизм.

Кіріспе

Қазіргі кезеңде ауыл шаруашылығы саласы өндіріс көлемін ұлғайту және сонымен қатар қоршаған ортаға түсетін қысымды азайту міндеттерін қатар шешуді талап ететін күрделі экологиялық жағдаймен бетпе-бет келіп отыр [1]. Минералдық тыңайтқыштар мен пестицидтер-

дің ұзақ жылдар бойы бақылаусыз қолданылуы топырақтың физикалық және химиялық қасиеттерінің нашарлауына, құнарлылықтың төмендеуіне, қоректік элементтердің айналымының бұзылуына және фитопатогендердің тұрақты популяцияларының қалыптасуына әкелуде [2]. Осыған байланысты ауыл шаруашылығында биологиялық негізделген, экологиялық қауіпсіз

технологияларға сұраныс артып келеді. Осындай баламалардың ішінде өсімдіктердің өсуін ынталандыратын ризобактерияларды (PGPR) қолдану ерекше назар аударуда, себебі олар табиғи биохимиялық тетіктер арқылы өсімдіктің өнімділігін арттыруға қабілетті [3].

PGPR өкілдері өсімдік тамыр аймағын белсенді колониялайтын және өсімдікпен өзара пайдалы байланыс түзетін микроорганизмдердің алуан түрлі тобына жатады. Бұл бактериялар бірнеше маңызды биологиялық функция атқарады: атмосфералық азотты биологиялық фиксациялау, ерімейтін фосфор мен мырыш қосылыстарын өсімдікке қолжетімді формаға айналдыру, өсу реттеуші фитогормондар (индол-3-сірке қышқылы – ИСК) синтездеу, сондай-ақ бірқатар фитопатогенді саңырауқұлақтар мен бактерияларға қарсы тікелей антагонистік әсер көрсету. Мұндай көпқырлы қасиеттердің жиынтығы PGPR-ді топырақ құнарлылығын қалпына келтіруге және химиялық тыңайтқыштар мен пестицидтерге тәуелділікті азайтуға мүмкіндік беретін келешегі зор биологиялық құрал ретінде қарастыруға негіз береді [4–6].

Жергілікті агроэкологиялық жағдайларда қалыптасқан автохтонды ризобактериялар өсімдікпен өзара әрекеттесуде жоғары бейімделгіштігімен ерекшеленеді және көбінесе сырттан енгізілетін штамдарға қарағанда анағұрлым тиімді нәтиже береді. Соған қарамастан, Қазақстан жағдайында, әсіресе жатып қалуға төзімді Каз3П 200 жүгері гибридінің ризосферасында кездесетін PGPR әртүрлілігі мен олардың функционалдық әлеуеті жеткілікті деңгейде зерттелмеген. Бұл жергілікті жағдайға бейімделген тиімді биоинокулянттар әзірлеуге шектеу қояды [7,8].

Осы зерттеу жұмысының мақсаты – жүгері ризосферасынан бөлініп алынған ризобактерия штамдарын оқшаулап, олардың өсімдіктің өсуін ынталандыратын және биоконтрольдік қасиеттерін кешенді түрде бағалау. Зерттеу міндеттеріне: (1) ризосфера топырағын жинау және микроорганизмдерді оқшаулау; (2) топырақтың химиялық құрамын анықтау; (3) изоляттардың ИСК синтез қабілетін, фосфор мен мырышты еріту белсенділігін, азот фиксациясын және фитопатогендерге қарсы антагонистік әсерін анықтау; (4) ең перспективалы штамдарды іріктеу кірді.

Жұмыстың негізгі гипотезасы жергілікті ортаға жақсы бейімделген, көпфункционалды ризобактериялар өсімдіктердің қоректік эле-

менттерді сіңіруін арттыру, өсуін күшейту және фитопатогендерге төзімділігін жоғарылату арқылы тұрақты ауыл шаруашылығы үшін тиімді биологиялық агент бола алады деген пайымға негізделеді.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Ризосфералық материалды жинау және бактерияларды оқшаулау

Зерттеу үшін жатып қалуға төзімді Каз3П 200 жүгері гибридінің (*Zea mays* L.) ризосфера топырағы Алматы облысындағы Ауыл шаруашылығы және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институтының тәжірибе алқаптарынан алынды. Өсімдіктің тамырлары механикалық қоспалардан тазартылғаннан кейін, олардың беткі қабаты 75% этанол және 1% NaOCl ерітіндісімен бірізді өңделіп, сонынан стерильді дистилденген сумен бірнеше рет шайылды. Стерильденген тамырлардан алынған топырақ суспензиясы 10^{-1} – 10^{-9} аралығындағы сұйылту қатарлары бойынша дайындалып, әр сұйылту LB агар ортасына себілді. Петри табақшалары 28 °C температурада 3 тәулік инкубацияланды. Өскен колониялар морфологиялық белгілері бойынша сұрыпталып, таза дақыл алу үшін бірнеше рет қайта себінді. Бактериялардың грам бойынша ерекшелігін анықтау үшін классикалық Грам әдісі қолданылды [4,9,10].

Индол-3-сірке қышқылын (ИСК) анықтау

Штамдардың ИСК өндіру қабілеті L-триптофан қосылған (0,5 г/л) сұйық LB қоректік ортасында инкубациялау арқылы бағаланды. Үш тәулік өсірілген дақылдар 6000 айн/мин жылдамдықта 10–15 минут центрифугаланды. Алынған супернатант 2 мл Салковский реактивімен араластырылып, қараңғыда 30 минут бойы инкубацияланды. Қызғылт-қызыл түстің пайда болуы ИСК түзілуін көрсетті. Оптикалық тығыздық 530 нм толқын ұзындығында өлшенді, ал концентрация 10–100 мкг/мл аралығындағы стандарттық градуирлеу сызығы арқылы есептелді [11].

Фосфатты еріту белсенділігі

Ерімейтін фосфатты еріту қабілеті Пиковская ортасында бағаланды. Бактериялар $Ca_3(PO_4)_2$ қосылған орта бетіне нүктелік әдіспен егілді де, 28 ± 2 °C температурада 6–7 күн инкубацияланды. Колонияларды қоршаған мөлдір аймақ фосфаттың ерітілуін көрсетті. Штамдардың тиімділігін салыстыру үшін солюбилизация индексі (SI) есептелді [12]:

$$SI = (d \text{ колония} + d \text{ гало аймағы}) / D \text{ колония} \quad (1)$$

мұндағы d – диаметр.

Азот фиксациясын анықтау

Зерттелген штаммдардың атмосфералық азотты фиксациялау қабілеті минералды азот көздері енгізілмеген Дженсен агар ортасында бағаланды. Әрбір изоляттың жас дақылы алдын ала дайындалған азотсыз ортаға инокуляцияланып, Петри табақшалары 28 °C температурада 7 тәулік бойы статикалық жағдайда инкубацияланды. Инкубация соңында өсу колонияларының пайда болуы штаммның молекулалық азотты фиксациялауға қабілеттілігінің жанама көрсеткіші ретінде қабылданды. Талдаудың дұрыстығын және штаммдардың азотфиксациялаушы қасиетінің тұрақтылығын растау үшін, барлық позитивті штаммдар жаңадан дайындалған Эшби агар ортасына қайта себілді. Қайта өсіру нәтижелері Дженсен ортасында алынған деректермен салыстырылып, штаммдардың азот фиксациялау қабілетінің қайталанғыштығы мен тұрақтылығы бағаланды. [13].

Фитопатогендерге қарсы антагонистік белсенділікті анықтау (Қосарланған дақыл әдісі)

Бактерия штаммдарының фитопатогенді саңырауқұлақтарға қарсы антагонистік белсенділігі қосарланған дақыл немесе қосарланған дақыл әдісі арқылы бағаланды. Әдістің мәні бактерия мен саңырауқұлақты бір Петри табақшасында қатар өсіру арқылы саңырауқұлақ колониясының өсуінің тежелуін анықтауға негізделеді. Алдымен *Alternaria alternata* және *Pythium spp.* фитопатогендерінің 6 мм диаметрлі кесілген агар дискілері Сабуро декстроза агарына орналастырылды [14]. Пластина ортасына саңырауқұлақ инокулумы қойылып, оған қарсы жаққа зерттелетін бактерия штаммы (BJ14 және BJ18) нүктелік әдіспен егіліп, 28 °C температурада 5–7 тәулік бойы инкубацияланды. Инкубация аяқталғаннан кейін саңырауқұлақ мицелийінің бактерияға қарай өсу қарқыны салыстырылып, тежелу аймағы миллиметрмен өлшенді [15]. Саңырауқұлақ пен бактерия арасындағы ашық зона өсуінің тежелу аймағы (inhibition zone) ретінде тіркелді. Бақылау нұсқасында (бактериясыз) фитопатоген толық өсіп шығып, колония радиусы өлшенді. Антагонистік белсенділік төмендегі формула бойынша есептелді (2):

$$\text{Inhibition \%} = (R_c - R_t) / R_c \times 100 \quad (2)$$

мұндағы R_c – бақылаудағы саңырауқұлақ радиусы, R_t – бактериямен бірге өсірілгендегі саңырауқұлақ радиусы.

Барлық сынамалар үш қайталауда жүргізілді және нәтижелер орташа мән \pm стандартты қателік түрінде ұсынылды.

Статистикалық талдау

Барлық тәжірибелер үш қайталауда жүргізілді. Статистикалық өңдеу RStudio (2023) бағдарламасында орындалды. Деректердің қалыптылығын Шапиро–Уилк тесті арқылы бағалап, сәйкесінше ANOVA қолданылды. Маңыздылық деңгейі $p < 0.05$ деп белгіленді.

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

Бөлініп алынған изоляттардың жалпы сипаттамасы

Қазіргі уақытта жаһандық ауыл шаруашылығы судың тапшылығы, топырақтың деградациясы, климаттың өзгеруі және тез урбанизация сияқты көптеген қиындықтарға тап болуда – мұның бәрі азық-түлік өндірісі жүйелерінің тұрақтылығына қауіп төндіруде. Абиотикалық стресстің дақылдардың өнімділігіне әсері стресстің ұзақтығы мен қарқындылығы, қоршаған орта жағдайлары және өсімдіктің генетикалық фоны [36], сондай-ақ кең экологиялық айнымалылар сияқты бірнеше факторларға байланысты. Бұл стрессорлар фотосинтетикалық және тыныс алу процестеріндегі өзгерістермен және стресске бейім ген экспрессиясының реттелуімен одан әрі күшейе түседі [2,16,17]. Осы мәселелерді ескере отырып, экологиялық тұрғыдан тұрақты ауыл шаруашылығы тәжірибелерін қабылдау қажеттілігі артып келеді. Олардың ішінде өсімдіктердің өсуін ынталандыратын ризобактерияларды (PGPR) қолдану дақылдардың өнімділігін арттыруда және абиотикалық стресстің зиянды әсерін жеңілдетуде айтарлықтай перспективалы болды [18–20].

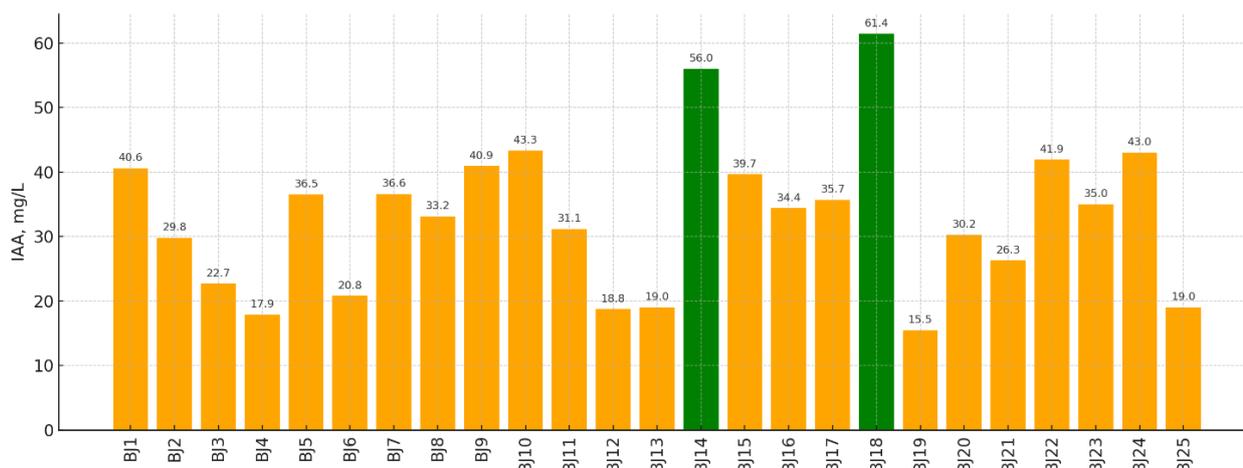
Алдын ала скрининг процесінен кейін барлығы 23 бактериялық дақыл бөлініп алынды. Грам бояуы 14 изоляттың грамтеріс, ал 8-інің грамон екенін көрсетті. Осы 23 ризобактерия изоляттарының ішінен өсімдіктердің өсуін ынталандырудың жоғары әлеуетін және фунгистатикалық белсенділіктің айқын көрінісін көрсететін екі штамм, жеке немесе біріктіріліп, әрі қарай егжей-тегжейлі зерттеу үшін таңдалды.

Индол-3-сірке қышқылын (ИСК) өндіру қабілеті

Өсімдіктердің өсуін ынталандыратын микроорганизмдердің негізгі сипаттамасы – олардың әртүрлі фитогормондарды, әсіресе индол-3-сірке қышқылын (ИСК) синтездеу қабілеті, себебі бұл қасиет өсімдіктердің өсуін ынталандыратын тиімді ризобактериялар (PGPR) үшін ең маңыздыларының бірі болып табылады. Өсімдіктердің өсуі жасушалардың бөлінуі, сабақтардың ұзаруы, геотропизм, тамырлардың дамуы, қоректік заттардың сіңуі, биомассаның жиналуы, апикальды доминанттылық, фототропизм және жасушалардың дифференциациясы сияқты бірнеше физиологиялық процестерді қамтиды – олардың барлығы айтарлықтай дәрежеде ИСК өндірісімен реттеледі [11,21]. Бұл зерттеуде оқшауланған бактериялық штамдардың ИСК өндіру қабілеті триптофан прекурсоры ретінде қосылған ортада үш күндік инкубация кезеңінен кейін Салковский реактивімен коло-

риметриялық талдауды қолдану арқылы бағаланды.

1-суретте 25 изолятың индол-3-сірке қышқылын (ИСК) өндіруі көрсетілген. Жасыл түсті жолақтар ИСК белсенділігі ең жоғары штамдарды көрсетеді, ал көк түсті жолақтар салыстырмалы түрде төмен белсенділігі бар изоляттарды білдіреді. Нәтижелер сыналған 25 изоляттың ішінде екі штамның ИСК өндірісінің ең жоғары деңгейлерін көрсеткенін көрсетеді: BJ14 (56 мг/л) және BJ18 (61,4 мг/л). Мысалы, 2 г/л триптофанда өсірілген *Streptomyces fradiae* NKZ 259 6 күндік инкубациядан кейін 56,3 мкг/мл ИСК дейін өндірді [22]. Сол сияқты, *Klebsiella* изоляты оңтайландырылған жағдайларда 56 мг/л (~0,056 мг/мл) ИСК дейін өндірді – бұл CR14 және CR18 мәндерінен бірнеше есе төмен. Көптеген ризосфералық изоляттар, мысалы, *Pseudomonas* тұқымдасынан алынғандар, әдетте 10-50 мкг/мл аралығында түзеді [23–25].



1-сурет – 25 изолят арқылы индол-3-сірке қышқылын өндіру. Ескертпе: жасыл түсті жолақтар ең жоғары белсенділігі бар штамдарды көрсетеді; көк түсті жолақтар төмен белсенділігі бар штамдарды көрсетеді

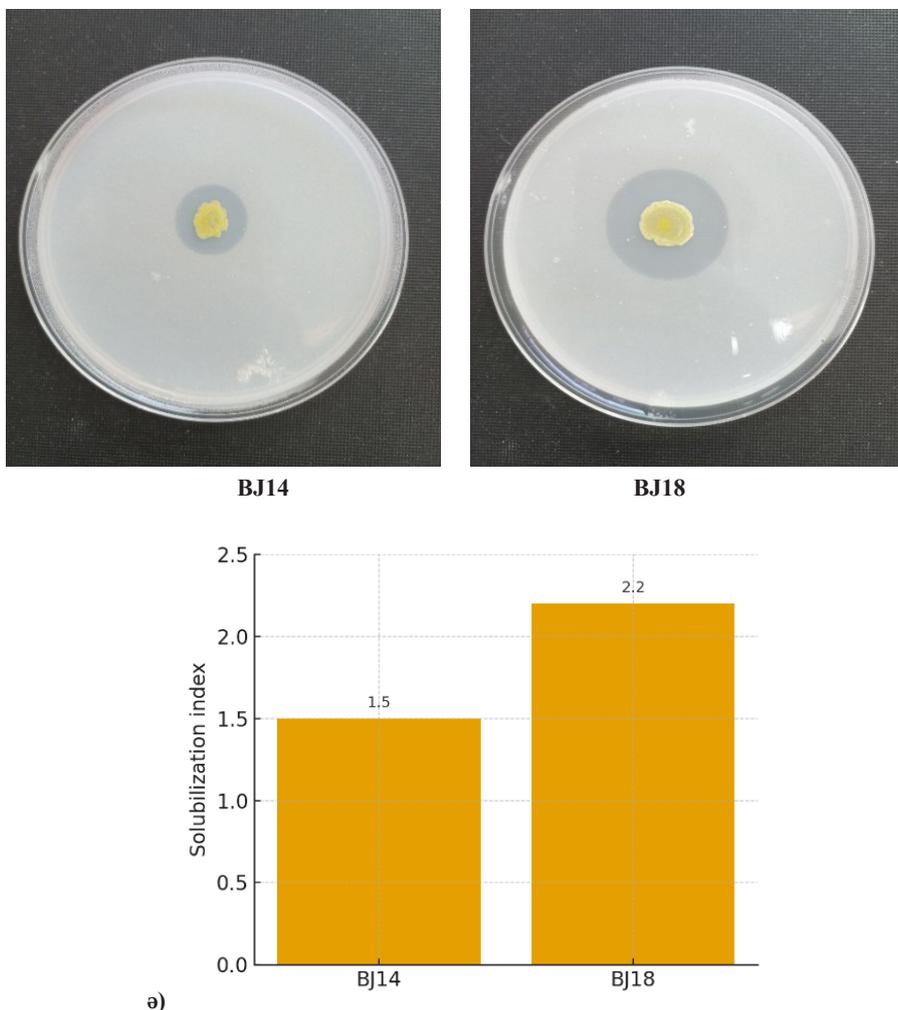
Фосфаттарды еріту белсенділігі

Фосфатта ерігіш бактерияларды Пиковская агар ортасында өсірген кезде олардың колонияларының айналасында мөлдір гало аймақтардың пайда болуы арқылы анықтауға болады, бұл олардың ерімейтін үшқальций фосфатын еріту қабілетін көрсетеді. Сыналған 25 изолятың ішінде 11-і фосфатта ерігіш белсенділікті

көрсетті. Дегенмен, гало аймағының диаметрін өлшеу және ерігіштік индексін есептеу негізінде одан әрі зерттеу үшін тек екі изолят – BJ14 және BJ18 таңдалды. 2-суретте таңдалған бактериялық изоляттармен фосфаттың ерігіштігі көрсетілген, оның ішінде (а) ерігіштік аймақтарының көрнекі көрінісі және (ә) инкубация кезеңіндегі ерігіштік индексінің (SI) динамикасы көрсетіл-

ген. Бұл изоляттар фосфаттың ерігіштік индексіні BJ14 -1,5 және BJ18 – 2,2 көрсетті, ал BJ18 изоляты ең жоғары ерігіштік тиімділігін көрсет-

ті. *Bacillus firmus* MAJ PSB12 ұқсас штамдары жақсы ерігіштігін көрсетті және рН ~5,4-ке бейімделген[26].



