

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 (81)

Алматы  
«Қазақ университеті»  
2024



# ХАБАРШЫ

ЭКОЛОГИЯ СЕРИЯСЫ №4 (81) 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

Какимова А.Б., PhD, аға оқытушы (Қазақстан)  
e-mail: ardak.kakimova1@gmail.com

## 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)  
Мамилев Н.Ш., б.ғ.к., доцент (Қазақстан)  
Инелова З.А., б.ғ.к., доцент (Қазақстан)  
Кушнаренко С.В., б.ғ.к., доцент (Қазақстан)  
Дигель И., PhD докторы, профессор (Германия)  
Маторин Д., б.ғ.д., профессор (Ресей)  
Рахман Е., PhD, профессор (Қытай)  
Тамо Тацуня, PhD, профессор (Жапония)  
Аллахвердиев Сулейман, б.ғ.д., профессор (Ресей)  
Каримов Б., б.ғ.д., профессор (Өзбекстан)

## ТЕХНИКАЛЫҚ РЕДАКТОР

Омирбекова А.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  
алуантүрлілікті сақтаудың өзекті мәселелері бағыттарын қамтиды.



Жоба менеджері

Гульмира Шаққозова

Телефон: +7 701 724 2911

e-mail: Gulmira.Shakkozova@kaznu.kz

Пішімі 60x84/8. Көлемі 11,8 б.т. Тапсырыс № 12802.

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, 2024

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**

Г.А. Уахитканова , А.М. Тленшиева , Д.Д. Кожакметова ,  
Д.Т. Чекимбаева , Т.М. Шалахметова\* 

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

\*e-mail: Tamara.Shalakhmetova@kaznu.kz

## ГИСТОПАТОЛОГИЧЕСКИЕ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ОРГАНАХ БЕЛОГО ТОЛСТОЛОБИКА (*HYPOPHTHALMICHTHYS MOLITRIX*) ИЗ РЕКИ ИЛЕ И КАПШАГАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (КАЗАХСТАН)

В последние десятилетия экосистемы реки Иле и Капшагайского водохранилища подвергаются антропогенному прессингу, что снижает продуктивность данных водоемов, вызывает гибель и исчезновение аборигенных и интродуцированных видов рыб, имеющих промысловое значение. В настоящей работе проведено морфофункциональное состояние белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*) из разных участков реки Иле и Капшагайского водохранилища, а также одного из прудовых хозяйств Алматинской области, где его выращивают. Химический анализ поверхностных вод исследованных участков реки Иле и Капшагайского водохранилища выявил присутствие 9 тяжелых металлов, 3 из которых: Pb, Zn, Cu показали превышение ПДК для рыбохозяйственных водоемов (ПДК<sub>рх</sub>). Содержание данных ТМ в поверхностных водах прудового хозяйства было ниже ПДК<sub>рх</sub>, поэтому качество воды в нем было принято, как условно чистое (контроль). При гистологическом исследовании образцов органов (жабры, печень, кишечник) белого толстолобика были выявлены значительные деструктивные изменения у особей, выловленных в 4 разных точках верхнего течения реки Иле и Капшагайского водохранилища (рядом с плотиной и г. Конаев), и в меньшей степени у рыб из северной части Капшагай. Также выявлено, что состояние рыб из прудового хозяйства было в пределах нормы. Проведенный морфометрический анализ важнейших биоиндикационных показателей органов рыб количественно подтвердил гистологические наблюдения. На основании полученных результатов и данных других авторов делается заключение о вероятной биоаккумуляции ТМ из загрязненной воды в организме рыб, что приводит к нарушению биохимического и физиологического гомеостаза, и, в итоге, отражается на структурной организации органов и выживаемости гидробионтов.

**Ключевые слова:** река Иле, Капшагайское водохранилище, тяжелые металлы, белый толстолобик, гистология, морфометрия.

G.A. Uakhitkanova, A.M. Tlenshieva, D.D. Kozhakhmetova,  
D.T. Chekimbaeva, T.M. Shalakhmetova\*

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: Tamara.Shalakhmetova@kaznu.kz

### Investigation of the morphofunctional condition of the white silver carp (*Hypophthalmichthys Molitrix*) from the Ile River and Kapshagai Reservoir

In recent decades, the ecosystems of the Ile River and the Kapshagai reservoir have been subject to anthropogenic pressure, which reduces the productivity of these reservoirs and causes the death and disappearance of native and introduced fish species of commercial importance. In this work, the morphofunctional state of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) from different parts of the Ile River and the Kapshagai reservoir, as well as one of the pond farms in the Almaty region, where it is grown, was studied. Chemical analysis of the surface waters of the studied sections of the Ile River and the Kapshagai Reservoir revealed the presence of 9 heavy metals, 3 of which: Pb, Zn, Cu showed an excess of the MPC for fishery reservoirs (MPC). The content of these heavy metals in the surface waters of the pond farm was below the MPC, therefore the water quality in it was accepted as conditionally clean (control). Histological examination of samples of organs (gills, liver, intestines) of silver carp revealed significant destructive changes in individuals caught at 4 different points in the upper reaches of the Ile River and the Kapshagai reservoir (near the dam and the city of Konaev), and to a lesser extent in fish from the northern part of Kapshagai. It was also revealed that the condition of the fish from the pond farm was within normal limits. The morphometric analysis of the most important bioindicative indicators of fish

organs quantitatively confirmed histological observations. Based on the results obtained and data from other authors, a conclusion is made about the probable bioaccumulation of HMs from contaminated water in the body of fish, which leads to disruption of biochemical and physiological homeostasis, and ultimately affects the structural organization of organs and the survival of aquatic organisms.