2-сурет – Таңдалған изоляттармен фосфаттың ерігіштігі:
а) тежеу аймақтарының визуалды көрінісі; ә) инкубация кезіндегі SI динамикасы

Азот фиксациясы

Азотсыз Дженсен ортасында жүргізілген тәжірибеде BJ14 және BJ18 штамдарының екеуі де өсіп, айқын колониялар түзе алды (3-сурет). Минералды азот көзі болмаған жағдайда бактериялардың тұрақты өсуі олардың атмосфералық азотты биологиялық жолмен фиксациялай алатынын көрсетеді. Бұл құбылыс диазотрофты микроорганизмдерге тән, себебі олар азотты молекулалық күйінен өсімдікке қолжетімді формаға айналдыратын ферменттік жүйелерге ие. 3-суретте екі штамм 7 күн инкубациядан агар бетінде

біркелкі өсу сызықтарын қалыптастырған және бұл олардың олардың азотсыз ортаға физиологиялық бейімділігі жоғары екенін және энергия көзін баламалы механизмдер арқылы қамтамасыз ете алатынын дәлелдейді. Диазотрофты штамдар тамыр аймағында азоттық қосылыстардың жиналуын арттырып, өсімдіктің биомассасының ұлғаюына және вегетативтік мүшелерінің қарқынды дамуына әсер етеді. Бұл қасиет BJ14 және BJ18 штамдарын азот тыңайтқышына балама болатын перспективалы PGPR агенттері қатарында қарастыруға мүмкіндік береді.



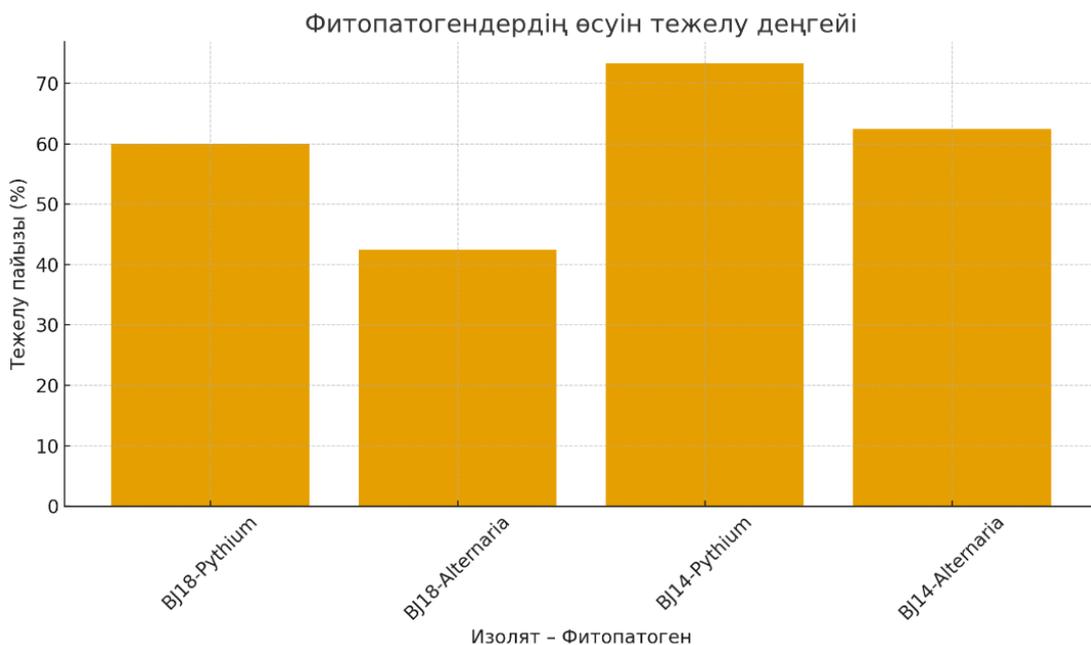
BJ14 BJ18

3-сурет – Зерттелген изоляттардың азотты бекіту белсенділігі

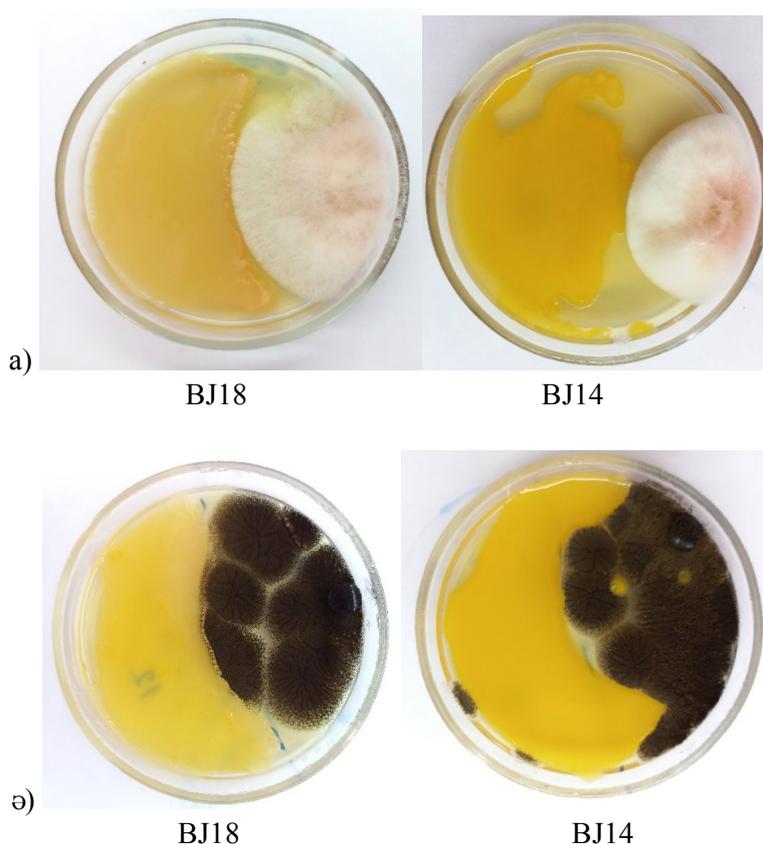
Фитопатогендерге қарсы антагонистік белсенділік

Қосарланған дақыл әдісі арқылы жүргізілген тәжірибелер зерттелген изоляттардың фитопато-

гендерге қарсы айқын антагонистік белсенділікке ие екенін көрсетті. Бұл нәтижелер зерттелген ризобактериялардың фитопатогендерге қарсы биобақылау агенті ретінде жоғары әлеуетке ие екенін дәлелдейді. 4-суретте ризобактериялармен жақсы егілген айналадағы фитопатогеннің өсуін тежеу аймағы көрсетілген. Қосарланған дақыл әдісі негізінде жүргізілген талдау нәтижелері BJ18 және BJ14 штаммдарының екі фитопатогенге қарсы айқын биоконтроль қабілетіне ие екенін көрсетті. *Pythium spp.* саңырауқұлағы бақылауда Петри табақшасын толық жауып шықса, BJ18 штаммы бар секторда оның өсу радиусы 45 мм-ден 18 мм-ге дейін қысқарып, тежелу деңгейі шамамен 60% болды. *Alternaria alternata* үшін BJ18 штаммының тежелу көрсеткіші 43% құрап, саңырауқұлақ мицелийінің таралу қарқыны айтарлықтай баяулағаны байқалды. BJ14 штаммы одан да жоғары антагонистік белсенділік көрсетті: *Pythium spp.* өсуі 45 мм-ден 12 мм-ге дейін төмендеп, тежелу пайызы 73.3% жетті, ал *A. alternata*-ға қарсы тежелу деңгейі 63% болды (4-сурет).



4-сурет – *Pythium spp.* және *Alternaria alternata* саңырауқұлақтарының өсуін тежейтін изоляттардың антагонистік белсенділігінің диаграммасы



5-сурет – Зерттелген изоляттардың *Pythium spp.* және *Alternaria alternata* қосарланған дақыл әдісі бойынша саңырауқұлақтарының өсуін тежейтін антагонистік белсенділігі

Осындай жоғары ингибициялық белсенділік BJ14 штаммының екі фитопатогенді де тиімді басатын күшті биоконтроль агенті екенін дәлелдейді, ал BJ18 штаммы орташа, бірақ тұрақты антагонистік әсер көрсететін перспективалы PGPR ретінде ерекшеленеді. *A. alternata*-ға қарсы белсенділік тұрғысынан бұл *F. graminearum* және *F. verticillioides* контекстінде қолданылған *B. subtilis* ATCC6633 штамдарына ұқсас [27]. Бұл белсенділік деңгейі *Bacillus amyloliquefaciens* XJ BV2007 белсенділігімен салыстыруға болады, оның биобақылау әсері *A. alternata* өсуін бастатын және токсиндердің өндірілуін азайтатын липопептид фенгидиннің өндірілуімен байланыстырылады [28,29]. *Bacillus* туысының әртүрлі штамдарының нан мен жармалардың фузариозды солуының қоздырғышы *F. graminearum*-ға қарсы антагонизмді көрсетуге ұзақ уақыт бойы қабілетті екені белгілі. Бұл антагонизм саңырауқұлаққа қарсы қосылыстардың өндірілуіне және саңырауқұлақтың бәсекеге қабілетті ығысуына байланысты [27,29].

Қорытынды

Бұл жұмыста жүгері ризосферасынан оқшауланған екі автохтонды ризобактерия штаммы – BJ14 және BJ18 – өсімдіктің өсуін ынталандыратын және фитопатогендерге қарсы белсенділігі бар перспективалы PGPR микроорганизмдер ретінде бағаланды. Зерттеу олардың көпфункционалды физиологиялық қасиеттерге ие екенін және әртүрлі механизмдер арқылы өсімдіктің дамуын қолдайтынын айқын көрсетті.

Екі штамм да индол-3-сірке қышқылын синтездеп, тамыр жүйесінің өсуін ынталандыруда маңызды рөл атқаратыны анықталды. BJ18 штаммы фосфатты еріту қабілетімен ерекшеленіп, топырақтағы қоректік элементтердің биоже-тімділігін арттыруға ықпал ететін тиімді соллюбилизатор ретінде танылды. Азотсыз Дженсен ортасында екі штаммның да еркін өсуі олардың атмосфералық азотты фиксациялау қабілетіне ие диазотрофты микроорганизмдер қатарына жататынын дәлелдеді.

Антагонистік белсенділік бойынша екі штамм да *Pythium spp.* және *Alternaria alternata* саңырауқұлақтарының өсуін айтарлықтай тежеді. BJ18 штаммы бұл патогендердің өсуін тиісінше 60% және 42% деңгейінде бәсеңдетсе, BJ14 штаммының белсенділігі біршама жоғары болып, 73% және 63% тежелу деңгейіне жетті. Әсіресе BJ14 штаммының тұрақты және айқын антифунгалдық әсер көрсетуі оның биологиялық фунгицид ретінде қолдануға жоғары әлеуетке ие екенін көрсетті.

Жалпы алғанда, BJ14 және BJ18 ризобактериялары өсімдікке қажетті қоректік элементтердің биожетімділігін арттыру, фитогормондар өндіру, азот фиксациясы және фитопатогендерді

тежеу сияқты бірнеше маңызды функцияларды бір мезгілде атқаратын көпфункционалды PGPR ретінде сипатталады. Бұл қасиеттер оларды жүгері дақылдары үшін экологиялық қауіпсіз, тиімді биоинокулянттарды әзірлеуде құнды микробиологиялық ресурсқа айналдырады.

Алдағы зерттеулер бұл штаммдардың әрекет ету механизмдерін молекулалық деңгейде нақтылауды, олардың органикалық қышқылдар түзуін сандық бағалауды, сондай-ақ жылыжай және егістік жағдайларында тиімділігін бағалауды қамтуы тиіс. Бұл олардың экологиялық таза биотыңайтқыштар мен биобақылау агенттері ретінде кең ауқымды практикалық қолданылуын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Әдебиеттер

1. Abbas A., Yli-Mattila T. Biocontrol of *Fusarium graminearum*, a causal agent of Fusarium head blight of wheat, and deoxynivalenol accumulation: from *in vitro* to *in planta* // *Toxins*. – 2022. – Vol. 14, No. 5. – Art. 299. – DOI: 10.3390/toxins14050299.
2. Abdelkefi N., Louati I., Mechichi H.-Z., Sayahi N., El-Sayed W.S., Nayal A.E., Ismail W., Hanin M., Mechichi T. Enhanced salt stress tolerance in tomato plants following inoculation with newly isolated plant growth-promoting rhizobacteria // *Scientia Horticulturae*. – 2024. – Vol. 328. – Art. 112921. – DOI: 10.1016/j.scienta.2024.112921.
3. Aguado-Santacruz G.A., Moreno-Gómez B., Jiménez-Francisco B., García-Moya E., Preciado-Ortiz R.E. Impacto de los sideróforos microbianos y fitosidéforos en la asimilación de hierro por las plantas: una síntesis // *Revista Fitotecnia Mexicana*. – 2012. – Vol. 35, No. 1. – P. 9–21.
4. Ahemad M., Kibret M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective // *Journal of King Saud University – Science*. – 2014. – Vol. 26, No. 1. – P. 1–20. – DOI: 10.1016/j.jksus.2013.05.001.
5. Alemneh A.A., Cawthray G.R., Zhou Y., Ryder M.H., Denton M.D. Ability to produce indole acetic acid is associated with improved phosphate solubilising activity of rhizobacteria // *Archives of Microbiology*. – 2021. – Vol. 203, No. 7. – P. 3825–3837. – DOI: 10.1007/s00203-021-02364-w.
6. Ali B., Wang X., Saleem M.H., Sumaira, Hafeez A., Afridi M.S., Khan S., Zaib-Un-Nisa, Ullah I., Amaral Júnior A.T. do, Alatawi A., Ali S. PGPR-mediated salt tolerance in maize by modulating plant physiology, antioxidant defense, compatible solutes accumulation and bio-surfactant producing genes // *Plants*. – 2022. – Vol. 11, No. 3. – Art. 345. – DOI: 10.3390/plants11030345.
7. ALKahtani M.D.F., Fouda A., Attia K.A., Al-Otaibi F., Eid A.M., Ewais E.E.-D., Hijri M., St-Arnaud M., Hassan S.E.-D., Khan N., Hafez Y.M., Abdelaal K.A.A. Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic bacteria from desert plants and their application as bioinoculants for sustainable agriculture // *Agronomy*. – 2020. – Vol. 10, No. 9. – Art. 1325. – DOI: 10.3390/agronomy10091325.
8. Baigonussova Zh.A., Tulkubaeva S.A., Tulaev Yu.V., Safronova O.S., Kurmanbaev A.A. Creating a biological product using nitrogen-fixing bacteria before sowing wheat // *Journal of Advanced Pharmacy Education and Research*. – 2021. – Vol. 11, No. 1. – P. 39–47. – DOI: 10.51847/XL40j39.
9. 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 // *International Journal of Biology and Chemistry*. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Art. 1. – DOI: 10.26577/IJBCh2024v17i1-a6.
10. 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, No. 8. – Art. 1902. – DOI: 10.3390/microorganisms13081902.
11. Beshah A., Muleta D., Legese G., Assefa F. Exploring stress-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria from groundnut rhizosphere soil in semi-arid regions of Ethiopia // *Plant Signaling & Behavior*. – 2024. – Vol. 19, No. 1. – Art. 2365574. – DOI: 10.1080/15592324.2024.2365574.
12. Bharucha U., Patel K., Trivedi U.B. Optimization of indole acetic acid production by *Pseudomonas putida* UB1 and its effect as plant growth-promoting rhizobacteria on mustard (*Brassica nigra*) // *Agricultural Research*. – 2013. – Vol. 2, No. 3. – P. 215–221. – DOI: 10.1007/s40003-013-0065-7.
13. Bouremani N., Cherif-Silini H., Silini A., Bouket A.C., Luptakova L., Alenezi F.N., Baranov O., Belbahri L. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): a rampart against the adverse effects of drought stress // *Water*. – 2023. – Vol. 15, No. 3. – Art. 418. – DOI: 10.3390/w15030418.
14. Chaffai R., Ganesan M., Cherif A. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and plant growth-promoting fungi (PGPF) for alleviating abiotic stress in plants // В кн.: *Plant adaptation to abiotic stress*. – Singapore: Springer Nature, 2024. – P. 457–496. – DOI: 10.1007/978-981-97-0672-3_17.