**Key words:** Ile River, Kapshagai Reservoir, heavy metals, silver carp, histology, morphometry.

Г.А. Уахитқанова, А.М. Тленшиева, Д.Д. Кожаметова,  
Д.Т. Чекимбаева, Т.М. Шалахметова\*

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан  
\*e-mail: Tamara.Shalakhmetova@kaznu.kz

**Іле өзені мен Қапшағай су қоймасынан алынған  
ақ күміс тұқының (*Hypophthalmichthys Molitrix*)  
морфофункционалды жағдайын зерттеу**

Соңғы он жылдықтарда Іле өзені мен Қапшағай су қоймасының экожүйелері антропогендік қысымға ұшырап, бұл су қоймаларының өнімділігін төмендетіп, кәсіптік маңызы бар жергілікті және интродукциялық балық түрлерінің қырылуы мен жойылуын туғызуда. Бұл жұмыста Іле өзенінің әр жерінен және Қапшағай су қоймасынан, сондай-ақ ол өсірілетін Алматы облысындағы тоған шаруашылықтарының бірінен алынған күміс тұқы (*Hypophthalmichthys molitrix*) балықтың морфофункционалды жағдайы зерттелді. Іле өзені мен Қапшағай су қоймасының зерттелетін учаскелерінің жер үсті суларына химиялық талдау жүргізгенде 9 ауыр металдың бар екені анықталды, оның 3-інде: Pb, Zn, Cu балық шаруашылығы су қоймалары үшін ШРК (ШРК) артық екенін көрсетті. Тоған шаруашылығының жер үсті суларында осы ауыр металдардың мөлшері ШРК-дан төмен болды, сондықтан ондағы су сапасы шартты түрде таза (бақылау) болып қабылданды. Күміс тұқы балығының ағзаларының (желен, бауыр, ішек) үлгілерін гистологиялық зерттеу Іле өзенінің жоғарғы ағысында және Қапшағай су қоймасында (бөгет пен Қонаев қаласы маңында) 4 түрлі нүктеден ауланған дараларда айтарлықтай деструктивті өзгерістерді анықтады. аз дәрежеде Қапшағайдың солтүстік бөлігіндегі балықтарда. Сондай-ақ, тоған шаруашылығынан алынған балықтардың жағдайы қалыпты шектерде екені анықталды. Балық мүшелерінің аса маңызды биоиндикативті көрсеткіштерінің морфометриялық талдауы гистологиялық бақылауларды сандық түрде растады. Алынған нәтижелер мен басқа авторлардың деректері негізінде балық организміндегі ластанған судан ГМ-ның ықтимал биожинақталуы туралы қорытынды жасалады, бұл биохимиялық және физиологиялық гомеостаздың бұзылуына әкеледі және сайып келгенде органдардың құрылымдық ұйымдастырылуына әсер етеді. су организмдерінің тіршілігі.

**Түйін сөздер:** Іле өзені, Қапшағай суқоймасы, ауыр металдар, ақ толстолобик, гистология, морфометрия.

## Введение

В настоящее время загрязнение водоемов стало глобальной экологической проблемой в связи с неконтролируемым выбросом загрязняющих веществ различными производствами [1]. Как известно, химические вещества, присутствующие в промышленных, сельскохозяйственных и бытовых сточных водах высокотоксичны в зависимости от дозы и продолжительности их воздействия [2]. Водные экосистемы, являясь поглотителем для многих из них, могут нанести серьезный ущерб водным организмам [3]. Поэтому рыболовство и аквакультура относятся к числу отраслей, наиболее уязвимых к водному загрязнению. Например, тяжелые металлы, нитриты, нитраты, пестициды, ПАВы представляют серьезную угрозу для водной флоры и фауны из-за их токсичности, длительной персистенции, биоаккумуляции и биоамплификации в пищевой

цепи [4]. Накапливаясь в организме гидробионтов и, в частности, промысловых рыб они могут вызывать различные заболевания у населения, употребляющего их в пищу [5]. Кроме того, биоаккумуляция этих веществ может вызывать стресс и заболевания самих рыб, вызывая смертность и исчезновение чувствительных таксонов, приводя, таким образом, к нарушению экологического баланса водоема и, в целом, биоразнообразия [6]. Поэтому рыб часто используют как биоиндикаторы качества воды на наличие металлов и других загрязняющих веществ [7]. Как известно, токсическое воздействие загрязняющих веществ может проявлять себя на клеточном или тканевом уровне, поэтому для оценки последствий такого воздействия используют методы гистопатологического анализа [8]. Качественные и количественные показатели гистологического анализа являются надежными биомаркерами проявления экологического стресса, так как

указывают на состояние жизненно важных органов рыб в данный конкретный момент [9]. Таким образом, исследование гистопатологии рыб может служить важным биомаркерным методом в мониторинге окружающей среды [10].

В настоящем исследовании изучено морфофункциональное состояние одного из промысловых видов рыб – белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*) из реки Иле и Капшагайского водохранилища. Река Иле берет свое начало в Западной провинции Синьцзян КНР и впадает в Западный Балхаш (Казахстан) [11]. Река прерывается несколькими небольшими плотинами в Китае и одной большой плотиной на Капчагае в юго-восточном Казахстане. Водохранилище негативно повлияло на нижнее течение реки Иле путем изменения гидрологического цикла и к снижению вылова рыбы.

Целью настоящей работы явилось исследование содержания тяжелых металлов в поверхностных водах реки Иле, Капшагайского водохранилища и прудового хозяйства, а также оценка гистопатологического состояния одного из промысловых видов рыб – белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*).

## **Материалы и методы исследования**

### ***Методики сбора воды и седиментов***

В пяти участках верхнего течения реки Иле (Уйгурский, Панфиловский район и Енбекшиказахский районы, Алматинская область), юго-восточной и северной части Капшагайского водохранилища производили сбор, консервацию и хранение проб поверхностных вод согласно Международным стандартам и утвержденным ГОСТам [12-13]. Отбор проб осуществлялся весной и в начале лета 2023 года на глубине 0,5-1,0 м. Пробоотборниками являлись химически стойкие чистые 1-5 литровые пластиковые емкости. Хранение и доставку до лаборатории проб воды осуществляли при низких температурах 0°C в сумках-холодильниках. Перед хранением и консервацией воду процеживали от водорослей через мелкопористое сито.

### ***Методики химического анализа поверхностных вод на содержание тяжелых металлов***

Важнейшим показателем качества среды обитания гидробионтов является степень чистоты поверхностных вод по содержанию тяжелых металлов, как стойких к биоремедиации и нака-

пливающих в организме [14]. В связи с этим во всех собранных пробах воды были определены тяжелые металлы согласно практическим руководствам и ГОСТам. Определение ТМ проводили после соответствующей пробоподготовки на атомно-абсорбционном спектрофотометре МГА-915 МД (г. Санкт-Петербург) [15].