15. Enebe M.C., Babalola O.O. The influence of plant growth-promoting rhizobacteria in plant tolerance to abiotic stress: a survival strategy // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2018. – Vol. 102, No. 18. – P. 7821–7835. – DOI: 10.1007/s00253-018-9214-z.
16. Etesami H., Maheshwari D.K. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: action mechanisms and future prospects // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2018. – Vol. 156. – P. 225–246. – DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.03.013.
17. Ganesh J., Hewitt K., Devkota A.R., Wilson T., Kaundal A. IAA-producing plant growth promoting rhizobacteria from *Ceanothus velutinus* enhance cutting propagation efficiency and *Arabidopsis* biomass // *Frontiers in Plant Science*. – 2024. – Vol. 15. – Art. 1374877. – DOI: 10.3389/fpls.2024.1374877.
18. Haq I.U., Rahim K., Yahya G., Ijaz B., Maryam S., Paker N.P. Eco-smart biocontrol strategies utilizing potent microbes for sustainable management of phytopathogenic diseases // *Biotechnology Reports*. – 2024. – Vol. 44. – Art. e00859. – DOI: 10.1016/j.btre.2024.e00859.
19. Hasan A., Tabassum B., Hashim M., Khan N. Role of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as a plant growth enhancer for sustainable agriculture: a review // *Bacteria*. – 2024. – Vol. 3, No. 2. – P. 59–75. – DOI: 10.3390/bacteria3020005.
20. Jia Q., Fan Y., Duan S., Qin Q., Ding Y., Yang M., Wang Y., Liu F., Wang C. Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* XJ-BV2007 on growth of *Alternaria alternata* and production of tenuazonic acid // *Toxins*. – 2023. – Vol. 15, No. 1. – Art. 53. – DOI: 10.3390/toxins15010053.
21. Khawula S., Daniel A.I., Nyawo N., Ndlazi K., Sibiya S., Ntshalintshali S., Nzuzi G., Gokul A., Keyster M., Klein A., Niekerk L., Nkomo M. Optimizing plant resilience with growth-promoting rhizobacteria under abiotic and biotic stress conditions // *Plant Stress*. – 2025. – Vol. 17. – Art. 100949. – DOI: 10.1016/j.stress.2025.100949.
22. Kumar V., Prasher I.B. Phosphate solubilization and indole-3-acetic acid produced by *Colletotrichum gloeosporioides* and *Aspergillus fumigatus* strains isolated from the rhizosphere of *Dillenia indica* L. // *Folia Microbiologica*. – 2023. – Vol. 68, No. 2. – P. 219–229. – DOI: 10.1007/s12223-022-01004-0.
23. Kunal, Pranaw K., Kumawat K.C., Meena V.S. Editorial: plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and plant hormones: an approach for plant abiotic stress management and sustainable agriculture // *Frontiers in Microbiology*. – 2023. – Vol. 14. – Art. 1285756. – DOI: 10.3389/fmicb.2023.1285756.
24. Moussaid F.Z., Lahlali R., Ezrari S., El Barnossi A., Housseini A.I. Biological control of *Alternaria alternata* MW970059 by *Aspergillus nidulans* MW732187 isolated from green household waste // *Journal of Natural Pesticide Research*. – 2025. – Vol. 13. – Art. 100134. – DOI: 10.1016/j.napere.2025.100134.
25. Myo E.M., Ge B., Ma J., Cui H., Liu B., Shi L., Jiang M., Zhang K. Indole-3-acetic acid production by *Streptomyces fradiae* NKZ-259 and its formulation to enhance plant growth // *BMC Microbiology*. – 2019. – Vol. 19, No. 1. – Art. 155. – DOI: 10.1186/s12866-019-1528-1.
26. Ntushelo K., Ledwaba L.K., Rauwane M.E., Adebo O.A., Njobeh P.B. The mode of action of *Bacillus* species against *Fusarium graminearum*: tools for investigation and future prospects // *Toxins*. – 2019. – Vol. 11, No. 10. – Art. 606. – DOI: 10.3390/toxins11100606.
27. Popržen T., Nikolić I., Krstić-Milošević D., Uzelac B., Trifunović-Momčilov M., Marković M., Radulović O. Characterization of the IAA-producing and -degrading *Pseudomonas* strains regulating growth of *Lemna minor* L. // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – Vol. 24, No. 24. – Art. 17207. – DOI: 10.3390/ijms242417207.
28. Sonowal T., Gupta N., Kumar S., Rustagi S., Singh S., Rai A.K., Shreaz S., Negi R., Yadav A.N. Plant growth-promoting rhizobacteria: influence to abiotic stress tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) // *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. – 2024. – Vol. 12, No. 5. – P. 41–47. – DOI: 10.7324/JABB.2024.167590.
29. Wang Z., Zhang H., Liu L., Li S., Xie J., Xue X., Jiang Y. Screening of phosphate-solubilizing bacteria and their abilities of phosphorus solubilization and wheat growth promotion // *BMC Microbiology*. – 2022. – Vol. 22, No. 1. – Art. 296. – DOI: 10.1186/s12866-022-02715-7.

References

1. Abbas A., Yli-Mattila T. Biocontrol of *Fusarium graminearum*, a causal agent of Fusarium head blight of wheat, and deoxynivalenol accumulation: from *in vitro* to *in planta* // *Toxins*. – 2022. – Vol. 14, No. 5. – Art. 299. – DOI: 10.3390/toxins14050299.
2. Abdelkefi N., Louati I., Mechichi H.-Z., Sayahi N., El-Sayed W.S., Nayal A.E., Ismail W., Hanin M., Mechichi T. Enhanced salt stress tolerance in tomato plants following inoculation with newly isolated plant growth-promoting rhizobacteria // *Scientia Horticulturae*. – 2024. – Vol. 328. – Art. 112921. – DOI: 10.1016/j.scienta.2024.112921.
3. Aguado-Santacruz G.A., Moreno-Gómez B., Jiménez-Francisco B., García-Moya E., Preciado-Ortiz R.E. Impacto de los sideróforos microbianos y fitosidóforos en la asimilación de hierro por las plantas: una síntesis // *Revista Fitotecnia Mexicana*. – 2012. – Vol. 35, No. 1. – P. 9–21.
4. Ahemad M., Kibret M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective // *Journal of King Saud University – Science*. – 2014. – Vol. 26, No. 1. – P. 1–20. – DOI: 10.1016/j.jksus.2013.05.001.
5. Alemneh A.A., Cawthray G.R., Zhou Y., Ryder M.H., Denton M.D. Ability to produce indole acetic acid is associated with improved phosphate solubilizing activity of rhizobacteria // *Archives of Microbiology*. – 2021. – Vol. 203, No. 7. – P. 3825–3837. – DOI: 10.1007/s00203-021-02364-w.

6. Ali B., Wang X., Saleem M.H., Sumaira, Hafeez A., Afridi M.S., Khan S., Zaib-Un-Nisa, Ullah I., Amaral Júnior A.T. do, Alatawi A., Ali S. PGPR-mediated salt tolerance in maize by modulating plant physiology, antioxidant defense, compatible solutes accumulation and bio-surfactant producing genes // *Plants*. – 2022. – Vol. 11, No. 3. – Art. 345. – DOI: 10.3390/plants11030345.
7. ALKahtani M.D.F., Fouda A., Attia K.A., Al-Otaibi F., Eid A.M., Ewais E.E.-D., Hijri M., St-Arnaud M., Hassan S.E.-D., Khan N., Hafez Y.M., Abdelaal K.A.A. Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic bacteria from desert plants and their application as bioinoculants for sustainable agriculture // *Agronomy*. – 2020. – Vol. 10, No. 9. – Art. 1325. – DOI: 10.3390/agronomy10091325.
8. Baigonussova Zh.A., Tulkubaeva S.A., Tulaev Yu.V., Safronova O.S., Kurmanbaev A.A. Creating a biological product using nitrogen-fixing bacteria before sowing wheat // *Journal of Advanced Pharmacy Education and Research*. – 2021. – Vol. 11, No. 1. – P. 39–47. – DOI: 10.51847/XL40j39.
9. 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 // *International Journal of Biology and Chemistry*. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Art. 1. – DOI: 10.26577/IJBCh2024v17i1-a6.
10. 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, No. 8. – Art. 1902. – DOI: 10.3390/microorganisms13081902.
11. Beshah A., Muleta D., Legese G., Assefa F. Exploring stress-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria from groundnut rhizosphere soil in semi-arid regions of Ethiopia // *Plant Signaling & Behavior*. – 2024. – Vol. 19, No. 1. – Art. 2365574. – DOI: 10.1080/15592324.2024.2365574.
12. Bharucha U., Patel K., Trivedi U.B. Optimization of indole acetic acid production by *Pseudomonas putida* UB1 and its effect as plant growth-promoting rhizobacteria on mustard (*Brassica nigra*) // *Agricultural Research*. – 2013. – Vol. 2, No. 3. – P. 215–221. – DOI: 10.1007/s40003-013-0065-7.
13. Bouremani N., Cherif-Silini H., Silini A., Bouket A.C., Luptakova L., Alenezi F.N., Baranov O., Belbahri L. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): a rampart against the adverse effects of drought stress // *Water*. – 2023. – Vol. 15, No. 3. – Art. 418. – DOI: 10.3390/w15030418.
14. Chaffai R., Ganesan M., Cherif A. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and plant growth-promoting fungi (PGPF) for alleviating abiotic stress in plants // В кн.: *Plant adaptation to abiotic stress*. – Singapore: Springer Nature, 2024. – P. 457–496. – DOI: 10.1007/978-981-97-0672-3_17.
15. Enebe M.C., Babalola O.O. The influence of plant growth-promoting rhizobacteria in plant tolerance to abiotic stress: a survival strategy // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2018. – Vol. 102, No. 18. – P. 7821–7835. – DOI: 10.1007/s00253-018-9214-z.
16. Etesami H., Maheshwari D.K. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: action mechanisms and future prospects // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2018. – Vol. 156. – P. 225–246. – DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.03.013.
17. Ganesh J., Hewitt K., Devkota A.R., Wilson T., Kaundal A. IAA-producing plant growth promoting rhizobacteria from *Ceanothus velutinus* enhance cutting propagation efficiency and *Arabidopsis* biomass // *Frontiers in Plant Science*. – 2024. – Vol. 15. – Art. 1374877. – DOI: 10.3389/fpls.2024.1374877.
18. Haq I.U., Rahim K., Yahya G., Ijaz B., Maryam S., Paker N.P. Eco-smart biocontrol strategies utilizing potent microbes for sustainable management of phytopathogenic diseases // *Biotechnology Reports*. – 2024. – Vol. 44. – Art. e00859. – DOI: 10.1016/j.btre.2024.e00859.
19. Hasan A., Tabassum B., Hashim M., Khan N. Role of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as a plant growth enhancer for sustainable agriculture: a review // *Bacteria*. – 2024. – Vol. 3, No. 2. – P. 59–75. – DOI: 10.3390/bacteria3020005.
20. Jia Q., Fan Y., Duan S., Qin Q., Ding Y., Yang M., Wang Y., Liu F., Wang C. Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* XJ-BV2007 on growth of *Alternaria alternata* and production of tenuazonic acid // *Toxins*. – 2023. – Vol. 15, No. 1. – Art. 53. – DOI: 10.3390/toxins15010053.
21. Khawula S., Daniel A.I., Nyawo N., Ndlazi K., Sibiya S., Ntshalintshali S., Nzuza G., Gokul A., Keyster M., Klein A., Niekerk L., Nkomo M. Optimizing plant resilience with growth-promoting rhizobacteria under abiotic and biotic stress conditions // *Plant Stress*. – 2025. – Vol. 17. – Art. 100949. – DOI: 10.1016/j.stress.2025.100949.
22. Kumar V., Prasher I.B. Phosphate solubilization and indole-3-acetic acid produced by *Colletotrichum gloeosporioides* and *Aspergillus fumigatus* strains isolated from the rhizosphere of *Dillenia indica* L. // *Folia Microbiologica*. – 2023. – Vol. 68, No. 2. – P. 219–229. – DOI: 10.1007/s12223-022-01004-0.
23. Kunal, Pranaw K., Kumawat K.C., Meena V.S. Editorial: plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and plant hormones: an approach for plant abiotic stress management and sustainable agriculture // *Frontiers in Microbiology*. – 2023. – Vol. 14. – Art. 1285756. – DOI: 10.3389/fmicb.2023.1285756.
24. Moussaid F.Z., Lahlali R., Ezrari S., El Barnossi A., Housseini A.I. Biological control of *Alternaria alternata* MW970059 by *Aspergillus nidulans* MW732187 isolated from green household waste // *Journal of Natural Pesticide Research*. – 2025. – Vol. 13. – Art. 100134. – DOI: 10.1016/j.napere.2025.100134.
25. Myo E.M., Ge B., Ma J., Cui H., Liu B., Shi L., Jiang M., Zhang K. Indole-3-acetic acid production by *Streptomyces fradiae* NKZ-259 and its formulation to enhance plant growth // *BMC Microbiology*. – 2019. – Vol. 19, No. 1. – Art. 155. – DOI: 10.1186/s12866-019-1528-1.

26. Ntushelo K., Ledwaba L.K., Rauwane M.E., Adebo O.A., Njobeh P.B. The mode of action of *Bacillus* species against *Fusarium graminearum*: tools for investigation and future prospects // *Toxins*. – 2019. – Vol. 11, No. 10. – Art. 606. – DOI: 10.3390/toxins11100606.

27. Popržen T., Nikolić I., Krstić-Milošević D., Uzelac B., Trifunović-Momčilov M., Marković M., Radulović O. Characterization of the IAA-producing and -degrading *Pseudomonas* strains regulating growth of *Lemna minor* L. // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – Vol. 24, No. 24. – Art. 17207. – DOI: 10.3390/ijms242417207.

28. Sonowal T., Gupta N., Kumar S., Rustagi S., Singh S., Rai A.K., Shreaz S., Negi R., Yadav A.N. Plant growth-promoting rhizobacteria: influence to abiotic stress tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) // *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. – 2024. – Vol. 12, No. 5. – P. 41–47. – DOI: 10.7324/JABB.2024.167590.

29. Wang Z., Zhang H., Liu L., Li S., Xie J., Xue X., Jiang Y. Screening of phosphate-solubilizing bacteria and their abilities of phosphorus solubilization and wheat growth promotion // *BMC Microbiology*. – 2022. – Vol. 22, No. 1. – Art. 296. – DOI: 10.1186/s12866-022-02715-7.

Авторлар туралы мәлімет:

Батықова Жұлдыз Казбекқызы – PhD студент, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (e-mail: batyqova@gmail.com).

Кистаубаева Аида Сериковна – б.з.к., профессор, Биотехнология кафедрасының меңгерушісі, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (e-mail: kistaubayeva.kaznu@gmail.com).

Саидуллаева Лайла Нуруллаевна – PhD студент, М.Әуезов атындағы ОҚУ (e-mail: leyla-87.87@mail.ru).

Ережетова Улжан – магистр, Қазақ Ұлттық Қыздар Педагогикалық Университеті оқытушысы (e-mail: erezhetkyzu@mail.ru).

Наурызбаева Жадыра Еркиновна – магистр, Қазақ Ұлттық Қыздар Педагогикалық Университеті оқытушысы (e-mail: nauрызbaeva.zadyra86@gmail.com).

Абдулжанова Малика Анварбековна – PhD, Биотехнология кафедрасының аға оқытушысы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (e-mail: malika_81_@mail.ru).

Information about authors:

Batykova Zhuldyz Kazbekyzy – PhD student at the Department of Biotechnology, al-Farabi Kazakh National University (e-mail: batyqova@gmail.com).

Kistaubayeva Aida Serikovna – Candidate of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Biotechnology, al-Farabi Kazakh National University (e-mail: kistaubayeva.kaznu@gmail.com).

Saidullaeva Laila Nurullaевна – PhD student, M. Auezov South Kazakhstan University (e-mail: leyla-87.87@mail.ru).

Erezhetova Ulzhan – Master, Teacher of the Kazakh National Women's Pedagogical University, (e-mail: erezhetkyzu@mail.ru).

Sarsembaeva Aiman Shakanovna – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer of the Biology Department, Kazakh National Women's Pedagogical University (e-mail: sarsembaeva_aiman@mail.ru).

Nauрызbaeva Zhadyra Erkinovna – Master, Teacher of the Kazakh National Women's Pedagogical University (e-mail: nauрызbaeva.zadyra86@gmail.com).

Abdulzhanova Malika Anvarbegovna – PhD, Senior Lecturer of the Department of Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University (e-mail: malika_81_@mail.ru).

Сведения об авторах:

Батықова Жұлдыз Казбекқызы – докторант кафедрасы биотехнологиясы Қазақстанның ұлттық университеті атындағы әл-Фараби (e-mail: batyqova@gmail.com).

Кистаубаева Аида Сериковна – кандидат биологиялық ғылымдар, профессор, кафедраның меңгерушісі биотехнологиясы Қазақстанның ұлттық университеті атындағы әл-Фараби (e-mail: kistaubayeva.kaznu@gmail.com).

Саидуллаева Лайла Нуруллаевна – докторант Южно-Қазақстанның ұлттық университеті атындағы М. Әуезов (e-mail: leyla-87.87@mail.ru).

Ережетова Улжан – магистр, профессор, Қазақстанның ұлттық әйелдер педагогикалық университеті (e-mail: erezhetkyzu@mail.ru).

Сарсембаева Айман Шақановна – кандидат сәуіршілік ғылымдар, сәуіршілік-лектор кафедрасы биологиясы Қазақстанның ұлттық әйелдер педагогикалық университеті (e-mail: sarsembaeva_aiman@mail.ru).

Наурызбаева Жадыра Еркиновна – магистр, профессор, Қазақстанның ұлттық әйелдер педагогикалық университеті (e-mail: nauрызbaeva.zadyra86@gmail.com).

Абдулжанова Малика Анварбековна – PhD, сәуіршілік профессор кафедрасы биотехнологиясы Қазақстанның ұлттық әйелдер педагогикалық университеті атындағы әл-Фараби (e-mail: malika_81_@mail.ru).

Поступила 17 сентября 2025 года

Принята 25 декабря 2025 года

FTAMP 62.09.39

<https://doi.org/10.26577/EJE20258512>

О.Ю. Головченко , Г.М. Адильбаева , С.Х. Акназаров ,
 А.А. Балтабай * , О.С. Байракова , М.А. Бийсенбаев ,
 Д. Аронов 

«Жалын» ғылыми-техникалық орталығы» ЖШС, Алматы, Қазақстан
 *e-mail: asylym.baltabay@mail.ru

ӨНЕРКӘСІПТІК ҚАЛДЫҚТАРДЫ ӨНДЕУДІҢ ҚОЛДАНЫСТАҒЫ ӘДІСТЕРІНІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ

Бұл мақалада Қазақстанда және бүкіл әлемде қатты өнеркәсіптік қалдықтарды өндеудің қолданыстағы және қазіргі уақытта қолданылатын әдістері мен тәсілдерінің талдауы ұсынылған. Онда мәселенің негізі мен ұлттық маңызы қарастырылған. Онда ғылыми және технологиялық қажеттіліктер анықталған, нәтижелердің ғылым мен техниканың дамуына әсерін анықтаған және күтілетін әлеуметтік-экономикалық әсер анықталған. Қатты қалдықтарды өндеудің техникалық және экономикалық бағасы берілген, әсіресе қалдықтарды кешенді өндеуге баса назар аударылған.

Шолу соңында қысқаша қорытынды берілген. Қолданыстағы зерттеулерді талдау кеуекті және жоғары кеуекті керамикалық материалдардың физикалық және механикалық, әсіресе жылулық қасиеттерін жақсартудың әлеуетті ресурстарының бірі олардың құрылымы мен кеуектілігін реттеу екенін көрсетті.

Түйін сөздер: экология, қайта өңдеу, жою, қалдықтар, керамика.

O.Yu. Golovchenko, G.M. Adilbayeva, S.Kh. Aknazarov,
 A.A. Baltabay *, O.S. Bayrakova, M.A. Biysenbayev, D. Aronov
 LLP «Scientific and Technical Center «Zhalyn», Almaty, Kazakhstan
 *e-mail: asylym.baltabay@mail.ru

Current state of industrial waste processing methods

This article presents an analysis of the currently applied and existing methods and approaches to the processing of solid industrial waste in Kazakhstan and worldwide. The fundamentals of the problem and its national significance are considered. Scientific and technological needs are identified, as well as the impact of the obtained results on the development of science and technology and the expected socio-economic effects. A technical and economic assessment of solid waste processing is provided, with particular emphasis on integrated waste processing.

In the concluding part of the review, brief conclusions are presented. An analysis of existing studies has shown that one of the potential resources for improving the physical and mechanical, especially thermophysical, properties of porous and highly porous ceramic materials is the regulation of their structure and porosity.

Keywords: ecology, recycling, utilization, waste, ceramics.