### ***Методика приготовления гистологических препаратов***

Была изучена гистоструктура жабр, печени, кишечника 25 экземпляров взрослых особей белого толстолобика, отловленных на разных участках реки Иле, Капшагайского водохранилища и прудового хозяйства в мае-июне 2023 года. Для этого, сразу после отлова рыб, кусочки органов размером 5 x 5 x 5 мм фиксировали в 10% нейтральном формалине в течение 10 дней. После фиксации кусочки органов промывались в проточной воде в течение 12–24 часов, затем обезвоживали 90% изопропиловым спиртом и заливали в парафин [16]. Затем изготавливались срезы толщиной 5-7 мкм, которые после удаления парафина и проведения по спиртам восходящей крепости, окрашивали краской гематоксилин и эозин. Затем заключали под покровное стекло в синтетическую среду Bio-Mount (Bio-Optica, Italy). Анализ окрашенных гистологических препаратов и их фотографирование производили с помощью микроскопа Leica DMLB2 с цифровой камерой Leica DFC 320 (Germany) при различных увеличениях.

### ***Методика морфометрического исследования***

На тех же гистологических препаратах с помощью специальной программы на микроскопе Leica DMLB2 было произведено определение количественных показателей жабр, печени и кишечника.

### ***Методика статистической обработки результатов***

Результаты количественных исследований подвергались статистической обработке. Во всех случаях определяли средние значения и ошибку средней величины. Достоверность различий средних величин оценивали, используя t-критерий Стьюдента. Различия считались достоверными при доверительной вероятности равной 0,95. Статистическую обработку и графическое представление материалов осуществляли с помощью приложения Microsoft Excel 7.0.

## Результаты и их обсуждение

### Исследование содержания тяжелых металлов в поверхностных водах

Пробы поверхностных вод были отобраны в пяти разных участках верхнего течения реки Иле и Капшагайского водохранилища, а также из прудового хозяйства в Алматинской области (Таблица 1).

С помощью атомно-абсорбционной спектрофотометрии в поверхностных водах из вышеуказанных участков реки Иле, Капшагайского водохранилища и прудового хозяйства определяли содержание тяжелых металлов, как наиболее стойких, не подвергающихся биоремедиации поллютантов. На период исследования в поверхностных водах во всех пробах воды были выявлены следующие тяжелые металлы: Pb, Co, Mn, Cd, Cu, Zn, Fe, Ni, Cr, однако содержание только трех из них: Pb, Zn, Cu превышали ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Меньше всего относительно установленных нормативов ([https://unece.org/sites/default/files/2021-08/ECE\\_CEP\\_185\\_Eng\\_0.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2021-08/ECE_CEP_185_Eng_0.pdf)) было содержание тяжелых металлов в поверхностных водах прудового хозяйства (№6), поэтому их уровень был

взят за контрольный, а качество воды принято, как условно чистое. Содержание Pb в пробах воды превышало ПДК в точках №1 – №5 соответственно в 2,0; 1,6; 1,7; 1,5; 1,4 раза. Однако по сравнению с №6 содержание Pb в пробах воды в тех же точках №1 – №5 было значительно больше, соответственно в 5,0; 4,0; 4,3; 3,7; 3,6 раза. Содержание Zn в пробах воды также превышало ПДК, но только в точках №1 – №4, соответственно в 1,8; 1,6; 1,5; 1,3; 1,4 раза. В точке №5 содержание Zn было ниже ПДК. Сравнивая значения содержания Zn в точках №1 – №4 с пунктом №6, было установлено их превышение в 4,1; 3,6; 3,5; 1,8 раза. Содержание Cu превышало ПДК в пяти пунктах №1 – №5, соответственно – 3,1; 1,3; 1,4; 1,2; 1,5 раза, а по сравнению с участком №6 – в 4,4; 1,8; 2,0; 1,7; 2,1 раза. Таким образом, наибольшее превышение ПДК для Pb, Zn, Cu наблюдалось в поверхностных водах верхнего течения реки Иле и Капшагайского водохранилища близ города Конаев и в меньшей степени в его северной части (около насосных станций). Воды прудового хозяйства по содержанию ТМ были вполне пригодны для рыбозаведения.

**Таблица 1** – Координаты участков сбора материала на реке Иле и Капшагайском водохранилище (май-июнь 2023 года)

№	Название участков сбора материала	Широта	Долгота
1	Дубинская станция (Уйгурский район, Алматинская область)	43°52'40.5»N	78°18'30.3»E
2	Село Айдарлы (Панфиловский район, Алматинская область)	43°58'33.8»N	79°34'26.9»E
3	Село Курчилик (Енбекшиказахский район, Алматинская область)	43°45'36.3»N	80°14'24.0»E
4	Капшагайское водохранилище (плотина и город Конаев)	43°87'92.73»N	77°09'84.05»E
5	Капшагайское водохранилище (насосные станции)	43°90'34.10»N	77°25'86.44»E
6	Прудовое хозяйство в Алматинской области (контроль)	43°18'02.1»N	76°58'11.4»E

**Таблица 2** – Содержание ТМ в поверхностных водах из разных точек реки Иле, Капшагайского водохранилища и прудового хозяйства, мкг/л (mean ± S.D.), май-июнь 2023 года

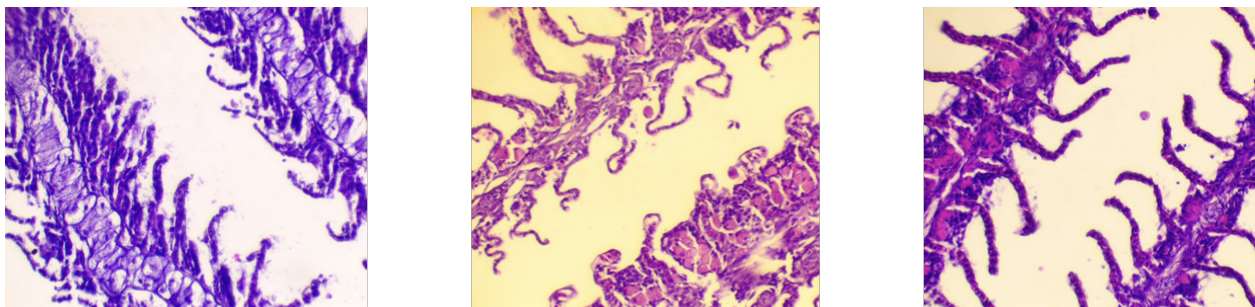
Точки исследования	Ni	Mn	Co	Pb	Cr	Fe	Zn	Cu	Cd
№ 1	1.7±0.1	6.4±0.2	3.1± 0.1	12.1± 0.2*	12.7±0.1	2.7± 0.1	18.0± 0.1*	3.1±0.2*	0.6± 0.1
№ 2	2.2±0.2	7.8± 0.1	3.5± 0.1	9.7± 0.1*	3.5± 0.2	2.4± 0.1	15.7± 0.2*	1.3±0.1*	0.8± 0.1
№ 3	1.9±0.1	9.5± 0.2	3.3± 0.1	10.5± 0.1*	3.7± 0.2	2.6± 0.1	15.3± 0.4*	1.4±0.1*	0.7± 0.1
№4	2.4±0.1	7.4± 0.1	3.0± 0.1	9.0± 0.1*	3.8± 0.1	24.5 ±0,1	13.7± 0.2*	1.2±0.1*	0.6± 0.1
№5	3.4± 0.1	2.9±0.6	2.5±0.2	8.7± 0.6*	3.9± 0.1	18.0±1.4	8.1±0.6	1.5±0.2*	0.4± 0.1
№ 6	0.4±0.1	3.8±0.5	1.1±0.2	2.4±0.3	1.2±0.1	2.5±0.5	4.3±0.1	0.7±1.0	0.1±0.1
ПДК (для ТМ рыбохозяйственных водоемов)	10.0	10.0	10.0	6.0	20.0	100.0	10.0	1.0	5.0