О.Ю. Головченко, Г.М. Адильбаева, С.Х. Акназаров, А.А. Балтабай*,
 О.С. Байракова, М.А. Бийсенбаев, Д. Аронов
 ТОО «Научно-технический центр «Жалын», Алматы, Казахстан
 *e-mail: asylym.baltabay@mail.ru

Современное состояние методов переработки промышленных отходов

В данной статье представлен анализ действующих и применяемых в настоящее время методов и подходов к переработке твёрдых промышленных отходов в Казахстане и во всём мире. Рассмотрены основы проблемы и её национальное значение. Определены научные и технологические потребности, а также влияние полученных результатов на развитие науки и техники и ожидаемый социально-экономический эффект. Приведена технико-экономическая оценка переработки твёрдых отходов, при этом особое внимание уделено комплексной переработке отходов.

В заключительной части обзора приведены краткие выводы. Анализ существующих исследований показал, что одним из потенциальных ресурсов улучшения физических и механических, в особенности теплофизических свойств пористых и высокопористых керамических материалов является регулирование их структуры и пористости.

Ключевые слова: экология, переработка, утилизация, отходы, керамика.

Кіріспе

2014 жылғы 30 мамырдағы Қазақстан Республикасы Президентінің №577 Жарлығымен бекітілген Қазақстан Республикасының «жасыл» экономикаға көшу тұжырымдамасына сәйкес, қатты қалдықтарды басқаруды жетілдіру негізгі бағыттардың бірі ретінде анықталған /1/.

Қазіргі қоғамның дамуы қатты өнеркәсіптік қалдықтардың пайда болуының артуымен қатар жүреді. Бұл қалдықтардың бір бөлігі сұрыпталып, пайдалы өнімдер өндіру үшін пайдаланылады. Айтарлықтай бөлігі пайдаланыла алмайды және полигондар мен қоқыс төгетін орындарда сақталады, бұл қоршаған ортаға айтарлықтай зиян келтіреді. Қатты қалдықтарды өңдеу және зиянсыздандырудың қолданыстағы әдістері қазіргі заманғы қоршаған ортаны қорғау талаптарына сәйкес келмейді, ең алдымен, олар технологиялық аймақта көлемдік жылу жүктемесі төмен ортада салыстырмалы түрде төмен температурада жүзеге асырылады. Қатты өнеркәсіптік қалдықтарды термиялық өңдеудің экологиялық көрсеткіштерін айтарлықтай жақсарту 1200°C жоғары технологиялық температурада мүмкін /2,3/.

Қатты өнеркәсіптік қалдықтарды залалсыздандыру немесе жою мәселесі бүкіл әлемде өзекті мәселе болып табылады. Аналитикалық шолуға сәйкес, Еуропада қалдықтардың 40%-ға дейіні көміледі, 20%-ы өртеледі, 22%-ы қайта өңделеді және 18%-ы компостталады. Жапонияда қалдықтарды жою мәселесі ерекше өзекті, себебі аралдарда қоқыс полигондарының кеңістігі шектеулі. Жапониядағы қалдықтардың 80%-ға дейіні өртеледі, ал қалдықтарды жағу кезінде пайда болған шлак құрылыста қолданылады. 17-18%-ы қайта өңделеді (шыны бөтелкелер жасау үшін, пластик жұмыс киімдерін, спорттық киімдерді және т.б. жасау үшін қолданылады) /4/.

АҚШ-та 2005 жылға дейін қалдықтарды жою полигонға тастау (54,3%), қайта өңдеу (23,8%), биологиялық өңдеу және компосттау (8,4%) және жағу (13,6%) арқылы жүзеге асырылды. Канадада, Австралияда және Жаңа Зеландияда қалдықтарды жоюдың негізгі әдістері полигонға тастау болып табылады. Қалдықтарды жоюдың

бұл әдісі Ресейде, Қазақстанда және басқа ТМД елдерінде негізгі болып табылады. Кореяда, Тайваньда және Сингапурда термиялық қалдықтарды қайта өңдеу әдістері кеңінен дамып келеді.

Қазақстанда сарапшылардың бағалауы бойынша, жинақталған қатты қалдықтардың көлемі 25 миллиард тоннаны құрайды. Қоқыс полигондарының жалпы саны 4000-нан асады, оның тек 307-сі ғана заңды түрде белгіленген. Сарапшылардың бағалауы бойынша, қатты қалдықтардың тек 5%-ы ғана қайта өңделеді, ал қалған 95%-ы қоқыс полигондарына тасымалданады. Қазақстан қалдықтарды қайта өңдеу деңгейін 70%-ға дейін арттыруды жоспарлап отыр. Қазіргі уақытта Қазақстанда белгілі бір қалдық түрлеріне мамандандырылған бірнеше қатты қалдықтарды қайта өңдеу зауыттары бар: пластик және полимерлерді қайта өңдеу бойынша Алматы және Қызылорда; қалдық қағазды қайта өңдеу бойынша Kagazy Resaykmes, Karina және Pavlodar KRZ; картонды қайта өңдеу бойынша Kaktas Aktobe; және Алматы мен Шымкентте шиналарды қайта өңдеу. /5/ Күрделі алдын ала өңдеусіз қатты өнеркәсіптік қалдықтарды қайта өңдеудің бірыңғай технологиясын әзірлеу өзекті мәселе болып табылады.

Міндет жоғары өнімділікті, қоршаған ортаны қорғау көрсеткіштерін жақсартуды және қосымша ресурстар мен энергия үнемдеуді қамтамасыз ететін жоғары температуралы термиялық (жылдам пиролиз) қалдықтарды өңдеу технологиясын әзірлеуде жатыр.

Мәселенің ұлттық ауқымда маңыздылығы

Қатты қалдықтар, ең алдымен, қоршаған ортаның ластануы мен экологиялық деградацияның көзі болып табылады және нәтижесінде қоғамдық денсаулыққа әсер етеді. Кешенді зерттеулер жасанды шикізатты өңдеудің қалдықсыз отандық технологиясын әзірлеу және өңдеу нәтижесінде жаңа материалдарды синтездеу арқылы қамтамасыз етіледі. Өнімділік пен сапа тұрғысынан мұндай технология ең жақсы импорттық өнімдермен салыстыруға болатындай болуы керек, бұл отандық өндіріс желілерінің импортын алмастыруды қамтамасыз етеді.

Мәселенің маңыздылығы күрделі қалдықтарды дайындауды қажет етпейтін, экологиялық таза және енгізу оңай әмбебап қатты қалдықтарды өңдеу технологиясын әзірлеуде жатыр.

Ғылыми және технологиялық қажеттіліктер

Қазақстанда және бүкіл әлемде қатты қалдықтарды бейтараптандыру немесе қайта өңдеу мәселесі өзекті мәселе болып табылады, ал экологиялық таза қайта өңдеу әдістеріне деген жоғары сұраныс бұл мәселені шешуге ғылыми, экономикалық және өнеркәсіптік қызығушылықты тудырады.

Экологиялық қауіптерден басқа, табиғи ресурстардың шектеулілігі мәселесі туындайды. Қалдықтарды қайта өңдеудің жаңа технологиялары қайта өңдеудің қайта өңделетін шикізат өндіруін қамтамасыз етуге бағытталған.

Табиғи ресурстар өндіріс факторларының қатарына жатады. Олар жаңартылатын және жаңартылмайтын болып бөлінеді. Жаңартылмайтын ресурстарға қалпына келуі болжамды геологиялық уақыт ішінде болмайтын минералдар жатады.

Ғылым мен техниканың дамуына әсері және күтілетін әлеуметтік-экономикалық әсер

Қатты қалдықтарды жағу процестері мен жаңа материалдарды синтездеу бойынша іргелі зерттеулер жасанды қатты қалдықтарды өңдеу саласындағы жаңа бағыттарды әзірлеу және қолданбалы зерттеулерді ілгерілету үшін ғылыми негіз бола алады /6/. Күтілетін әлеуметтік-экономикалық әсер қатты қалдықтарды өңдеуде ресурстарды үнемдейтін, қалдықсыз технологияны енгізуде жатыр, ол бір мезгілде қалдықтарды зиянсыз етеді, қайта өңдейді және одан пайдалы, қайта пайдалануға болатын материалдарды шығарады. Өңдеуге арналған қарапайым және арзан материалдарды дайындау, зиянды газ тәрізді, қатты және сұйық қалдықтардың болмауымен қатар, халықтың дамуын, интеграциясын және әлеуметтенуін қолдайтын инфрақұрылымды жасайды, жаңа жұмыс орындарын ашады, жергілікті және ұлттық бюджеттерге салық түсімдерін жасайды және химия мен физика бойынша мамандарды даярлайды /7, 8/.

Өнеркәсіптік қатты қалдықтарды өңдеудің жаңа қалдықсыз, экологиялық таза технологиясын әзірлеу сұраныс пен экономикалық ынталандырумен анықталады.

Қазіргі заманғы қалдықтарды қайта өңдеу технологиялары

Қазіргі заманғы қалдықтарды қайта өңдеу технологиялары үнемі дамып келе жатқан және барған сайын танымал болып келе жатқан зерттеу саласы. Бүгінде біз тұтыну дәуірінде өмір сүріп жатырмыз. Барлық өнімдер мен тауарлар молшылықта.

Бір жағынан, бұл жақсы, өйткені адамдарда әрқашан үлкен таңдау болады, бірақ барлық заттар ақырында пайдалануға жарамсыз болып қалады, ал дұрыс емес тасталса, қоршаған ортаға орны толмас зиян келтіруі мүмкін. Қалдықтарды қайта өңдеу бүкіл адамзат алдында тұрған мәселе, сондықтан оның шешіміне ақылмен қарау маңызды.

Адамдар қолданатын заманауи технологиялардың көпшілігі шектеулі табиғи ресурстарды: мұнай, көмір және кенді пайдалануға негізделген. Бұл ресурстардың таусылуынан басқа, оларды пайдаланатын өнеркәсіп атмосфера мен топырақты ластайды.

Қалдықтарды қайта өңдеу технологиясының тарихы

Адамдар қалдықтарды қайта өңдеу туралы ежелгі заманнан бері ойластырып келеді. Мысалы, ауыл шаруашылығында тұрмыстық іс-әрекеттерден пайда болған органикалық қалдықтар біздің заманымызға дейін де қайта пайдаланыла бастады. Бұл процесс біртіндеп жақсарды, ал ХХ ғасырға қарай ол тек қалдықтарды жою құралы ретінде ғана емес, сонымен қатар ластанумен күрес және табиғи ресурстарды тиімді пайдалану құралы ретінде де қарастырылды.

Ресейде қазіргі уақытта қалдықтарды өңдеудің заманауи технологиялары негізінен қалдық түрлері бойынша қолданылады. Қоқыс полигондарын жою да кең таралған. Пластмассаларды, органикалық заттар бар өнімдерді және тұрмыстық қалдықтарды қайта өңдеуге бағытталған компаниялар көбейіп келеді.

Қайта өңдеу мен жоюды ажырату маңызды. Қалдықтарды өңдеудің негізгі технологиялары пайдаланылған өнімдерді екінші реттік материалдарға айналдыруға бағытталған. Жою, өз кезегінде, қалдықтарды өндірістік циклде қайта пайдалану үшін пайдалануды немесе оның пайдалы компоненттерін бөлуді және алуды қамтиды.

Жағу технологиясы қалдықтарды басқару үшін ұзақ уақыт бойы қолданылып келеді, бірақ қатты қалдықтарды өңдеу технологиялары үнемі жетілдіріліп келеді. Қазіргі заманғы шешім-

дер қоршаған ортаны сақтай отырып, мемлекеттік бюджет үшін тиімдірек.

Қазіргі заманғы, озық қатты қалдықтарды өңдеу технологияларының жалғыз қиындығы – бастапқыда шикізатты құрамы бойынша бөлу қажеттілігі. Бұл кезең көбінесе тұтынушыға байланысты. Уақыт өте келе, мамандандырылған машиналар мен зауыттар пайда болады.

Қалдықтарды сұрыптау жүргізіледі, бірақ тұтыну көлемі мен көлемі соншалықты үлкен, сондықтан әрбір адамның үлесінсіз жағдайды шешу және кез келген елеулі өзгерістер енгізу мүмкін емес.

Қатты қалдықтарды өңдеу технологиялары қоршаған ортаны сақтау үшін әзірленуі тиіс негіз болып табылады.

Жағу – қатты қалдықтарды толық жоюдың тиімді әдісі. Бұл әдіс ХІХ ғасырдан бері қолданылып келеді. Ол көптеген санитарлық талаптарға байланысты өте күрделі. Дегенмен, қалдықтарды жоюдан басқа, бұл әдіс қосымша энергия ресурстарын, мысалы, кеңістікті жылытуды қамтамасыз етеді.

Кемшіліктеріне атмосфераға шығарылатын зиянды заттар және қатты қалдықтардағы құнды органикалық элементтерді жою қаупінің жоғары болуы жатады.

Қалдықтарды қайта өңдеудің озық технологияларына биометриялық компосттау жатады. Бұл қалдықтарды табиғи, бірақ жеделдетілген түрлендіру. Катализатор ретінде жылу, оттегі және арнайы жабдықтар қолданылады.

Бұл әдіс өте қымбат деп саналатындықтан, соншалықты танымал емес. Дегенмен, ол ауаны немесе айналасындағы тіршілік иелерін ластамайды және, айтуға болады, толығымен табиғи. Бұл әдісті шиналарды, пластмассаларды және майларды қайта өңдеу үшін пайдалануға болады.

Қатты қалдықтарды жоюдың соңғы әдісі – қалдықтарды газдандыру. Бұл әдіс бірнеше кезеңнен тұрады: ірі нысандарды таңдау, қосалқы химиялық қосылыстарды өңдеу және қалпына келтіру, алынған газды тазарту және пайдалы элементтерді (бу, ыстық су, электр энергиясы) алу үшін газды жағу.

Тығыздығы 1000 кг/м³-ден аз және жылу өткізгіштігі 0,2 Вт/(м °С)-тан аз дәстүрлі энергия мен ресурстарды үнемдейтін, тиімді керамикалық құрылыс материалдарын (кірпіш, тас және блоктар) өндірудегі отандық және халықаралық тәжірибені талдау көрсеткендей, бұл керамикаға өндіріс технологиясы шикізат пен энергия ресурстарын өндіру кезінде де, ғимараттар мен

құрылыстарда пайдалану кезінде де айтарлықтай үнемдеуге мүмкіндік беретін керамикалар кіреді /9, 10/. Осы сипаттамалары бар өнімдер дәстүрлі бір қабатты қабырға қалыңдығын сақтауға мүмкіндік береді. Шетелдік өндірушілер мұндай өнімдердің 80%-дан астамын шығарса, отандық зауыттар негізінен 29-33% бос құрамы бар кірпіштер мен тастарды шығарады, себебі ГОСТ 530-95 талап ететін 42-55% бос құрамы шикізаттың сапасының төмендігіне және заманауи өңдеу жабдықтарының болмауына байланысты қол жеткізу мүмкін емес. Сондықтан, жоғары физикалық және механикалық қасиеттері бар керамикалық қабырға бұйымдарын зертханалық-технологиялық және тәжірибелік-конструкторлық сынақтан өткізуде айтарлықтай тәжірибесі бар отандық ғылыми мектеп жүргізген зерттеулердің нәтижелері талданды. [11]

Құрылыс материалдары, атап айтқанда, тиімді кеуекті және жоғары кеуекті керамикалық материалдар саласындағы теориялық және практикалық зерттеулер іргелі еңбектерге негізделген /11-18/.

Тиімді керамикалық қабырға материалдарын әзірлеу кеуекті немесе қуыс өнімдер саласында зерттелген, бірақ қуыс-кеуекті өнімдерді өндіру мәселесі сирек қарастырылған немесе шешілген. Сонымен қатар, шикізат партиясына кеуек түзетін қоспаларды енгізу ең аз орташа тығыздығы 750 кг/м³ дейін және ең жоғары кеуектілігі 70%-ға дейін керамикалық қабырға өнімдерін өндіруге мүмкіндік береді. Дегенмен, кейбір зерттеулер партияға кеуек түзетін қоспаларды енгізу арқылы тиімді керамикалық материалдарды алу үшін зерттеулерде қолданылатын сазды шикізаттың сипаттамаларын бермейді, бұл олардың нәтижелерін қосымша сынақтарсыз пайдалануды қиындатады /19-24/. Әртүрлі құрамдағы және пластикалық сазды шикізатқа негізделген керамикалық қабырға материалдарының қасиеттеріне кеуек түзетін қоспалардың түрі мен құрамының әсерін жүйелі зерттеулер жеткіліксіз жан-жақты болды. Жанғыш қоспалардың көп мөлшері сынықтың беріктігін айтарлықтай төмендететіні анықталды. Сондықтан сынықтың беріктігін арттыру мәселесін бір мезгілде шешу қажет. Бұған әртүрлі әдістермен қол жеткізуге болады, оларды әдетте шикі қоспаның компоненттерін белсендіру әдістері деп анықтауға болады. Әртүрлі құрамдағы және пластикалық саз шикізатының механикалық белсендірілуінің қабырға материалы сынықтарының қалыптау, кептіру және күйдіру қасиеттеріне әсері жеткілікті түрде зерттелмеген.

Дегенмен, жоғары сапалы қуыс-кеуекті қабырға материалдары үшін қажетті беріктікке ие сынықтарды алу үшін сазды механикалық белсендіру жеткіліксіз. Бұл басқа әдістерді қолдануды талап етеді, олардың бірі – партияға химиялық қоспаларды енгізу, оны шикізаттың химиялық белсендірілуі деп анықтауға болады. Бірқатар зерттеулерді талдау қуыс-кеуекті керамикалық материалдардың физикалық және механикалық, әсіресе термофизикалық қасиеттерін жақсарту резервтерінің бірі олардың кеуекті кеңістігі мен құрылымының параметрлерін реттеу екенін көрсетті. Бұл мәселеге әдебиетте аз көңіл бөлінді. Өртүрлі саз балшықтарынан алынған керамикалық материалдардың кеуектілігінің құрамы мен технологиялық факторларының өзгеруімен өзгеру заңдылықтары анықталмаған. Кеуекті керамикалық өнімдердің физикалық, механикалық және пайдалану қасиеттеріне құрылымдық компоненттердің (кеуектер, шыны фаза, кристалды неоформациялар) әсері туралы деректер жеткіліксіз. Құрылымдық компоненттердің жылулық қасиеттерін анықтау және есептеу әдістемесі әзірленбеген, сондай-ақ олардың әзірленген материалдардан жасалған қоршаулардың жылулық қасиеттеріне әсері зерттелмеген. Бұл материалдардың жылулық қасиеттерінің өзгеруі мен олардың құрылымдық компоненттерінің арақатынасының өзгеруі арасындағы байланыс анықталмаған. Осыған байланысты, негізгі стандарт кірпіштің жылулық тиімділігінің маңыздылығын төмендететінін атап өткен жөн, себебі оны бағалауға ішінара тәсіл тек жылу өткізгіштік мәнімен көрінеді. Сондықтан, белгіленген жылу өткізгіштік мәні 25-35 болатын өнімдерді өндіру реттелуі керек.