Примечание: \*-P≤0,05 по сравнению с данными точки исследования №6 (прудовое хозяйство)

**Исследование гистопатологии внутренних органов белого толстолобика**

У взрослых особей белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*), отловленных на разных участках реки Иле, Капшагайского водохранилища и в прудовом хозяйстве, было изучено морфофункциональное состояние внутренних органов дыхательной и пищеварительной систем (жабры, печень, кишечник). Гистологическое исследование жабер белого толстолобика из прудового хозяйства не выявило каких-либо серьезных нарушений в структуре органа: жаберные дуги (хрящ) были покрыты первичным жаберным эпителием (жаберная ламелла), представляющим собой многослойный эпителий, состоящий из хлоридных, слизистых, респиаторных, палочковидных и малодиффе-

ренцированных клеток. Поперек жаберной ламеллы были расположены складки, называемые вторичным жаберным эпителием (жаберные лепестки), в основном представленные респиаторными клетками, имеющими уплощенную форму (Рисунок 1, А). Ниже эпителия лежит соединительная ткань, содержащая кровеносные сосуды, которые снабжают кровью жаберные лепестки. В отличие от рыб из прудового хозяйства в жабрах белого толстолобика из разных участков реки Иле и Капшагайского водохранилища были обнаружены гистопатологические изменения в виде полнокровия сосудов, отеков у основания жаберных пластинок и в покрывающем их вторичном эпителии: гиперплазия, слияние пластинок и эпителиальный некроз (Рисунок 1 Б, 1В).



**А**

**Б**

**В**

**Рисунок 1** – Гистоструктура жабер белого толстолобика из реки Иле, Капшагайского водохранилища и прудового хозяйства. Окраска гематоксилин-эозин. Увеличение x 400.

А – из прудового хозяйства: структура жабер не нарушена; Б – из верхнего течения реки Иле: полнокровие сосудов, атрофия, деструкция ламелл, некроз эпителиальных клеток;

В – из Капшагайского водохранилища: утолщение эпителиальных пластинок и деструкция ламелл

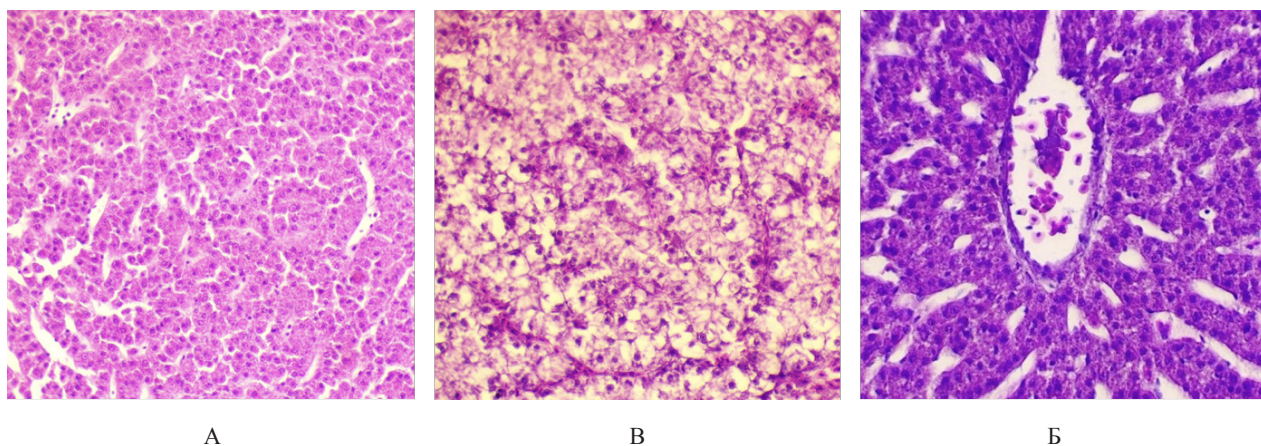
Как известно, жабры, являясь многофункциональным органом, выполняющим жизненно важные функции в организме рыб (газообмен, осморегуляция, регуляция кислотно-щелочного баланса, выведение продуктов азотного обмена и др.), особенно чувствительны к изменению среды обитания [18]. Разными авторами было показано, что при загрязнении воды ТМ у рыб развиваются дегенеративные изменения жаберных лепестков второго порядка (ламелл), гиперплазия и некроз клеток жаберного эпителия, образование опухолей и язв [19-20]. Практически такие же нарушения в строении жабр мы наблюдали у белого толстолобика из разных участков верхнего течения реки Иле и Капшагайского водохранилища.

Из внутренних органов пищеварительной системы нами были исследованы печень и кишечник белого толстолобика. Печень, как большая пищеварительная железа и основной орган детоксикации проникающих в организм ядов, очень чувствительна к загрязнению среды обитания гидробионтов [21]. Печень вырабатывает желчь и выводит через нее продукты метаболизма и накопленные токсиканты, а также с помощью ферментов семейства цитохромов P450 участвует в их обезвреживании [22]. Как известно, все эти функции выполняют гепатоциты, которые занимают 85 % объема паренхимы печени у костистых рыб. Поэтому при описании гистоструктуры печени большое внимание обращается на структурные изменения в гепа-



тоцитах. Если в печени белого толстолобика из прудового хозяйства гепатоциты формировали расходящиеся от центральной воротной вены радиальные тяжи нормальных по структуре гепатоцитов (полигональные клетки с центрально расположенным ядром) (Рисунок 2, А), то у рыб из верхнего течения реки Иле они теряли радиальность и демонстрировали гидропическую дистрофию и некроз гепатоцитов, а также склероз на месте погибших клеток и вдоль сосудов (Рисунок 2, Б). А у рыб из Капшагайского водохранилища наряду с деструктивными про-

цессами в гепатоцитах, наблюдались признаки расстройства кровообращения: полнокровные сосуды, расширение пространств Диссе (Рисунок 2, В). Токсиканты попадают в организм рыб не только через жабры, но и желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) с водой и пищей, разносятся кровью и лимфой, вызывая изменения в строении и функциях внутренних органов. Поэтому, изменения гистоструктуры печени и других органов ЖКТ могут быть биомаркерами чувствительности рыб к стрессовым факторам окружающей среды [21].

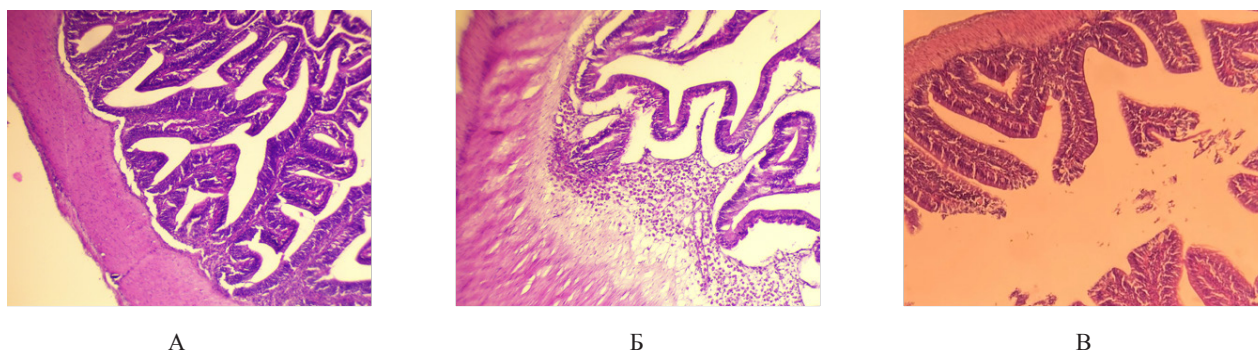


**Рисунок 2** – Гистоструктура печени толстолобика из реки Иле, Капшагайского водохранилища и прудового хозяйства. Окраска гематоксилин-эозин. Увеличение x 400.

- А – прудовое хозяйство: нормальная структура печени (печеночные балки имеют радиальное расположение, гепатоциты интенсивно окрашены с ядром; Б – из верхнего течения реки Иле: гидропическая дистрофия и некроз гепатоцитов, склероз на месте погибших клеток и вдоль сосудов;  
В – из Капшагайского водохранилища: полнокровные сосуды, расширение пространств Диссе.

Из органов ЖКТ также была изучена структура тонкого кишечника белого толстолобика из исследуемых водоемов, как органа пищеварения и всасывания переваренных продуктов. Строение тонкого кишечника очень чувствительно к изменениям в пищевом рационе и качеству поглощаемых веществ. При этом, было установлено, что гистоструктура кишечника белого толстолобика из прудового хозяйства была в пределах нормы (рис.3А). Стенка кишечника была представлена всеми четырьмя оболочками: слизистой, подслизистой, мышечной и серозной. Все они плотно прилегали друг к другу. Слизистая оболочка имела характерный для нормы складчатый рельеф, благодаря наличию складок ворсинок и крипт. Ворсинки были представлены эпителиальными клетками призматической формы с ядрами по середине. Крипты представлены

пролиферирующими (делящимися) и дифференцирующимися клетками. Функционирующие эпителиальные клетки расположены на поверхности ворсинок. В отличие от этого гистоструктура кишечника белого толстолобика из реки Иле (верхнее течение) демонстрировала утолщение серозной оболочки, расслоение мышечного слоя и сильный отек подслизистой основы (рис.3 Б). В результате чего слизистая оболочка отслаивалась и практически петлями «свисала» в просвет кишки. В подслизистой оболочке выявлялись многочисленные очаги воспалительных клеток. У белого толстолобика из Капшагайского водохранилища (близ г.Конаев) в гистоструктуре кишечника также были выявлены деструктивные процессы в виде слущивания эпителиоцитов на верхушках кишечных ворсин и некротических масс в просвете кишки (рис.3.В).



**Рисунок 3** – Гистоструктура кишечника толстолобика из реки Иле, Капшагайского водохранилища и прудового хозяйства. Окраска гематоксилин-эозин. Увеличение x 200.

А – прудовое хозяйство: нормальная структура кишечника (все слои хорошо выражены мышечный слой прилегает к подслизистой основе, кишечные ворсинки с неповрежденными эпителиоцитами;

Б – из верхнего течения реки Иле: видны процессы расслоения оболочек стенки кишки, отек подслизистого слоя, воспалительные инфильтраты, истончение ворсинок и их отслоение;

В – из Капшагайского водохранилища: слущивание эпителиоцитов на верхушках кишечных ворсин

### Результаты морфометрического анализа

Как видно из таблицы 3, измеренные показатели внутренних органов (жабр, печени, кишечника) у белого толстолобика из разных участков реки Иле, Капшагайского водохранилища, прудового хозяйства количественно отражают вышеописанные гистопатологические наблюдения. Так, средняя площадь, занимаемая отечной соединительной тканью у оснований жаберных пластинок, была высокой у белого толстолобика из разных участков реки Иле (№1- №3) и Капшагайского водохранилища близ г. Конаев (№4), низкой у рыб из северной части Капшагайского водохранилища (№5) и практически не обнаруживалась у рыб

из прудового хозяйства. Длина ламелл, наоборот, уменьшалась в той же последовательности. Количество дистрофически измененных и некротизированных гепатоцитов в сотни и десятки раз было выше у рыб из точек исследования №1- № 4 и меньше из № 5- №6, а изменение числа интактных (неповрежденных) клеток имело обратную тенденцию. Высота кишечных ворсинок и глубина крипт также достоверно уменьшались у белого толстолобика из пунктов исследования № 1-№4 по сравнению с № 5- №6. Количество воспалительных инфильтратов в подслизистой основе кишечника было высоким у рыб из пунктов исследования № 1-№4 также по сравнению с №5- №6.