Жеке зерттеулерде тұжырымдалған тиімді қабырға керамикасын өндіруге арналған саз шикізатына қойылатын талаптар бірмәнді емес және бір-бірінен ерекшеленеді. Шикізатты іріктеуге және олардың тиімді қуыс және қуыс кеуекті өнімдерді, әсіресе төмен тығыздықтағы (1000 кг/м³-ден аз) өнімдерді өндіруге жарамдылығын бағалауға арналған бірыңғай, ғылыми негізделген талаптар әзірленбеген. Дегенмен, әдебиет деректерін талдау және оны жалпылау бізге қуыс кеуекті керамикалық материалдарды өндіруге арналған негізгі шикізат параметрлері мен технологиясына қойылатын нақтыланған талаптарды алдын ала тұжырымдауға және белгілеуге мүмкіндік береді. Ұсынылған талаптар тізімі қуыс және қуыс кеуекті өнімдердің соңғы қасиеттерін реттеу мен болжаудың күрделілігін тағы да көрсетеді, олар бастапқы шикізат пара-

метрлеріне де, тандалған процесс жағдайларына да байланысты /36-40/.

Партияға бір уақытта жанғыш қоспаларды енгізу арқылы керамиканың орташа тығыздығын азайту оның беріктігін төмендетеді. Сондықтан, бұл беріктікті сақтау үшін нығайтқыш қоспаларды енгізу қажет. Сынықтың беріктігін және аязға төзімділігін арттыруға, шихтаның икемділігін, ауа мен отқа төзімділігін реттеуге, сондай-ақ шихтаға сілтілік және сілтілік жер металл оксидтері түріндегі ағындарды, сондай-ақ гальваникалық өндірістен (ЖЖМ) қалдықтарды және олардың кешендерін енгізу арқылы күйдіру температурасын, жылу өткізгіштігін және су сіңірілуін төмендетуге болатыны анықталды /41,42/. Беріктіктің 27-ден 71,2 МПа-ға дейін ең үлкен өсуі шихтаға Na құрамындағы қоспаларды немесе олардың кешендерін, соның ішінде өнеркәсіптік қалдықтарды енгізу арқылы қол жеткізіледі. Сонымен қатар, жеке Na құрамындағы қоспалардың да, олардың кешендерінің де әсерін жүйелі түрде зерттеу іс жүзінде жоқ.

Қатты өнеркәсіптік қалдықтарды қайта өңдеу

Қайта өңдеу және жою қиындықтары ең алдымен оның морфологиялық құрамының күрделілігімен байланысты. Адамның іс-әрекетінен пайда болған қатты қалдықтар гетерогенді қоспа болып табылады, оның құрамында әдетте қара және түсті емес металдар, қағаз және тоқыма компоненттері, сынған шыны, пластик, улы өсімдік қалдықтары, тастар, сүйектер, былғары, резеңке, ағаш, көше қалдықтары және т.б. бар.

Қалдықтардың бақылаусыз қоқыс полигондарына тасталуы қоршаған ортаға кері әсер ететінін, жер асты суларын, жер үсті суларын, атмосфералық ауаны және топырақты зиянды химиялық заттармен ластайтынын, бұл халықтың денсаулығы мен қауіпсіздігіне қауіп төндіретінін атап өткен жөн. Сондықтан қалдықтардан зиянды заттардың көршілес ортаға шығарылуын болдырмау қалдықтарды басқарудағы маңызды экологиялық қауіпсіздік мақсаты болып табылады.

Қайта өңдеудің бірнеше белгілі әдістері бар:

- Қоқыс полигондарын жою кезінде қалдықтардың биологиялық ыдырайтын бөлігін анаэробты түрде қорыту,
- Қалдықтардың биологиялық ыдырайтын бөлігін аэробты түрде қорыту (компосттау),
- Пиролиз,
- Газдандыру,
- Плазмалық өңдеу және арнайы пештерде жағу.

Қалдықтардың жалпы ағынының 90-95%-ы түсетін полигондардағы қалдықтарды қайта өңдеу технологиясы қалдықтардың органикалық бөлігінің өздігінен ыдырауына негізделген. Полигондарда қалдықтар қарқынды биохимиялық ыдырауға ұшырайды. Анаэробты жағдайлар тез дамиды, бұл органикалық заттардың биоконверсиясының микроорганизмдердің метаногендік қауымдастығының қатысуымен жүруіне мүмкіндік береді, бұл полигон газын немесе биогазды шығарады. Полигон газынан шығатын улы шығарындылар ұзақ қашықтыққа, негізінен басым жел бағытында таралуы мүмкін, сондай-ақ айналадағы өнеркәсіптік нысандардан шығатын шығарындылармен әрекеттесіп, экологиялық жағдайды нашарлатуы мүмкін. Осылайша, полигондарда көму экологиялық тұрғыдан қауіпті және экологиялық төлемдер, жер құны және оны қалпына келтіруді қаржыландыру қажеттілігі тұрғысынан экономикалық тұрғыдан тиімсіз.

Пиролиз технологиясын қолдана отырып, қалдықтарды жою жоғары температурада, оттегі шектеулі немесе оттегінің болмауы жағдайында қалдықтардың қайтымсыз химиялық түрленуін қамтиды, нәтижесінде тұтанатын пиролиз газының (пирогалардың) бөлінуі орын алады. Жанғыш қалдықтар массасына температураның әсер ету дәрежесіне байланысты пиролиз шартты түрде төмен температуралы (650°C дейін) және жоғары температуралы (650-900°C) болып бөлінеді. Реакторға шектеулі мөлшерде ауа мен су буы берілгенде, газдану жүреді.

Пиролиздің қалдықтарды тікелей жағудан артықшылығы, ең алдымен, қоршаған ортаның ластануының алдын алу болып табылады. Пиролиз шиналар, пластмассалар, пайдаланылған майлар және шлам сияқты қайта өңделмейтін қалдық компоненттерін қайта өңдей алады.

Пиролиз биологиялық белсенді заттарды қалдырмайды, сондықтан пиролиз қалдықтарын жер астында сақтау қоршаған ортаға зиян келтірмейді. Алынған күлдің тығыздығы жоғары,

бұл жер астында сақталуы керек қалдықтардың көлемін күрт азайтады.

Пиролиз ауыр металдарды (балқытылған) азайтпайды. Пиролиздің артықшылықтарына алынған өнімдерді сақтау мен тасымалдаудың қарапайымдылығы, сондай-ақ жабдықтың төмен қуат талаптары жатады.

Сонымен қатар, пиролизге (газдандыруға) жіберілетін қалдықтарды дайындауға қатаң талаптар қойылады, бұл қосымша қаржылық шығындарға әкеледі:

- қайта өңделмейтін компоненттерді (бетон, шыны, күм, тастар, керамика және т.б.) және жану өнімдерімен жанған кезде қоршаған ортаға теріс әсер ететін элементтерді (металдар, ПВХ негізіндегі өнімдер, автомобиль бөлшектері мен компоненттері, шамдар, хлор құрамдас заттар және т.б.) алу үшін қалдықтарды бөлу (сұрыптау);

- қалдықтарды кептіру;

- қалдықтарды алдын ала ұсақтау (массаны біртекті күйге дейін ұнтақтау).

Қатты қалдықтарды пиролиз арқылы өңдеу зауыттары Данияда, АҚШ-та, Германияда, Жапонияда және басқа елдерде жұмыс істейді. ЕО елдерінде пиролиз арқылы өңделген қалдықтарды дайындау құны өртүрлі. Бұл қатты қалдықтардың құрамындағы айтарлықтай айырмашылықтарға байланысты. Еуропада қалдықтарды бөлек жинау технологиялары бұрыннан қалыптасқан.

Сондықтан, Жапонияда, мысалы, Ресейде қалдықтарды дайындау үшін қарапайым ұсақтау қондырғысы жеткілікті болса, қалдықтарды дайындау жоғарыда сипатталған бірнеше кезеңде жүзеге асырылуы керек, бұл қосымша шығындарды талап етеді. Қатты қалдықтарды пиролиз арқылы өңдеу саласындағы ғылыми зерттеулер мен практикалық әзірлемелер 1970 жылдары басталды.

Содан бері пиролиз арқылы пластиктен, резеңкеден және басқа да жанғыш қалдықтардан энергия мен жылу өндіру энергия ресурстарының көзі болып саналды.

1-кесте – Өртүрлі қалдықтарды өңдеу технологияларының экономикалық тиімділігі

Индикаторлар	Технологии					
	1	2	3	4	5	6
	Жану	Компосттау	Сұрыптау + өртеу	Сұрыптау және компосттау	Күрделі өңдеу	Сұрыптау + тығыздау
Меншікті капитал салымы (1 тонна қатты қалдықтарға), АҚШ доллары/т	280	90	330	100	240	44
Жалпы пайдалану шығындары (1 тонна қатты қалдықтарға), USD/t	9,6	10	12,8	8,7	13,5	3,5

Индикаторлар	Технологии					
	1	2	3	4	5	6
	Жану	Компосттау	Сұрыптау + өртеу	Сұрыптау және компосттау	Күрделі өндеу	Сұрыптау + тығыздау
Қайта өңделмейтін фракция (жоюға жатады),%	30	30	15	55	8	60
Пайдаланылмайтын фракцияны жоюға жұмсалған жалпы шығындар, АҚШ доллары/т **	9	9	4,5	16,5	2,4	18
Амортизация деңгейі, %***	10	10	10	10	10	10
Капиталдық шығындардың төмендеуі, USD/t	28	9	33	10	24	4,4
Жалпы нақты шығындар, USD/t	46,6	28	50,3	35,2	39,9	25,9
1 тонна тұрмыстық қалдықтардан алынған өнімдердің жалпы сатылымы, АҚШ доллары/т	23,7	9,2	33,9	18,7	30,2	34
Технологиялардың экономикалық тиімділігі, АҚШ доллары/т	-22,9	-18,8	-16,4	-16,5	-9,7	8,1

* «Сұрыптау және тығыздау» технологиясы тек тұрғын емес қалдықтарды қайта өндеуге арналған.

** Қатты қалдықтарды жоюдың нақты құны тоннасына 30 АҚШ долларын құрайды деп есептеледі.

*** Амортизация мөлшерлемесі 10% деп есептеледі (барлық технологиялар үшін).

Экономикалық критерийлерге (нақты капиталдық, пайдалану және түзетілген шығындар, қалдықтардың қайта өңделмейтін бөлігін жоюға арналған нақты шығындар және 1 тонна қалдықтан алынған өнімді сатудан түскен пайда) негізделген қалдықтарды өндеудің негізгі әдістерін салыстырмалы сапалық бағалау (1-сурет) ҚТҚ-ны тікелей жағу және тікелей компосттауды қолданатын зауыттар салу экономикалық тұрғыдан ең аз тиімді екенін көрсетеді (ТМД тәжірибесі).

Экономикалық тұрғыдан алғанда, бөлінбеген қалдықтар ағындарын өндеу үшін біріктірілген техникалық шешімдер, әсіресе интеграцияланған қалдықтарды өндеу (сұрыптау, пиролиз және биоөндеудің үйлесімі) ең қолайлы болып табылады. Әр түрлі қалдықтарды өндеу технологияларының экономикалық тиімділігі келесідей: 1 – жағу; 2 – компосттау; 3 – сұрыптау + жағу; 4 – сұрыптау + компосттау; 5 – интеграцияланған өндеу; 6 – сұрыптау + тығыздау.

Дегенмен, қалдықтарды қабылдау тарифтерін ескермесек, бұл технологиялардың барлығы тиімсіз. Өзін-өзі қамтамасыз ететін жалғыз технология – тұрғын емес қалдықтар мен қайта

өңделетін материалдарды бөлек жинау және сұрыптау (мәселені шешудің бірінші кезеңі).

Төменде (2-кесте) сұрыптау процесінің қалдық материалдар ағындарын термиялық және биотермиялық өндеу сатылары арасында қайта бөлуге әсері көрсетілген, бұл техникалық тұрғыдан мүмкін және өндірістің экономикалық және экологиялық тиімділігін арттыруды қамтамасыз етеді (ашыту технологиясы шартты түрде отандық өнеркәсіп шығаратын биобарабандарды пайдалану үшін жасалған).

2-кестеден бастапқы қалдықтарды механикаландырылған сұрыптау нәтижесінде ашытуға жіберілген фракцияның өнімділігі бастапқының шамамен 57%-ын (жылына 305 күн жұмыс істегенде 137 140 т/жыл), ал жағуға жіберілген фракция шамамен 37%-ды (жылына 340 күн жұмыс істегенде 87 980 т/жыл) құрайды.

Ашыту өнімі қоспалардан тазартылғаннан кейін, ашытуға алынған материалдың шамамен 25%-ы қалдыққа айналады, бұл 305 күн жұмыс істегенде 34 285 тоннаны немесе сағатына 112,4 тоннаны құрайды. Бұл қалдықтар жағуға жіберіледі.

2-кесте – Қалдықтарды сұрыптау процесінің болжамды материалдық балансы (зауыт жылына 340 күн, тәулігіне 12 сағат жұмыс істейді, бастапқыда келесі қалдықтар қабылданды: жылына 240 000 тонна, тәулігіне 705 тонна, сағатына 60 тонна)

Өнімдердің атауы	Түпнұсқадағы мазмұн, %	Экстракция, %	Шығу		
			%	т/год	т/сут
Қара металл сынықтары (құрамында қалайы барларды қоса алғанда)	3.0	98	2.94	7056	20.75
Түсті емес металл сынықтары	0.5	80	0.4	960	2.82
Жеңіл фракция (жану үшін)	30.0	45	13.5	32400	95.29
Тоқыма компоненттері (жану үшін)	6.0	80	4.8	11520	33.88
Үлкен құрамдас бөліктер (жағу үшін)	2.0	90	1.8	4320	12.7
Балласт компоненттері (сынған әйнек, батареялар және басқа да қалдықтар)	7.0	40.0	2.8	6720	17.76
Ірі өлшемді фракциямен механикалық шығындар (жану үшін)	-	-	10.0	24000	70.58
Шығындар (ылғал, шаң)	-	-	0.06	144	0.42
Байытылған органикалық фракция (ашыту үшін)	-	-	63.7	152880	449.64
Ашыту қондырғысы жылына 305 күн жұмыс істеген кезде алған байытылған органикалық фракцияның нақты мөлшері	-	-	57.14	137140	449.64
Сұрыптау цехынан жағу үшін (барлығы 340 күн)			36.65	87980	258.76
Барлығы:	-	-	-	240000	705

Осылайша, термиялық өңдеу қондырғысы жылына 87 980 тонна (сұрыптау қондырғысынан) және жылына 34 285 тонна (ашыту қондырғысынан) алады, бұл жылына барлығы 122 265 тоннаны құрайды (тәулігіне 359,6 тонна немесе сағатына шамамен 15 тонна). Басқаша айтқанда, интеграцияланған өңдеу кезінде бастапқы қалдықтардың шамамен 50%-ы өртеледі (тікелей жағу технологиясын қолданған кезде 100%-дың орнына). Бұл өте қымбат жылу жабдықтарына деген қажеттілікті екі есеге азайтады.

Сол сияқты, ашыту қондырғысына орнату үшін биодамдарға деген қажеттілік азаяды. Осылайша, бастапқы қалдықтарды тікелей ашыту үшін сұрыптаусыз (CIS зауыттарындағы тәжірибе) жылына 240 мың тонна (үш ауысымдық жұмыспен тәулігіне 786,8 тонна, жылына 305 күн), диаметрі 4 м және ұзындығы 36 м (пайдалы көлемі 300 м³) 11 КМ101А биодамдарын орнату қажет болады. Интеграцияланған өңдеу технологиясын қолдана отырып, жылына 137 140 тонна байытылған қалдық фракциясы ашытуға жіберіледі, ал қондырғыға тек 6 биобарабан қажет ($449.6:71 = 6$), яғни екі есеге жуық аз (тіпті бастапқы қалдықтармен салыстырғанда байытылған фракцияның тығыздығының артуын ескерместен). Бұл қарапайым есептеу бастапқы

сұрыптаудың интеграцияланған қалдықтарды өңдеу процесіндегі дайындық кезеңі ретіндегі тиімділігін айқын көрсетеді (негізінен, интеграцияланған қалдықтарды өңдеу технологиясы әмбебап, себебі ол бастапқы қалдықтардың құрамына аз тәуелді).

Қалдық материал ағындарын қайта бөлу арқылы сұрыптау қымбат термиялық және биотермиялық жабдықтарға қажеттілікті 1,5-2 есеге азайтады. Сонымен қатар, сұрыптаудың өзіне жұмсалатын капиталдық шығындар термиялық және биоөңдеу шығындарының 8-15%-ынан аспайды.

Белгілі бір технологияны таңдауды ғылыми тұрғыдан негіздеу үшін тек экономикалық факторларды ғана емес, сонымен қатар экологиялық факторларды да ескеру қажет, себебі соңғы өңделген өнімдер мен өндіріс қалдықтары қоршаған ортаға зиян келтірмеуі керек (бағалы қалдық компоненттерін барынша пайдалану кезінде).

Қарастырылып отырған технологиялардың ішінде бастапқы қалдықтарды тікелей ашыту және тікелей жағу қоршаған ортаға ең үлкен әсер етеді.

Бастапқы қалдықтарды ешқандай дайындықсыз немесе өндеусіз тікелей жағуды қолдана отырып, жалпыеуропалық ауаның ластануына

қарсы эмиссия талаптарын сақтау шартымен, жылына 240 000 тонна қалдықты жағудан шығатын шығарынды газдың жылдық көлемі шамамен 900 миллион м³/жыл болады, ал шаң шығарындылары жылына 20 тоннадан аспайды, ал ауыр металдардың жалпы мөлшері жылына 4,5 тонна болады.

Негізгі улы компоненттер ретінде ауыр металдардың шығарындыларын қалдықтарды қара және түсті металдарды бөлу үшін алдын ала сұрыптау арқылы азайтуға болады. Халықаралық зерттеулерге сәйкес, қалдықтарды алдын ала сұрыптау шығарынды газдарындағы ауыр металдардың мөлшерін айтарлықтай азайтады және улы шығарындыларды азайтудың маңызды негізгі шарасы болып табылады.

Біріктірілген «сұрыптау + жағу» процесімен жылына шамамен 200 000 тонна қалдық термиялық өңдеуге жіберіледі деп есептеледі. Бұл жағдайда жылына 750 миллион м³ көлемдегі түтін газдарындағы шаң шығарындылары 16 тоннадан аспайды, ал ауыр металл шығарындылары 500 кг-нан аспайды.

Тікелей қалдықтарды жағу технологиясын қолданған кезде, түтін газдарынан басқа, қож (жылына шамамен 55 000 тонна) және ұшатын күл (жылына шамамен 8000 тонна) да өндіріледі; қождың құрамындағы ауыр металл мөлшерінің жоғары болуына байланысты оны жою өте қиын. «Сұрыптау және жағу» технологиясын қолданғанда, қож мөлшері жылына 45 000 тоннаға дейін, ал күл 6500 тоннаға дейін азаяды, ал қожды өңдеу онша қиын емес.

Алдын ала сұрыптаусыз және дайындамай шикізат қалдықтары үшін тікелей ашыту технологиясын қолданудың басты кемшілігі – полигонға тастауға тура келетін қалдықтардың көп мөлшері (жылына кемінде 70 000 тонна) және дайын өнімнің сапасының өте төмендігі (оны өткізу қабілеті нашар, сату қиын және көптеген зерттеулерге сәйкес, ауыр металдардың жоғары деңгейін қамтиды). Ашыту өнімінің сапасын жақсарту ашыту алдында қалдықтарды сұрыптау технологиясын қолдану арқылы (сонымен қатар соңғы өнімнен қоспаларды кетірудің жетілдірілген технологиясы) жүзеге асырылады.

Қалдықтарды өңдеудің әрбір әдісінің кемшіліктері өнеркәсіптік технология қалдықтарды өңдеудің жеке әдістерін біріктіру қағидатына негізделген жағдайда азаяды.

Интеграцияланған қалдықтарды өңдеу технологиясын қолдана отырып, қалдықтар бастапқы қалдықтардан емес, негізінен металдар

алынған байытылған фракциясынан термиялық өңдеуден өтеді. Байытылған фракция бастапқы қалдықтардан екі есе аз салмақта болады. Бұл түтін газдарының қоршаған ортаға әсерін айтарлықтай азайтады: олардың көлемі жылына 450 миллион м³-ге дейін азаяды, ал жылдық шаң шығарындылары 10 тоннадан, ал ауыр металл шығарындылары 250 кг-нан аспайды (шын мәнінде, металл шығарындылары айтарлықтай төмен болады).

Түтін газдарын тазалау кезінде кешенді қалдықтарды өңдеу кезінде пайда болатын күл мөлшері жылына шамамен 4000 тоннаны құрайды. Бұл қалдық түрі улы, бірақ қазіргі уақытта оны тек көму үшін ғана емес, сонымен қатар кейіннен жою үшін де зиянсыз ету әдістері әзірленуде (мысалы, күлді жол құрылысында бетон қоспасы ретінде немесе жарылыс тазалау өнімдері үшін пайдалануға болатын инертті шыны қалдыққа өңдеу арқылы). Сонымен қатар, шаң шығарындыларын жоятын термиялық (пиролиз) технологиялар (ресейлік газдандыру технологиясы) қазірдің өзінде әзірленген.

Осылайша, өнеркәсіптік технологияларды қалдықтардың «қоршаған ортаға зиянсыздығына» (сапалық бағалау) негізделген екі параллель қатарға орналастыруға болады: пиролизді қолданатын және термиялық әдістері жоқ технологиялар.

Мысалы, ауаның ластануын болдырмау тұрғысынан тікелей ашыту технологиясы тиімдірек, бірақ ол көп мөлшерде қалдықтардың (30%) пайда болуымен байланысты. Сонымен қатар, интеграцияланған қалдықтарды өңдеу кезінде шығарылатын қалдықтардың мөлшері тек 3-8% құрайды, бірақ теориялық тұрғыдан өнеркәсіптік шығарындылардан бір реттік экологиялық қауіп бар. Осылайша, талдау интеграцияланған қалдықтарды өңдеу технологиясы қазіргі заманғы экономикалық және экологиялық талаптарға ең жақсы сәйкес келетінін көрсетеді. Барлық қалдықтарды өңдеу үшін бір әдісті немесе бір технологияны (мысалы, жағу) пайдалану ниеті шығындардың негізсіз өсуіне әкеледі және технологияның теріс қоршаған ортаға әсерін күшейтеді. Сонымен қатар, кейбір термиялық технологияларды (газдандыру, сұйық қабатта жағу) тек интеграцияланған қалдықтарды өңдеу схемаларында ғана енгізуге болады, себебі олар өңделетін шикізаттың құрамына, мөлшеріне және жылу құндылығына нақты талаптар қояды.

Негізінен минералды заттардан тұратын пайда болған қалдықтарды жою және өңдеу үшін

бірнеше өнеркәсіптік және өнеркәсіпке жақын технологиялар бар. Қалдықтардың құрамына аз тәуелді ең әмбебап әдіс – электрлік қайта балқыту, содан кейін шыныландыру.

Шыны тәрізді күйінде улы заттар бөлініп алынады және ұсақталғаннан кейін де шлактан ағып кетпейді. Электрлік қыздыру шлак ваннасындағы температураны (1400-1500°C) ұстап тұруды жеңілдетеді. Шыны тәрізді күйінде материалды қолданудың кең ауқымын табуға болады. VNIИТО мәліметтері бойынша, қалдықтарды электрлік балқытудан алынған шлак жоғары сапалы құрылыс материалдарына өңделуі мүмкін. Атап айтқанда, шлак тығыздығы 180-нен 250 кг/м³-ге дейінгі көлемді жылу оқшаулағышын немесе тығыздығы 900 кг/м³-ге дейінгі құрылымдық бетон үшін кеуекті агрегат өндіру үшін пайдаланылуы мүмкін (өндіріс технологиясы шлак ұнтағын қоспалармен түйіршіктеуге және содан кейін түйіршіктерді айналмалы пеште күйдіруге негізделген). Электрлік балқыту технологиясының дәстүрлі кемшілігі – жоғары энергия тұтыну – қалдықтардан энергия өндіретін қондырғы жағдайында маңызды мәселе емес.

Күйдірілмеген отқа төзімді өндіріс технологиясы ұшатын күлді қайта өңдеу үшін пайдаланылуы мүмкін. Бұл технология қалдықтарды жағу қондырғысының ұшатын күлін электр станциясының күлімен және фосфат байланыстырғыштарымен (атап айтқанда, ортофосфор қышқылымен) ұсақтауды, ұнтақтауды және араластыруды, кірпіштерді қалыптауды, оларды 300-400°C температурада термиялық өңдеуді және оларды осы температурада 4 сағат бойы ұстауды қамтиды. Новомосковскідегі отқа төзімді зауыттағы алғашқы пилоттық сынақтар көңіл көншітетін нәтижелер берді.

Қалдықтарды қайта өңдеудің бұл интеграцияланған технологиясы құрылыс материалдарын өндіру процесіне біріктірілген кезде іс жүзінде қалдықсыз болуы мүмкін. Байытылған қалдық фракцияларын әмбебап, экологиялық таза құрылыс материалдарына өңдеу жұмыстары Германия мен Канадада жүргізілуде (SEKUPLAN және Hydromex технологиялар). Осындай технология Ресейде академик М.В. Бирюковтың басшылығымен әзірленіп, сынақтан өткізілді.

Қалдықтарға келетін болсақ, технологияның мәні органикалық заттармен байытылған құрғақ, ұсақталған қалдық фракциясын минералды байланыстырғыштардың (бишофит және магнезит) ерітінділерімен өңдеуден және кейіннен

инъекциялық қалыптау, ыстық престеу немесе штамптау үшін қалыптауға болатын масса алу-дан тұрады. Массаны дайындау процесі барлық қалдық бөлшектерінің қапталуын қамтамасыз етеді, нәтижесінде отқа төзімді және биотұрақты экологиялық таза құрылыс материалдары алынады. Органикалық негіздегі құрылыс материалдарын өндіру қалдықтары аз (қалдықсыз) қалдықтарды өңдеу кешенін қамтамасыз ет

Қорытынды

Қалдықтарды қайта өңдеу және Ресейде және шетелде кеуекті құрылыс материалдарын өндіру оларды әзірлеу және енгізу келесі салаларда мүмкін екенін көрсетеді. Кірпіш сазды шикізат ретінде пайдаланатындарға құрылымдық (тығыздығы 900-1200 кг/м³) және құрылымдық-жылу оқшаулағыш (500-900 кг/м³) жоғары қуысты қуыс-кеуекті керамика, сондай-ақ тиімді заманауи көбіктенетін және үрлейтін агенттерді пайдаланатын жылу оқшаулағыш (100-500 кг/м³) газ және көбік түзетін керамика жатады. Кеңейтілген сазды шикізат ретінде пайдаланатындарға пиропластикалық балқыманың жылулық соққысы кезінде айтарлықтай кеңейетін технологияны қолдана отырып өндірілген жеңіл және ультра жеңіл ұяшықты керамикалық материалдар жатады. Сонымен қатар, қуыс-кеуекті керамикалық материалдарда қол жеткізуге болатын ең төменгі орташа тығыздығы 700-750 кг/м³ және жылу өткізгіштігі 0,15-0,18 Вт/(м²°C) көптеген аймақтар үшін құрылыста энергияны үнемдеу саясаты тереңдеген сайын қабылдануы мүмкін қатаң жылу кедергісі стандарттарына сәйкес келу үшін жеткіліксіз болуы мүмкін. Сондықтан материалтанушылар өз күш-жігерін озық және тиімді ұяшықты керамикалық материалдарды әзірлеуге және енгізуге бағыттауы керек.

Көбікті және газ-керамикалық материалдардың қуыс кеуекті қабырға керамикасына қарағанда маңызды артықшылығы – олардың жоғары кеуектілігі (95%-ға дейін), төмен орташа тығыздығы (100 кг/м³-ден бастап) және жылу өткізгіштігі (г) 0,06-дан 0,14 Вт/(м² °C-қа дейін). Бірқатар зерттеулер олардың жоғары аязға төзімділігін атап өтті – F200-ден жоғары. Оларды өндірудің дамуы келесі факторлармен тежеледі: көбік, газ және кеуекті керамика және күйдіру байланысындағы (ВОС) жеңіл бетон ұғымдарының нақты анықтамасының болмауы, бұл мәселе бойынша әдебиеттерде сәйкессіздіктер болғандықтан, олардың қасиеттерінің негізгі көрсеткіштерінің

негізгі стандартты мәндері әзірленбеген, оларды өндірудің теориялық және технологиялық негіздері жоқ, шикізат базасы және оларды таңдау талаптары әзірленбеген, оларды өндірудің құрамы мен технологиялық режимдері оңтайландырылмаған, технологиялық жабдықтардың бірқатар позицияларын әзірлеу қажет. Осы себепті, бүгінгі күнге дейін, бұл материалдардың жоғары физикалық және механикалық қасиеттеріне қарамастан, оларды өндіру кеңінен дамымаған.

Қолданыстағы зерттеулердің талдауы кеуекті және жоғары кеуекті керамикалық материалдардың физикалық, механикалық және әсіресе термофизикалық қасиеттерін жақсартудың резервтерінің бірі олардың құрылымы мен кеуектілігін реттеу екенін көрсетті. Бұл мәселеге әдебиетте жеткілікті көңіл бөлінбеді және жүйелі зерттеулер жүргізілген жоқ. Әртүрлі саз балшықтардан алынған тиімді керамикалық материалдардың кеуектілігін олардың құрамы мен

технологиялық факторларын өзгерту арқылы реттеу мүмкіндігі анықталмаған. Құрылымның, әсіресе құрылымдық компоненттердің (кеуектер, кристалдық неоформациялар және шыны фаза) кеуекті және жоғары кеуекті керамикалық өнімдердің физикалық, механикалық және пайдалану қасиеттеріне әсері туралы деректер жеткіліксіз. Құрылымдық компоненттердің термофизикалық қасиеттерін анықтау және есептеу үшін бастапқы деректер жоқ және әдістеме әзірленбеген, сондай-ақ олардың әзірленген материалдардан жасалған қоршаулардың термофизикалық қасиеттеріне әсері зерттелмеген. Бұл материалдардың термофизикалық қасиеттерінің өзгеруінің олардың құрылымдық компоненттерінің арақатынасының өзгеруіне тәуелділігі анықталмаған.

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (№ BR27199117).

Әдебиеттер

1. Тұрмыстық қалдықтарды басқару [Электронды ресурс] <http://astana.gov.kz/ru/modules/material/9536>
2. Малышевский А.Ф. Қалалық қатты қалдықтарды жоюдың оңтайлы әдісін таңдаудың негіздемесі – Мәскеу, 2012. – 1-27 беттер.
3. Шубов Л. Я., Голубин А.К., Девяткин В.В., Погадаев С.В. Қалалық қатты қалдықтарды басқару тұжырымдамасы. – Мәскеу, 2000. – 5 бет.
4. Дамушы елдердегі қалалар үшін қатты қалдықтарды басқарудағы қиындықтар / Лилиана Абарка Герреро, Гер Маас, Уильям Хогландб, // Қалдықтармен басқару. Шолу, 33-том, 1-шығаарылым, 2013 жылғы қаңтар, 220–232 беттер.
5. Қатты қалдықтарды өңдеудің заманауи шешімдері [Электронды ресурс] URL мекенжайы: <http://recyclers.ru/modules/section/item.php?itemid=>
6. Крутилин А. А., Акчурин Т. К. Тиімді керамикалық материалдарды өндіру үшін саз шикізатының өндірістік қабілеттілігін арттыру // Вести. ВолгГАСУ: Құрылыс және сәулет. 2010. № 19 (38). Б. 105 – 108.
7. Крутилин А. А., Акчурин Т. К. Тиімді керамикалық материалдарды өндіру үшін саз шикізатының өндірістік қабілеттілігін арттыру // Вести. ВолгГАСУ: Құрылыс және сәулет. 2010. № 19 (38). Б. 105-108.
8. Крутилин А. А., Акчурин Т. К. Құрылыс керамикасының композицияларында техногендік шикізатты пайдалану – керамикалық шикізаттың отандық базасының өзекті міндеті // Аймақтың құрылыс кешенін дамытудың әлеуметтік-экономикалық және технологиялық мәселелері. Ғылым. Тәжірибе. Білім беру: III Бүкілресейлік ғылыми-техникалық конференция материалдары, Волгоград – Михайловка, 2009 жылғы 22-23 қазан. Волгоград: ВолгГАСУ баспасы, 2009. 78-80 беттер.
9. Скрипникова Н. К., Коняхин Г. В., Соколова С. Н. Кузбасстың Гурьев саздарының жұқа және құрылыс керамикасын өндіруге жарамдылығын бағалау / Құрылыс материалдары. – 2004. – № 1. – 25-26 беттер.
10. Патенттік өтінім № 2004105341/03 басымдығы 24.22.2004 IPC C 04. Құрылыс өнімдерін өндіруге арналған шикізат қоспасы // Коняхин Г.В., Верещагин В.И., Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К.
11. Габидуллин М.Г. «Құрылым» бағдарламалық пакетін пайдаланып, керамикалық құрылыс материалдарының кеуектерін зерттеу / М.Г. Габидуллин, Р.З. Рахимов, А.В. Темляков // Құрылыс материалдары – 2005 – А17 – С 50-53
12. Габидуллин М.Г. Кеуекті керамиканың құрылымы мен термофизикалық қасиеттерінің арасындағы байланыс / М.Г. Габидуллин, Р.А. Каюмов, Р.З. Рахимов, А.В. Темляков // Құрылыс материалдары – 2005 – № 9 – 62-65 беттер
13. Габидуллин М.Г. Жұмыс ылғалдылығы жағдайында кеуекті керамиканың мінез-құлқын модельдеу 1-бөлім / М.Г. Габидуллин // Отқа төзімділер «Техникалық керамика – 2006 – № 6 – 21-31 беттер
14. М.Г. Габидуллин, Р.М. Гильфанов, Р.З. Рахимов Кеуекті-шыны фазалық-кристалды жаңа түзілімдер жүйесіндегі кеуекті керамикалық дененің құрылымын анықтау және көрсету әдістемесі / // Отқа төзімділер және техникалық керамика – 2005 – № 9 – 20-32 беттер
15. М.Г. Габидуллин, Р.З. Рахимов Кеуекті керамиканың жылу кедергісіне кеуекті өлшемнің әсері//Құрылыс материалдар–2005 –№11 –Р49-51

16. М.Г. Габидуллин, Р.З. Рахимов, Р.М. Гильфанов Дәстүрлі керамзиттің сапасының төмен болу себептерін талдау және әсіресе жеңіл сфералық керамзит өндірудің технологиялық принциптерін әзірлеу 1-бөлім // 21 ғасырдың құрылыс материалдары, жабдықтары, технологиялары – 2005 – №9 – P62-64
17. М.Г. Габидуллин, Р.З. Рахимов, Р.М. Гильфанов Дәстүрлі керамзиттің сапасының төмен болу себептерін талдау және әсіресе жеңіл сфералық керамзит өндірудің технологиялық принциптерін әзірлеу 2-бөлім // 21 ғасырдың құрылыс материалдары, жабдықтары, технологиялары -2005 -№10 -P56-57
18. М.Г. Габидуллин Дәстүрлі керамзиттің сапасының төмен болу себептерін талдау және әсіресе жеңіл сфералық керамзит өндірудің технологиялық принциптерін әзірлеу 3-бөлім / М.Г. Габидуллин, Р.З. Рахимов, Р.М. Гильфанов // XXI ғасырдың құрылыс материалдары, жабдықтары, технологиялары – 2005 – №11 – P 78-80
19. М.Г. Габидуллин, Р.З. Рахимов, В.П. Морозов Жанғыш қоспаларды енгізу арқылы кеуектілігін реттеу арқылы алынған тиімді қабырға керамикасы сынығының құрылымын модельдеу // Ресурстарды және энергияны үнемдеу сәулет-құрылыс процесінде шығармашылыққа түрткі ретінде Ресей сәулет және құрылыс ғылымдары академиясының жыл сайынғы жиналысының еңбектер жинағы – Мәскеу-Қазан, 2003 – 362-366 беттер
20. Р.З. Рахимов, М.Г. Габидуллин, В.П. Морозов Красногорск сазына негізделген керамикалық сынықтың кеуектілігінің сипатына өсімдік тектес жанғыш қоспалардың әсерін зерттеу // Қазіргі құрылыстың өзекті мәселелері XXXI Бүкілресейлік ғылыми-техникалық конференциясының ғылыми мақалалар жинағы. 1-бөлім Құрылыс материалдары мен бұйымдары -Пет., 2003 -39-42 беттер
21. Габидуллин М.Г. Кеуекті керамиканың жаңа түрлері және олардың құрылымын модельдеу // Құрылыс материалдары мен құрылыс индустриясы саласындағы заманауи технологиялар В.Г.-ның 150 жылдығына арналған Халықаралық конгресс материалдары Шухов 2-бөлім – Белгород, 2003 – 67-73 беттер
22. М.Г. Габидуллин, И.Х. Киямов, А.В. Темляков, А.Р. Хузагарипов Жаңа «Құрылым» ПК көмегімен тиімді қабырға материалдарының кеуек құрылымын зерттеу // ҚазБСҚА хабаршысы -Қазан -2005 – №3 -84-88 беттер
23. М.Г. Габидуллин Na- және Al құрамды қоспалардың қатысуымен кеуекті құрылыс керамикасының жаңа түрлерінің құрылымын қалыптастыру // Керамикалық материалдарды өндіру және қолдану Ғылыми-практикалық конференция материалдары – Мәскеу, 2003 – 141-143 беттер
24. Габидуллин М.Г. Na- және Al құрамды қоспалармен модификацияланған дәстүрлі кірпіш-черепица және кеңейтілген саз балшықтарына негізделген кеуекті құрылыс керамикасының жаңа түрлері // Керамикалық материалдарды өндіру және қолдану Ғылыми-практикалық конференция материалдары – Мәскеу, 2003 – 144-146 беттер
25. И.Б. Ревва, О.А. Березовская Ғимараттарға арналған қорғаныс және сәндік жабындар Батыс Сібірдің табиғи шикізатына негізделген керамика. // Қазіргі заманғы инженерия және технология: студенттердің, магистранттардың және жас ғалымдардың VIII халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары, – Томск, 2002. – 135-137 беттер.
26. И.Б. Ревва, О.А. Березовская, Т.В. Бакалова Жергілікті шикізаттан керамикалық кірпішті қаптау. // Геология және жер қойнауын игеру мәселелері: Академик М.А. Усов атындағы VI халықаралық ғылыми симпозиум материалдары. – Томск, 2002, – 522-523 беттер.
27. Т.В. Бакалова, И.Б. Ревва Қасбеттік құрылыс керамикасы технологиясындағы қорғаныс және сәндік жабындар // Құрылыс және білім беру. Оксид-силикат материалдарының физика-химиясы және технологиясы: Орал ғылыми-практикалық конференциясының ғылыми мақалалар жинағы. – Екатеринбург, 2003. – 154-156 беттер.
28. И.Б. Ревва, Т.В. Вакалова Құрылыс керамикасына арналған ангобтар Сібір аймағының табиғи шикізаты// Геология және жер қойнауын игеру мәселелері: академик М.А. Усов атындағы VII халықаралық ғылыми симпозиум материалдары. – Томск, 2003, – 816-818 беттер.
29. Т.В. Вакалова, И.Б. Ревва Керамикалық кірпіш бетіндегі жарқыраудың пайда болу себептері және оны жою әдістері // Керамикалық материалдар: өндіру және қолдану: V Бүкілресейлік ғылыми-практикалық конференция, – Мәскеу, 2003. – 78-79 беттер.
30. И.Б. Ревва, О.В. Новикова. Т.В. Вакалова Құрылыс керамикасын өндіру үшін дәстүрлі емес табиғи шикізатты пайдалану // Заманауи жабдықтар мен технологиялар: студенттердің, аспиранттардың және жас ғалымдардың X мерейтойлық халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары, – Томск, 2004, – 82-84 беттер.
31. И.Б. Ревва, Т.В. Бакалова Керамикалық кірпіштің сапасын жақсартудың технологиялық әдістері // НГАСУ (СИБСТ-РИН) 61-ші ғылыми-техникалық конференциясының баяндамалар жинағы. – Новосибирск, 2004. – 19-20 беттер.
32. Т.В. Бакалова, В.М. Погребенков, И.Б. Ревва. Керамикалық кірпіш технологиясында пайда болу себептері және гүлденуді жою әдістері. // Құрылыс материалдары. – 2004. – № 2. – 30-31 беттер.
33. И.Б. Ревва, О.В. Новикова, Т.В. Бакалова Керамикалық кірпіш технологиясында жылу электр станциясының күлін пайдаланудың перспективалары. // Геология және жер қойнауын игеру мәселелері: Академик М.А. Усов атындағы VIII халықаралық ғылыми симпозиум материалдары. – Томск, 2004. – 882-884 беттер.
34. И.Б. Ревва, Т.В. Бакалова. Күл микросфераларын пайдаланатын құрылыс керамикасы // Ғасырлар тоғысындағы химия және химиялық технология: II Бүкілресейлік ғылыми конференция материалдары. – Томск, 2002, – 40-41 беттер.
35. И.Б. Ревва, Т.В. Бакалова, В.М. Погребенков. Кептіру кезінде керамикалық массалардың мінез-құлқын реттеудің технологиялық әдістері // Құрылыс материалдары. – 2005. – № 2. – 56-58 беттер.
36. Бондарук А.Г. Опока тәрізді жыныстардың карбонатты түрлеріне негізделген қабырға керамикасы: PhD диссертациясының аннотациясы. ғылымдар. – Ростов-на-Дону, 2010. 20 б.