**Таблица 3** – Результаты морфометрического исследования органов белого толстолобика из разных участков реки Иле, Капшагайского водохранилища и прудового хозяйства (mean ± S.D.), май-июнь 2023 года

Точки исследования	Жабры		Печень			Кишечник		
	Средняя площадь отека у оснований жаберных пластинок, мм <sup>2</sup>	Длина ламелл, мкм	Кол-во дистрофических гепатоцитов	Кол-во некротизированных гепатоцитов	Кол-во интактных гепатоцитов	Высота ворсинок, мкм	Глубина крипты, мкм	Кол-во воспалительных инфильтратов
№ 1	7.6 ± 1.2***	65.1±3.3**	155.0 ± 10.0***	89.0 ± 5.4***	10 478 ± 96**	64.8 ± 3.8**	70.5 ± 3.5**	10.6 ± 2.2**
№ 2	5.6 ± 1.6***	69.8 ± 5.2**	130.6 ± 17.2***	68.4 ± 4,8***	11 564 ± 56**	85.2 ± 5,8**	78.8 ± 3.8**	9.2 ± 2.4**
№ 3	3.8 ± 0.9***	77.0 ± 5.0**	123.8 ± 16.2***	58.6 ± 3,8***	12982 ± 95**	98.4 ± 6.3**	85.6 ± 4.5**	8.8 ± 1.9**

Точки исследования	Жабры		Печень			Кишечник		
	Измененные показатели	Средняя площадь отека у оснований жаберных пластинок, мм <sup>2</sup>	Длина ламелл, мкм	Кол-во дистрофических гепатоцитов	Кол-во некротизированных гепатоцитов	Кол-во интактных гепатоцитов	Высота ворсинок, мкм	Глубина крипты, мкм
№4	6.1 ± 1.4***	55.6 ± 3.4**	162.5 ± 15.0***	64.0 ± 5.3***	10 592 ± 52*	84.2 ± 5.8**	65.5 ± 5.2**	9.5 ± 1.3**
№5	1.2 ± 0.5**	115.5 ± 8.6	12.0 ± 1.5*	1.0 ± 0.2*	15 450 ± 72*	112.7 ± 5.8*	90.5 ± 5.5**	1.8 ± 0.4*
№6	0.0 ± 0.0	116.8 ± 8.4	11.0 ± 1.5	0.0 ± 0.0	16 554 ± 53	114.8 ± 5.8	120.7 ± 1.2	0.5 ± 0.0

Примечание: \*-P≤0,05; \*\* – P≤0,01; \*\*\*-P≤0,001 по сравнению с данными точки исследования №6 (прудовое хозяйство)

Таким образом, на основании результатов гистологических и морфометрических исследований можно заключить, что самая высокая встречаемость рыб с гистопатологиями жабр, печени и кишечника наблюдается в реке Иле (верхнее течение) и в Капшагайском водохранилище около плотины и г. Конаев (№1 – №4), в меньшей степени в северной части Капшагайского водохранилища около насосных станций (№5). Рыбы из прудового хозяйства (№6) можно считать практически здоровыми. Эти данные соотносятся с содержанием ТМ в воде на исследованных участках, то есть, по-видимому, происходит их биоаккумуляция во внутренних органах рыб, что и приводит к деструктивным процессам в организме.

### Заключение

Проведенный гидрохимический анализ поверхностных вод из разных участков реки Иле и Капшагайского водохранилища показал присутствие следующих тяжелых металлов: Ni, Mn, Co, Pb, Cr, Fe, Zn, Cu, Cd, три из которых: Pb, Zn и Cu превышали уровень ПДК<sub>рх</sub>. В то же время содержание ТМ в поверхностных водах прудового хозяйства было в пределах нормативных значений. Выявленное увеличение содержания ТМ в поверхностных водах реки Иле и Капшагайского водохранилища в мае-июне 2023 года, вероятно, является следствием трансграничного загрязнения стока с территории сопредельных государств (КНР и РК) [23]. Исследование гистоструктуры органов белого толстолобика из разных участков реки Иле и Капшагайского водохранилища выявило следующие изменения: в жабрах белого толстолобика из реки Иле

и Капшагайского водохранилища наблюдались гистопатологические изменения в виде отеков у основания пластинок и в покрывающем их вторичном эпителии (ламеллы), гиперплазия, слияние пластинок и эпителиальный некроз, полнокровие; в печени преобладали деструктивные процессы в виде расстройств кровообращения, межтрабекулярного и вокруг сосудистого отека, гидropической дистрофии и некроза клеток паренхимы органа; в кишечнике обнаруживались все признаки воспалительных и некротических процессов в виде отека подслизистой основы, некроза и слушивания эпителиальных клеток. Гистопатологические наблюдения полностью подтверждались морфометрическим анализом структурных элементов в различных органах. Наблюдаемые гистопатологические изменения в различных органах белого толстолобика, вероятно, происходят в результате накопления тяжелых металлов Pb, Zn и Cu, уровень которых превышал нормы ПДК<sub>рх</sub> из разных участков реки Иле и Капшагайского водохранилища. Также, вероятно, длительное накопление других микроэлементов и металлов-токсикантов даже в незначительных количествах способно вызвать изменения в биохимических реакциях, а затем и в структуре органов. Белый толстолобик, как известно, питается фитопланктом, который может в значительной степени накапливать ТМ из воды. Попадая в организм, в отличие от органических токсикантов, тяжелые металлы не подвергаются каким-либо существенным превращениям и включившись в биохимический цикл, они крайне медленно выводятся из него [24]. Как правило, ТМ входят в комплекс с белками, аминокислотами и другими биологически активными соединениями, поэтому могут

вызвать нарушение биохимических и физиологических функций организма, отравление и гибель рыб [25]. Кумуляция вредных веществ тканями промысловых рыб создает угрозу влияния на организм человека через рыбные продукты, употребляемые в пищу. Введение в аквакультуру белого толстолобика и других промысловых рыб на прудовых хозяйствах РК с чистой водой может быть одним из путей решения продовольственной программы.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках грантового проекта Комитета науки Министерства науки и высшего образования [AP14869740] «Биотестирование воды и донных отложений реки Иле и Капшагайского водохранилища, прогнозирование экологического риска для биоразнообразия исследуемых экосистем». Научный руководитель – д.б.н., профессор Т.М.Шалахметова

## Литература

1. WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th ed.; WHO: Geneva, Switzerland, 2011; pp. 155–202.
2. Иваненко Н.В., Экологическая токсикология: учебное пособие. Владивосток: ВГУЭС. – 2006. – С. 108.
3. Хуснутдинова Р.Л., Исхакова А.Т., Содержание тяжелых металлов в тканях и органах рыб реки белая // Самарский научный вестник. 2018. Т. 7. № 2 (23).
4. Sardar, K.; Ali, S.; Hameed, S.; Afzal, S.; Fatima, S.; Shakoор, M.B.; Bharwana, S.A.; Tauqeer, H.M. Heavy Metals Contamination and what are the Impacts on Living Organisms. Greener J. Environ. Manage. Public Safety 2013, 2, 172–179.
5. WHO. Water-Related Diseases; Lead Poisoning. Available online: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/lead/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/lead/en/) (accessed on 1 May 2015).
6. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология: монография. М.: Наука. 2009. 400 с.
7. Paul K.S. Lam. Use of biomarkers in environmental monitoring. // Ocean & Coastal Management. – 2009. – No52. – P.348- 354.
8. Zhang W, Ma L, Abuduwaili J, Ge Y, Issanova G, Saparov G. (2020) Distribution characteristics and Assessment of heavy metals in the surface water of the Syr Darya River, Kazakhstan. Pol J Environ Studies 29(1): 979-988.
9. Будников Г.Н. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – No 5. – С.23-29.
10. Чемагин, А. А. Биоаккумуляция тяжелых металлов двумя видами бентосоядных рыб: стерлядь *Acipenser ruthenus* и лещ *Abramis brama* (обзор данных) / А. А. Чемагин, Г. И. Волосников // Евразийское Научное Объединение. – 2018. – No 9-1 (43). – С.42-45. – DOI 10.5281/zenodo.1443461. – EDN VBHCAY.
11. Burlibaev M. Zh., Dostaj Zh.D., Mirhashimov I., Nikolaenko A.Ju. Sovremennoe sostojanie hozjajstvennoj dejatel'nosti v Ile-Balhashskom bassejne. Integrirovannoe upravlenie vodnymi resursami v Ile-Balkashskom bassejne. UNDP. – Almaty, 2011. – S. 3-16.
12. Water quality – Sampling – Part 1: Guidance on the design of sampling programs (Качество воды. Отбор проб. Руководство по составлению программ отбора проб) // Международный стандарт. ISO 5667-1:1982.
13. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб // Межгосударственный стандарт. – 2012. – 25с. Другов Ю. С., Родин А. А. Анализ загрязненной воды: практическое руководство. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 678 с.
14. Другов Ю. С., Родин А. А. Анализ загрязненной воды: практическое руководство. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 678 с.
15. Прайс В. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия. – Москва: Мир, 1976. – 235 с.
16. Ромейс Б. Микроскопическая техника / Пер. с нем. проф. В. Я. Александрова и З. И. Крюкова; под ред. и с предисл. проф. И. И. Соколова. – Москва: Изд-во иностр. лит., 1954. – 719 с.
17. Минеев А.К. Морфофункциональные изменения у леща *Abramis brama* Саратовского водохранилища // Вопросы рыболовства, 2015, том 16, №3; с. 332-350.
18. Lawrens A.J., Arukwe A., Moor M. et al. Mollecular/cellular processes and the physiological response to pollution // Effects of Pollution on Fish / Ed. A.J. Lawrens, K.L. Hemingway. N.Y.: Blackwell Sci., 2003. P. 83 – 133.
19. Parashar Ram Sanehi, Banerjee Tarun Kumar Toxic impact of lethal concentration of lead nitrate on the gills of air-breathing catfish (*Heteropneustes fossilis* (Bloch)) // Ver. Arh. 2002. – 72, № 3. P. 167 –183.
20. Heath A.G. Water Pollution and Fish Physiology. L.: Lewis Publ., 2002. 506 p.
21. Rashid Alijani Ardeshir, Abdolali Movahedinia\*, dna Sara Rastga. Fish Liver Biomarkers for Heavy Metal Pollution: A Review Article// American Journals of Toxicology 2017, 2:1-8.
22. Mitra V and Metcalf J. Metabolic functions of the liver// Anaesth Intensive Care Med. 2009,10(7):334-335.
23. Э.А. Турсунов. Возможные изменения качества поверхностных вод на трансграничном посту р. Или – пр. Дубуль// Гидрометеорология и экология. -2011.-№2.-с. 11-20.
24. Т.А. Лобанова. Особенности накопления тяжелых металлов промысловыми видами рыб// Вестник КГУ им. Н.А.Некрасова, 2008, №3, с. 22-24.
25. Manoj Kumar, Shefalee Singh, Anamika Jain, Seema Yadav, Aastha Dubey, Sunil P. Trivedi A review on heavy metal-induced toxicity in fishes: Bioaccumulation, antioxidant defense system, histopathological manifestations, and transcriptional profiling of genes// Journal of Trace Elements in Medicine and Biology.-2024 – <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2023.127377>