37. Ашмарин А.Г., Власов А.С. Цеолит бар саз шикізатынан жасалған керамикалық қабырға материалдары // Шыны және керамика. – 2005. – №10. – 14-16 беттер.
38. Ашмарин А.Г., Власов А.С. Цеолит құрамды саз шикізатына негізделген керамикалық қабырға материалдары // Құрылыс материалдары. 2010. – №4. – 44-46 беттер.
39. Салахов А.М., Морозов В.П., Туктарова Г.Р. Құрылыс керамикасын өндіру технологиясын жетілдіру және өнім түрлерін кеңейту // Шыны және керамика. 2005. – №3. – 1821 бет.
40. Құрылыс материалдары / Проф. Микульский В.Г. және проф. Козлов В.В. жалпы редакциясымен. Мәскеу: Құрылыс университеттері қауымдастығының баспа үйі, 2004. – 536 бет.
41. Роулинг Р.Д., Ву Дж.П., Боккаччини А.Р. Шыны керамикасы: қалдықтардан оларды өндіруге шолу // Материалтану журналы. – 2006. – Т. 41.-Б. 733-761.
42. Өнеркәсіптік қалдықтардан жасалған құрылыс материалдары / Дворкин Л.И., Дворкин О. Ростов қаласы / Д: Феникс, 2007. – 368 б.
43. Әбдірахимов В.З. Қатты тұзды шлактар мен сұйық шыны негізіндегі жылу оқшаулағыш материалдың фазалық құрамын зерттеу // Университеттер жаңалықтары. Құрылыс. 2008. – № 11-12. – Б. 33-39.
44. Әбдірахимов В.З., Әбдірахимова Е.С. Металлургия және энергетика кәсіпорындарының техногендік шикізатын керамикалық материалдар өндірісіндегі функционалдық жарамдылығына қарай жіктеу // Университеттер жаңалықтары. Құрылыс. 2006. – № 1. – Б. 36-39.
45. Әбдірахимов В.З. Темір құрамдас шлақтың керамикалық кірпіштің кеуектілік құрылымына әсері // Жоғары оқу орындарының хабаршысы. Құрылыс. 2006. – № 1. – Б. 36-39.
46. Евтушенко Е.И. Құрылыс материалдарын өндірудегі техногендік қалдықтардың қасиеттерінің тұрақсыздығын есепке алу // В.Г. Шухов атындағы БМТУ хабаршысы. 2004. – № 8. – Б. 143-145.
47. Лесовик В.С., Евтушенко Е.И. Жасанды шикізат негізінде құрылыс материалдарының қасиеттерін тұрақтандыру // Жоғары оқу орындарының хабаршысы. Құрылыс. 2002. – № 12. – Б. 40-44.
48. Керамика технологиясының теориялық негіздері: оқу құралы / И.Б. Пантелеев, Л.В. Козловский; Санкт-Петербург: СПбГШТУ), 2012.-114 б.
49. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Құрылыс материалдары. Мәскеу: Стройиздат, 1986. – 688 б.
50. Сватовская Л.Б., Масленникова Л.Л., Славина А.М. және т.б. Керамикалық кірпіш өндіруге арналған қоспа // Ресей Федерациясының патенті № 2412131. 20 ақпан 2011 жылы жарияланған.
51. Әбдірахимова Е.С., Әбдірахимов В.З. Керамикалық кірпіш өндіруге арналған керамикалық масса // Ресей Федерациясының патенті № 2310626. 20 қараша 2007

References

1. Upravlenie bytovymi otkhodami [Elektronnyi resurs]. <http://astana.gov.kz/ru/modules/material/9536>
2. Malyshevskii A.F. Obosnovanie vybora optimalnogo metoda utilizatsii gorodskikh tverdykh otkhodov. – Moskva, 2012. – S. 1–27.
3. Shubov L.Ya., Golubin A.K., Devyatkin V.V., Pogadaev S.V. Kontseptsiya upravleniya gorodskimi tverdymi otkhodami. – Moskva, 2000. – 5 s.
4. Trudnosti upravleniya tverdymi otkhodami dlya gorodov razvivayushchikhsya stran / Liliana Abarka Gerrero, Ger Maas, Uil'yam Khogland // Upravlenie otkhodami. Obzor. – T. 33, vyp. 1. – Yanvar' 2013. – S. 220–232.
5. Sovremennye resheniya po pererabotke tverdykh otkhodov [Elektronnyi resurs]. URL: <http://recyclers.ru/modules/section/item.php?itemid=>
6. Krutilin A.A., Akchurin T.K. Povyshenie tekhnologicheskoi prigodnosti glinistogo syr'ya dlya proizvodstva effektivnykh keramicheskikh materialov // Vesti VolgGASU: Stroitel'stvo i arkhitektura. – 2010. – №19 (38). – S. 105–108.
7. Krutilin A.A., Akchurin T.K. Povyshenie tekhnologicheskoi prigodnosti glinistogo syr'ya dlya proizvodstva effektivnykh keramicheskikh materialov // Vesti VolgGASU: Stroitel'stvo i arkhitektura. – 2010. – №19 (38). – S. 105–108.
8. Krutilin A.A., Akchurin T.K. Ispol'zovanie tekhnogenogo syr'ya v kompozitsiyakh stroitel'noi keramiki – aktual'naya zadacha otechestvennoi bazy keramicheskogo syr'ya // Sotsial'no-ekonomicheskie i tekhnologicheskie problemy razvitiya stroitel'nogo kompleksa regiona. Nauka. Praktika. Obrazovanie: materialy III Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Volgograd–Mikhailovka, 22–23 oktyabrya 2009 g. – Volgograd: Izd-vo VolgGASU, 2009. – S. 78–80.
9. Skripnikova N.K., Konyakhin G.V., Sokolova S.N. Otsenka prigodnosti gur'evskikh glin Kuzbassa dlya proizvodstva tonkoi i stroitel'noi keramiki // Stroitel'nye materialy. – 2004. – №1. – S. 25–26.
10. Patentnaya zayavka № 2004105341/03, prioritet 24.02.2004, MPK C04. Syr'evaya smes' dlya proizvodstva stroitel'nykh izdelii // Konyakhin G.V., Vereshchagin V.I., Volokitin G.G., Skripnikova N.K.
11. Gabidullin M.G., Rakhimov R.Z., Temlyakov A.V. Issledovanie poristoi struktury keramicheskikh stroitel'nykh materialov s ispol'zovaniem programmnogo kompleksa «Struktura» // Stroitel'nye materialy. – 2005. – №17. – S. 50–53.
12. Gabidullin M.G., Kayumov R.A., Rakhimov R.Z., Temlyakov A.V. Svyaz' mezhdu strukturoi i termofizicheskimi svoystvami poristoi keramiki // Stroitel'nye materialy. – 2005. – №9. – S. 62–65.
13. Gabidullin M.G. Modelirovanie povedeniya poristoi keramiki v usloviyakh ekspluatatsionnoi vlazhnosti. Chast' 1 // Ogneupory i tekhnicheskaya keramika. – 2006. – №6. – S. 21–31.

14. Gabidullin M.G., Gil'fanov R.M., Rakhimov R.Z. Metodika opredeleniya i vizualizatsii struktury poristogo keramicheskogo tela v sisteme poristo-steklofazno-kristallicheskikh novoobrazovaniy // *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika*. – 2005. – №9. – S. 20–32.
15. Gabidullin M.G., Rakhimov R.Z. Vliyanie razmera por na teplovoe soprotivlenie poristoi keramiki // *Stroitel'nye materialy*. – 2005. – №11. – S. 49–51.
16. Gabidullin M.G., Rakhimov R.Z., Gil'fanov R.M. Analiz prichin nizkogo kachestva traditsionnogo keramzita i razrabotka tekhnologicheskikh printsipov proizvodstva legkogo sfericheskogo keramzita. Chast' 1 // *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. – 2005. – №9. – S. 62–64.
17. Gabidullin M.G., Rakhimov R.Z., Gil'fanov R.M. ... Chast' 2 // *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. – 2005. – №10. – S. 56–57.
18. Gabidullin M.G., Rakhimov R.Z., Gil'fanov R.M. ... Chast' 3 // *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. – 2005. – №11. – S. 78–80.
19. Gabidullin M.G., Rakhimov R.Z., Morozov V.P. Modelirovanie struktury cherepka effektivnoi stenovoi keramiki, poluchennoi regulirovaniem poristosti putem vvedeniya vygorayushchikh dobavok // *Sbornik trudov ezhegodnogo sobraniya Rossiiskoi akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk: «Resursosberezhenie i energosberezhenie kak stimul k tvorchestvu v arkhitekturno-stroitel'nom protsesse»*. – Moskva–Kazan', 2003. – S. 362–366.
20. Rakhimov R.Z., Gabidullin M.G., Morozov V.P. Issledovanie vliyaniya vygorayushchikh dobavok rastitel'nogo proiskhozhdeniya na kharakter poristosti keramicheskogo cherepka na osnove krasnogorskiikh glin // *Aktual'nye problemy sovremennoho stroitel'stva: sbornik nauchnykh statei XXXII Vserossiiskoi NTK. Ch. 1: Stroitel'nye materialy i izdeliya*. – Spb., 2003. – S. 39–42.
21. Gabidullin M.G. Novye vidy poristoi keramiki i modelirovanie ikh struktury // *Sovremennye tekhnologii v oblasti stroitel'nykh materialov i stroitel'noi industrii: materialy Mezhdunarodnogo kongressa, posvyashchennogo 150-letiyu V.G. Shukhova. Ch. 2*. – Belgorod, 2003. – S. 67–73.
22. Gabidullin M.G., Kiyamov I.Kh., Temlyakov A.V., Khuzagaripov A.R. Issledovanie porovoi struktury effektivnykh stenovykh materialov s ispol'zovaniem novogo PK «Struktura» // *Vestnik KazBSA*. – Kazan', 2005. – №3. – S. 84–88.
23. Gabidullin M.G. Formirovanie struktury novykh vidov poristoi stroitel'noi keramiki pri uchastii Na- i Al-soderzhashchikh dobavok // *Proizvodstvo i primeneniye keramicheskikh materialov: materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii*. – Moskva, 2003. – S. 141–143.
24. Gabidullin M.G. Novye vidy poristoi stroitel'noi keramiki na osnove traditsionnykh kirpichno-cherepichnykh i keramzitovykh glin, modifitsirovannykh Na- i Al-soderzhashchimi dobavkami // *Proizvodstvo i primeneniye keramicheskikh materialov: materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii*. – Moskva, 2003. – S. 144–146.
25. Revva I.B., Berezovskaya O.A. Zashchitno-dekorativnye pokrytiya dlya zdaniy. Keramika na osnove prirodnogo syr'ya Zapadnoi Sibiri // *Sovremennaya inzheneriya i tekhnologiya: materialy VIII Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. studentov, magistrantov i molodykh uchenykh*. – Tomsk, 2002. – S. 135–137.
26. Revva I.B., Berezovskaya O.A., Bakalova T.V. Oblitovka keramicheskogo kirpicha iz mestnogo syr'ya // *Problemy geologii i osvoeniya nedr: materialy VI Mezhdunar. nauchnogo simpoziuma im. akad. M.A. Usova*. – Tomsk, 2002. – S. 522–523.
27. Bakalova T.V., Revva I.B. Zashchitno-dekorativnye pokrytiya v tekhnologii fasadnoi stroitel'noi keramiki // *Stroitel'stvo i obrazovanie. Fiziko-khimiya i tekhnologiya oksidno-silikatnykh materialov: sbornik nauchnykh statei Ural'skoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. – Ekaterinburg, 2003. – S. 154–156.
28. Revva I.B., Vakalova T.V. Angoby dlya stroitel'noi keramiki na osnove prirodnogo syr'ya Sibirskogo regiona // *Problemy geologii i osvoeniya nedr: materialy VII Mezhdunar. simpoziuma im. akad. M.A. Usova*. – Tomsk, 2003. – S. 816–818.
29. Vakalova T.V., Revva I.B. Prichiny poyavleniya glyantsa na poverkhnosti keramicheskogo kirpicha i sposoby ego ustraneniya // *Keramicheskie materialy: proizvodstvo i primeneniye: V Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. – Moskva, 2003. – S. 78–79.
30. Revva I.B., Novikova O.V., Vakalova T.V. Ispol'zovanie netraditsionnogo prirodnogo syr'ya dlya proizvodstva stroitel'noi keramiki // *Sovremennoe oborudovanie i tekhnologii: materialy X yubileinoi Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*. – Tomsk, 2004. – S. 82–84.
31. Revva I.B., Bakalova T.V. Tekhnologicheskie metody povysheniya kachestva keramicheskogo kirpicha // *Sbornik dokladov 61-i nauchno-tekhnicheskoi konferentsii NGASU (SIBSTRIN)*. – Novosibirsk, 2004. – S. 19–20.
32. Bakalova T.V., Pogrebenkov V.M., Revva I.B. Prichiny poyavleniya i metody ustraneniya vysokolov v tekhnologii keramicheskogo kirpicha // *Stroitel'nye materialy*. – 2004. – №2. – S. 30–31.
33. Revva I.B., Novikova O.V., Bakalova T.V. Perspektivy ispol'zovaniya zoly TES v tekhnologii keramicheskogo kirpicha // *Problemy geologii i osvoeniya nedr: materialy VIII Mezhdunar. simpoziuma im. akad. M.A. Usova*. – Tomsk, 2004. – S. 882–884.
34. Revva I.B., Bakalova T.V. Stroitel'naya keramika s ispol'zovaniem zolomikrosfer // *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya na rubezhe vekov: materialy II Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii*. – Tomsk, 2002. – S. 40–41.
35. Revva I.B., Bakalova T.V., Pogrebenkov V.M. Tekhnologicheskie metody regulirovaniya povedeniya keramicheskikh mass pri sushke // *Stroitel'nye materialy*. – 2005. – №2. – S. 56–58.
36. Bondaruk A.G. Stenovaya keramika na osnove karbonatnykh raznovidnostei opokovidnykh porod: avtoref. dis. ... kand. nauk (PhD). – Rostov-na-Donu, 2010. – 20 s.

37. Ashmarin A.G., Vlasov A.S. Keramicheskie stenovye materialy iz glinistogo syr'ya s tseolitom // Steklo i keramika. – 2005. – №10. – S. 14–16.
38. Ashmarin A.G., Vlasov A.S. Keramicheskie stenovye materialy na osnove glinistogo syr'ya, soderzhashchego tseolit // Stroitel'nye materialy. – 2010. – №4. – S. 44–46.
39. Salakhov A.M., Morozov V.P., Tuktarova G.R. Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva stroitel'noi keramiki i rasshirenie assortimenta produktsii // Steklo i keramika. – 2005. – №3. – S. 18–21.
40. Stroitel'nye materialy / pod obshch. red. prof. Mikul'skogo V.G. i prof. Kozlova V.V. – Moskva: Izdatel'skii dom Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2004. – 536 s.
41. Roulings R.D., Vu Dzh.P., Bokkachchini A.R. Steklokeramika: obzor polucheniya iz otkhodov // Zhurnal materialovedeniya. – 2006. – T. 41. – S. 733–761.
42. Stroitel'nye materialy iz promyshlennykh otkhodov / Dvorkin L.I., Dvorkin O. – Rostov-na-Donu: Feniks, 2007. – 368 s.
43. Abdrakhimov V.Z. Issledovanie fazovogo sostava teploizolyatsionnogo materiala na osnove tverdykh solevykh shlakov i zhidkogo stekla // Novosti universitetov. Stroitel'stvo. – 2008. – №11–12. – S. 33–39.
44. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Klassifikatsiya tekhnogennogo syr'ya metallurgicheskikh i energeticheskikh predpriyatii po funktsional'noi prigodnosti v proizvodstve keramicheskikh materialov // Novosti universitetov. Stroitel'stvo. – 2006. – №1. – S. 36–39.
45. Abdrakhimov V.Z. Vliyaniye zhelezosoderzhashchego shlaka na poristuyu strukturu keramicheskogo kirpicha // Vestnik vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo. – 2006. – №1. – S. 36–39.
46. Evtushenko E.I. Uchet nestabil'nosti svoystv tekhnogennykh otkhodov pri proizvodstve stroitel'nykh materialov // Vestnik MGTU im. V.G. Shukhova. – 2004. – №8. – S. 143–145.
47. Lesovik V.S., Evtushenko E.I. Stabilizatsiya svoystv stroitel'nykh materialov na osnove iskusstvennogo syr'ya // Vestnik vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo. – 2002. – №12. – S. 40–44.
48. Teoreticheskie osnovy tekhnologii keramiki: uchebnoe posobie / I.B. Panteleev, L.V. Kozlovskii. – Sankt-Peterburg: SPbGSHTU, 2012. – 114 s.
49. Gorchakov G.I., Bazhenov Yu.M. Stroitel'nye materialy. – Moskva: Stroizdat, 1986. – 688 s.
50. Svatovskaya L.B., Maslennikova L.L., Slavina A.M. i dr. Smes' dlya proizvodstva keramicheskogo kirpicha // Patent RF №2412131, opublikovan 20 fevralya 2011 g.
51. Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Keramicheskaya massa dlya proizvodstva keramicheskogo kirpicha // Patent RF №2310626, opublikovan 20 noyabrya 2007 g.

Авторлар туралы мәлімет:

Головченко Ольга Юрьевна – химия ғылымдарының кандидаты, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің Физика-химиялық зерттеу әдістері зертханасының меңгерушісі (e-mail: teya290965@gmail.com).

Ақназаров Сестазер Хусайнович – химия ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан Ұлттық жаратылыстану ғылымдары академиясының академигі, «Жалын» ғылыми өндірістік-техникалық орталығы» ЖШС бас директоры (e-mail: sestager@mail.ru).

Байракова Ольга Степановна – химиялық инженер, аға ғылыми қызметкер, «Жалын» ғылыми-өндірістік-техникалық орталығы (e-mail: o.bayrakova@inbox.ru).

Бийсенбаев Махмут Ахмеджанович – х.ғ.к., жетекші ғылыми қызметкер, «Жалын» ғылыми өндірістік-техникалық орталығы (e-mail: bijisenbay@gmail.com).

Балтабай Асылым Асқарқызы – Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің химия және химиялық технология факультетінің докторанты (e-mail: asylym.baltabay@mail.ru).

Әділбаева Гүлназ Мақсұтовна – Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің химия және химиялық технология факультетінің докторанты (e-mail: asylym.baltabay@mail.ru).

Information about authors:

Golovchenko Olga Yuryevna – Candidate of Chemical Sciences, Head of the Laboratory of Physicochemical Research Methods, Al-Farabi Kazakh National University (e-mail: teya290965@gmail.com).

Aknazarov Sestager Khusainovich – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of the Kazakhstan National Academy of Natural Sciences, General Director of the Scientific Production and Technical Center «Zhalyn» (e-mail: sestager@mail.ru).

Olga Stepanovna Bayrakova – chemical engineer, senior researcher, Scientific Production and Technical Center «Zhalyn» (e-mail: o.bayrakova@inbox.ru).

Bijisenbaev Makhmut Akhmedzhanovich – Candidate of Chemical Sciences, leading researcher, Scientific Production and Technical Center «Zhalyn» (e-mail: bijisenbay@gmail.com)

Baltabay Asylym Askarkyzy – PhD student at the Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Al-Farabi Kazakh National University (e-mail: asylym.baltabay@mail.ru)

Adilbaeva Gulnaz Maksutovna – PhD student at the Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Al-Farabi Kazakh National University (e-mail: asylym.baltabay@mail.ru)

Информация об авторах:

Головченко Ольга Юрьевна – химия ғылымдарының кандидаты, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің Физика-химиялық зерттеу әдістері зертханасының меңгерушісі (электрондық пошта: teya290965@gmail.com)

Акназаров Сестагер Хусаинович - д.х.н., профессор, академик Казахской Национальной Академии Естественных Наук, Генеральный директор ТОО «Научный производственно-технический центр «Жалын» (электронная почта sestager@mail.ru)

Байракова Ольга Степановна - химик-технолог, старший научный сотрудник, Научный Производственно -Технический Центр «Жалын» (электронная почта o.bayrakova@inbox.ru)

Бийсенбаев Махмут Ахмеджанович - к.х.н., ведущий научный сотрудник, Научный Производственно -Технический Центр «Жалын» (электронная почта bijsenbay@gmail.com)

Балтабай Асылым Асқарқызы – докторант факультета химии и химической технологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (e-mail: asylym.baltabay@mail.ru)

Адилбаева Гульназ Максұтовна – докторант факультета химии и химической технологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (e-mail: asylym.baltabay@mail.ru)

Поступила 02 ноября 2025

Принята 25 декабря 2025

АВТОРЛАРҒА АРНАЛҒАН АҚПАРАТ

«ҚазҰУ хабаршысы. Экология сериясы» журналы 1992 жылы құрылған. Журналдың құрылтайшысы және шығарушысы Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті болып табылады. Журналдың жоғары оқу орны көрсетілген мұқабасы мен титулдық парақтары, шығыс деректері, ISSN, eISSN, редакциялық алқа құрамы, редакциялық саясаты, жарияланымдық этикасы және веб-сайты бар.

Журнал жылына 4 рет шығарылады.

Журнал авторлардың жарияланымдарының ақпараттық ашықтығы және қол жетімділігі саясатына сәйкес келеді, мақалалар журналдың сайтында орналастырылады <https://bulletin-ecology.kaznu.kz> үш тілде толық мәтінді қолжетімділікте

Журналдың мақсаты – экология және табиғи ресурстар саласындағы алдыңғы қатарлы зерттеулердің нәтижелері мен жан-жақты көрсетілімін қамтамасыз ету. Журнал экологиялық проблемалар мен қоршаған ортаны қорғауға ғылыми қызығушылық танытатын ғылыми қызметкерлерге, оқытушыларға, докторанттар мен түрлі мамандықтағы студенттерге арналған.

Журнал міндеттері:

- Экология және қоршаған ортаны қорғау бойынша фундаменталды және қолданбалы ғылымның түрлі салаларында маңызды мәнге ие жаңа ғылыми нәтижелерді жариялау.

- Диссертацияларды қорғауға және ғылыми мамандықтар бойынша ғылыми дәрежелер алуға үміткер магистранттар мен докторанттардың ғылыми жұмыстарының нәтижелерін кең жариялаудың ашықтығы мен қол жетімділігі ортасын құру.

- Ғылыми қоғамдастықтың, сондай-ақ жас және жаңа бастаған ғалымдардың журналға деген тұрақты қызығушылығын қалыптастыру, оның экология мәселелерін зерттейтін мамандардың кәсіби ортасында өсіп келе жатқан қажеттілігін қалыптастыру.

Журнал материалдары экология және қоршаған ортаның ластануы саласындағы проблемалардың кең ауқымын қамтиды. Мақалалар **экологияның келесі тақырыптық бөлімдері** бойынша жарияланады:

- Жер туралы ғалым;
- Қоршаған ортаны ластау және қорғау;
- Экологиялық биотехнология;
- Адам, өсімдіктер, жануарлар және микроорганизмдер экологиясы;
- Климаттың ғаламдық өзгеруі, су ресурстарын басқару;
- Бұзылған экожүйелерді қалпына келтіру;
- Қоршаған орта және көші-қон;
- Қалалар және климаттың өзгеруі;
- Экологиялық ойлау және адамзат стратегиясы.

«ҚазҰУ хабаршысы. Экология сериясы» журналының тақырыптық бағыттарына сәйкес келетін және қолжазбаны ресімдеу талаптары бойынша қатаң ресімделген, автордың (авторлардың) қазақ, орыс немесе ағылшын тілдерінде бұрын жарияланбаған мақалалары қабылданады.

«ҚазҰУ хабаршысы. Экология сериясы» журналы авторлардың ғылыми жұмысқа құқығын сақтайды және журналға бірінші жариялау құқығын жұмыспен бірге береді, оны бір уақытта Creative Commons Attribution License (CC BY-NC-ND 4.0) бойынша лицензиялайды.

Жариялау процесінің барлық қатысушылары, атап айтқанда, әрбір автор, ғылыми редактор, рецензент, жауапты хатшы, «ҚазҰУ хабаршысы. Экология сериясы» ғылыми журналының редакциялық алқасының мүшелері міндетті түрде жариялау этикасының қағидаларын, нормалары мен стандарттарын ұстануға міндетті. Этикалық қағидаларды сақтау ғылыми журналдың сапасын қамтамасыз ету және сақтау үшін де, жариялау процесіне қатысушылар арасында сенімді және құрметті қарым-қатынас құру үшін де маңызды.

Мақаланы жариялау төлемі тек редакцияның мақаланың қабылданған шешімі хабарламасынан кейін ғана жүргізіледі. Жарияланым құны – 2000 теңге/бет WORD форматында (шрифт 12, Times New Roman).

Реквизиттер:

«Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ» коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Индекс 050040

Мекенжайы: Алматы қаласы, Әл-Фараби даңғылы, 71

БИН 990140001154

КВЕ 16 «Бірінші Heartland Jusan Bank» АҚ

ИИК KZ19998СТВ0000567141 – теңге

ИИК KZ40998СТВ0000567151 – АҚШ доллары

БИК TSESKZKA

INFORMATION FOR AUTHORS

Journal «Vestnik KazNU. Ecological Series» was founded in 1992. In 2007 was renamed as «**Eurasian Journal of Ecology**» (in the English version). The founder and publisher of the journal are the Al-Farabi Kazakh National University. The journal has a developed and approved cover and title pages with an indication of the institution, imprint of the issue, ISSN, eISSN, editorial board, editorial policy, publication ethics, and website. The journal is published 4 times a year.

The journal follows the policy of information openness and accessibility of authors' publications, articles are posted on the journal's website <https://bulletin-ecology.kaznu.kz> in three languages in full-text access.

The aim of the journal is to provide a comprehensive presentation and results of cutting-edge research in the field of ecology and natural resources. The journal is intended for researchers, teachers, doctoral students, and students of various specialties who show scientific interest in environmental problems and environmental protection.

Journal objectives:

- To highlight new scientific results of significant importance in various fields of fundamental and applied science in ecology and environmental protection.
- To create an environment of openness and accessibility of wide coverage of the results of scientific work of undergraduates and doctoral students applying for the defense of dissertations and obtaining academic degrees in scientific specialties of dissertation councils in various fields of ecology.
- To form a constant stable interest among the scientific community, as well as among young and novice scientists in the journal, its growing demand in professional circles of specialists researching environmental issues.

The journal's materials cover a wide range of problems in the field of ecology and environmental pollution. Articles are published in the following thematic sections of ecology:

- Earth Science;
- Pollution and environmental protection;
- Environmental biotechnology;
- Ecology of humans, plants, animals and microorganisms;
- Global climate change, water resources management,
- Restoration of damaged ecosystems;
- Environment and migration;
- Cities and climate change;
- Environmental thinking and human strategy.

For publication in the «Eurasian Journal of Ecology» articles previously unpublished by the author (authors) are accepted – in Kazakh, Russian or English, which correspond to the thematic areas of the journal and are designed strictly according to the requirements of the manuscript format.

Authors of articles in the «Eurasian Journal of Ecology» retain the author's right to scientific work and transfer to the journal the right of first publication along with the work, licensing it at a time under the Creative Commons Attribution License (CC BY-NC-ND 4.0).

All participants in the publication process, namely, each author, scientific editor, reviewer, executive secretary, members of the editorial board of the scientific «Eurasian Journal of Ecology» are obliged to unconditionally adhere to the principles, norms and standards of publication ethics. Compliance with ethical principles is important both to ensure and maintain the quality of a scientific journal, and also to create trust and respect between participants in the publication process.

Payment is made only after the article is accepted for publication and the editors have notified it. Publication cost – 2000 tenge/page in WORD format (font 12, Times New Roman)

Requisites:

Non-profit joint-stock company «Al-Farabi Kazakh National University»

Index 050040

Address: Almaty, Al-Farabi Ave. 71

BIN 990140001154

KBE 16 JSC «First Heartland Jusan Bank»

IIK KZ19998CTB0000567141 – tenge

IIK KZ40998CTB0000567151 – USD

BIC TSESKZKA

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Журнал «Вестник КазНУ. Серия экологическая» был основан в 1992 году. Учредителем и издателем журнала является Казахский национальный университет имени аль-Фараби. Журнал имеет разработанные и утвержденные обложку и титульные листы с указанием вуза, выходные данные номера, ISSN, eISSN, состав редколлегии, редакционную политику, публикационную этику и веб-сайт. Журнал выпускается периодичностью 4 раза в год.

Журнал следует политике информационной открытости и доступности публикаций авторов, статьи размещаются на сайте журнала <https://bulletin-ecology.kaznu.kz> на трех языках в полнотекстовом доступе.

Цель журнала – обеспечить всестороннее представление и результаты передовых исследований в области экологии и природных ресурсов. Журнал предназначен для научных сотрудников, преподавателей, докторантов и студентов различных специальностей, проявляющих научный интерес к экологическим проблемам и охране окружающей среды.

Задачи журнала:

- Освещать новые научные результаты, имеющие существенное значение в различных областях фундаментальной и прикладной науки по экологии и охране окружающей среды.
- Создавать среду открытости и доступности широкого освещения результатов научных работ магистрантов и докторантов, претендующих на защиту диссертаций и получение ученых степеней по научным специальностям диссертационных советов в различных областях экологии.
- Формировать постоянный устойчивый интерес у научной общественности, а также у молодых и начинающих ученых к журналу, его растущую востребованность в профессиональных кругах специалистов, исследующих вопросы экологии.

Материалы журнала освещают широкий круг проблем в области экологии и загрязнения окружающей среды. Статьи публикуются по следующим **тематическим разделам экологии:**

- Наука о земле;
- Загрязнение и охрана окружающей среды;
- Экологическая биотехнология;
- Экология человека, растений, животных и микроорганизмов;
- Глобальное изменение климата, управление водными ресурсами;
- Восстановление нарушенных экосистем;
- Окружающая среда и миграция;
- Экологическое мышление и стратегия человечества.

Для публикации в журнале «Вестник КазНУ. Серия экологическая» принимаются ранее не опубликованные автором (авторами) статьи на русском, казахском или английском языке, которые соответствуют тематическим направлениям журнала и оформлены строго по требованиям оформления рукописи.

Авторы статей журнала «Вестник КазНУ. Серия экологическая» сохраняют за собой право автора на научную работу и передают журналу право первой публикации вместе с работой, одновременно лицензируя ее по лицензии Creative Commons Attribution License (CC BY-NC-ND 4.0).

Все участники процесса публикации, а именно, каждый автор, научный редактор, рецензент, ответственный секретарь, члены редакционной коллегии научного журнала «Вестник КазНУ. Серия экологическая» обязаны безусловно придерживаться принципов, норм и стандартов публикационной этики. Соблюдение этических принципов является важным как для обеспечения и поддержания качества научного журнала, также и для создания доверительных и уважительных отношении между участниками процесса публикации.

Оплата производится только после принятия статьи к публикации и сообщения редакции. Стоимость публикации – 2000 тенге/страница в формате WORD (шрифт 12, Times New Roman).

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 KZ19998СТВ0000567141 – тенге

ИИК KZ40998СТВ0000567151 – USD

БИК TSESKZKA

МАЗМҰНЫ – CONTENTS – СОДЕРЖАНИЕ

1-бөлім Қоршаған ортаны қорғау және қоршаған ортаға антропогендік факторлардың әсері	Section 1 Environmental impact of anthropogenic factors and environmental protectiony	Раздел 1 Воздействие на окружающую среду антропогенных факторов и защита окружающей среды
P.A. Турганова, P.H. Тулеева Бактериялық целлюлозаны алу және тазарту әдістерінің тиімділігі, экологиялық әсері және қолданбалары тұрғысынан салыстырмалы 4		
Айқын Нұрахмет, Аманбек Зандыбай, Тургут Тюзун Онай Тастыкөл және Заозорное рекультивацияланған уран кен рындарына жақын орналасқан беткей су нысандарын радиоэкологиялық бағалау 16		
Abilda Zh.K., Daurov D.L, Kanat R., Vyrahmanova A.S., Duesekov S.N., Zhumagulova M.K. Self-restoration of soils in zones of technogenic impact of metallurgy by means of soil microorganisms..... 28		
N.M. Jafarova, G.I.Bayramov Ecological assessment of the environmental impact of heavy metals in the waste generated by the metallurgical industry (case study: Baku steel company)..... 36		
Toxanbayeva S.T., Azhigali A.A., Ramazanova N.Ye., Alagudzhaeva M.A., Ayapbekova A.Ye., Karagoishin Zh.M. Modern processes of eco-geomorphogenesis in the Kostanay region under the influence of anthropogenic activity 43		
2-бөлім Қоршаған орта ластаушыларының биотаға және тұрғындар денсаулығына әсерін бағалау	Section 2 Assessment of environmental pollution on biota and health	Раздел 2 Оценка действия загрязнителей окружающей среды на биоту и здоровье населения
A. Zhanbyrbayeva, Z. Yessimsiitova, I. Zharkova , M. Aitzhan, G. Yestemirova, S. Nurtazin Impact of pollutants on the gill apparatus of fish in the Ili-Balkhash basin 52		
Suvorova M.A., Yerubayeva G.K., Ergeshov A.A. The first-line assessment of toxic potential of high-altitude water sources of Ile Alatau gorges (Northern Tien Shan, Kazakhstan) using acute D.magna toxicity test 62		
3-бөлім Биологиялық алуантүрлілікті сақтаудың өзекті мәселелері	Section 3 Actual problems of biodiversity conservation	Раздел 3 Актуальные проблемы сохранения биологического разнообразия
E.B. Ларионова, К.Б. Алипина, К.Ш. Бакирова, Ж.К. Кабатаева Сравнительная оценка антиоксидантной активности и содержания фенольных соединений у видов Lamiaceae в зависимости от экологических условий Восточного Казахстана..... 76		
Г.А. Садырова, К.С. Оразбекова, М.М. Даулетбаева, А.К. Таныбаева, Б.Х. Тусупова, Л.С. Курбанова, Г.А. Муканова Оценка современного состояния популяции редкого вида Rheum wittrockii Lundstr. флоры Юго-Востока Казахстана.... 89		
A.Y.Abdegaliyeva, A.A.Amanbayev, A.B.Abzhalelov, Cengiz Acar Adaptation of ornamental flowering shrubs to the sharply continental climate: landscaping experience in Astana..... 105		

Шолу мақалалар – Review articles – Обзорные статьи

Ж.К.Батықова, А.С.Кистаубаева, Л.Н.Сайдуллаева, У. Ережетова, Ж.Е. Наурызбаева, М.А. Абдулжанова Жүгері ризобактериялары – өсімдіктердің өнімділігін және қорғанысын арттырудың перспективалы биоинокулянттары	122
Головченко О.Ю., Адильбаева Г.М., Акназаров С.Х., Балтабай А.А., Байракова О.С., Бийсенбаев М.А., Аронов Д. Өнеркәсіптік қалдықтарды өңдеудің қолданыстағы әдістерінің қазіргі жағдайы	134
Авторларға арналған ақпарат.....	150