## References

1. WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th ed.; WHO: Geneva, Switzerland, 2011; pp. 155–202.
2. Ivanenko N.V., Environmental toxicology: textbook. Vladivostok: VGUES. – 2006. – P. 108.
3. Khusnutdinova R.L., Iskhakova A.T., The content of heavy metals in the tissues and organs of fish in the White River // Samara Scientific Bulletin. 2018. T. 7. Ne 2 (23).
4. Sardar, K.; Ali, S.; Hameed, S.; Afzal, S.; Fatima, S.; Shakoor, M.B.; Bharwana, S.A.; Tauqeer, H.M. Heavy Metals Contamination and what are the Impacts on Living Organisms. Greener J. Environ. Manage. Public Safety 2013, 2, 172–179.
5. WHO. Water-Related Diseases; Lead Poisoning. Available online: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/lead/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/lead/en/) (accessed on 1 May 2015).
6. Moiseenko T.I. Aquatic ecotoxicology: monograph. M.: Science. 2009. 400 p.
7. Paul K.S. Lam. Use of biomarkers in environmental monitoring. // Ocean & Coastal Management. – 2009. – No52. – P.348-354.
8. Zhang W, Ma L, Abuduwaili J, Ge Y, Issanova G, Saporov G. (2020) Distribution characteristics and Assessment of heavy metals in the surface water of the Syr Darya River, Kazakhstan. Pol J Environ Studies 29(1): 979-988.
9. Budnikov G.N. Heavy metals in environmental monitoring of water systems // Soros educational journal. – 1998. – No. 5. – P.23-29.
10. Chemagin, A. A. Bioaccumulation of heavy metals in two species of benthic fish: sterlet *Acipenser ruthenus* and bream *Abramis brama* (data review) / A. A. Chemagin, G. I. Volosnikov // Eurasian Scientific Association. – 2018. – No. 9-1 (43). – P.42-45. – DOI 10.5281/zenodo.1443461. -EDN VBHCAY.
11. Burlibaev M. Zh., Dostaj Zh.D., Mirhashimov I., Nikolaenko A.Ju. Sovremennoe sostojanie hozjajstvennoj dejatel'nosti v Ile-Balhashskom bassejne. Integrirovannoe upravlenie vodnymi resursami v Ile-Balkashskom bassejne. UNDP. – Almaty, 2011. – S. 3-16.
12. Water quality – Sampling – Part 1: Guidance on the design of sampling programs (Water quality. Sampling. Guidelines for designing sampling programs) // International standard. ISO 5667-1:1982.
13. GOST 31861-2012. Water. General requirements for sampling // Interstate standard. – 2012. – 25 p. Drugov Yu. S., Rodin A. A. Analysis of contaminated water: a practical guide. – M.: BINOM. Knowledge Laboratory, 2012. – 678 p.
14. Drugov Yu. S., Rodin A. A. Analysis of contaminated water: a practical guide. – M.: BINOM. Knowledge Laboratory, 2012. – 678 p.
15. Price V. Analytical atomic absorption spectroscopy. – Moscow: Mir, 1976. – 235 p.
16. Romeis B. Microscopic technology / Transl. with him. prof. V. Ya. Alexandrov and Z. I. Kryukova; Ed. and with a preface. prof. I. I. Sokolova. – Moscow: Foreign publishing house. lit., 1954. – 719 p.
17. Mineev A.K. Morphofunctional changes in the bream *Abramis brama* of the Saratov reservoir // Fisheries Issues, 2015, volume 16, No. 3; With. 332-350.
18. Lawrens A.J., Arukwe A., Moor M. et al. Molecular/cellular processes and the physiological response to pollution // Effects of Pollution on Fish / Ed. A.J. Lawrens, K.L. Hemingway. N.Y.: Blackwell Sci., 2003. P. 83 – 133.
19. Parashar Ram Sanehi, Banerjee Tarun Kumar Toxic impact of lethal concentration of lead nitrate on the gills of air-breathing catfish (*Heteropneustes fossilis* (Bloch)) // Ver. Arh. 2002. – 72, No. 3. P. 167 –183.
20. Heath A.G. Water Pollution and Fish Physiology. L.: Lewis Publ., 2002. 506 p.
21. Rashid Alijani Ardeshir, Abdolali Movahedinia\*, dna Sara Rastga. Fish Liver Biomarkers for Heavy Metal Pollution: A Review Article // American Journals of Toxicology 2017, 2: 1-8.
23. E.A. Tursunov. Possible changes in the quality of surface water at the transboundary post of the river. Or – Dubun Ave. // Hydrometeorology and Ecology. -2011.-No.2.-p. 11-20.
24. T.A. Lobanova. Peculiarities of accumulation of heavy metals in commercial fish species // Bulletin of KSU named after. N.A. Nekrasova, 2008, No. 3, p. 22-24.
22. Mitra V and Metcalf J. Metabolic functions of the liver // Anaesth Intensive Care Med. 2009,10(7):334-335.
25. Manoj Kumar, Shefalee Singh, Anamika Jain, Seema Yadav, Aastha Dubey, Sunil P. Trivedi A review on heavy metal-induced toxicity in fishes: Bioaccumulation, antioxidant defense system, histopathological manifestations, and transcriptional profiling of genes // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. -2024 – <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2023.127377>

### **Сведения об авторах:**

*Шалахметова Тамара Минажевна – доктор биологических наук, профессор кафедры биоразнообразия и биоресурсов факультета биологии и биотехнологии Казахского Национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, email: [t\\_shalakhmetova@mail.ru](mailto:t_shalakhmetova@mail.ru))*

*Уахитқанова Фанижамал Ардаққызы – магистр естественных наук Казахского Национального университета имени аль-Фараби кафедры биоразнообразия и биоресурсов факультета биологии и биотехнологии (Алматы, Казахстан, email: [genetics.uakhtg@gmail.com](mailto:genetics.uakhtg@gmail.com))*

*Кожжахметова Диана Дарханқызы – магистрант Казахского Национального Университета имени Аль-Фараби, кафедры биоразнообразия и биоресурсов факультета биологии и биотехнологии (Алматы, Казахстан, e-mail: [ddiyeol@mail.ru](mailto:ddiyeol@mail.ru))*

*Тленишьева Аршын Муратқызы – докторант Казахского Национального Университета имени Аль-Фараби, кафедры биоразнообразия и биоресурсов факультета биологии и биотехнологии (Алматы, Казахстан, e-mail: [arshynmuratkyzy@gmail.com](mailto:arshynmuratkyzy@gmail.com))*

*Чекимбаева Дарина Талгатовна – стажер-исследователь Казахского Национального Университета имени Аль-Фараби, кафедры биоразнообразия и биоресурсов факультета биологии и биотехнологии (Алматы, Казахстан, e-mail: dchekimbaeva@mail.ru)*

**Information about authors:**

*Tamara Shalakhmetova (corresponding author) – doctor of biological sciences, professor of the Department of Biodiversity and bioresources of Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, email: t\_shalakhmetova@mail.ru)*

*Uakhitkanova Ganizhamal Ardakkyzy (corresponding author) – Master of Natural sciences of Al-Farabi Kazakh National University, Department of Biodiversity and (Almaty, Kazakhstan, email: genetics.uakhitg@gmail.com)*

*Diana Kozhakhmetova – Master student of Al-Farabi Kazakh National University, Department of Biodiversity and bioresources of the Biology and biotechnology faculty (Almaty, Kazakhstan) email: ddiyeol@mail.ru)*

*Tlenshiyeva Arshyn – Doctor student of Al-Farabi Kazakh National University, Department of Biodiversity and bioresources of the biology and biotechnology faculty (Almaty, Kazakhstan email: arshynmuratkyzy@gmail.com)*

*Chekimbayeva Darina – trainee-researcher of Al-Farabi Kazakh National University, Department of Biodiversity and bioresources of the biology and biotechnology faculty (Almaty, Kazakhstan, e-mail: dchekimbaeva@mail.ru)*

*Поступила 9 июля 2024 года  
Принята 25 декабря 2024 года*

**Е.Х. Мендыбаев<sup>1</sup>**, **Ж.Г. Берденов<sup>1</sup>**, **Т.М. Танкибаев<sup>1</sup>**,  
**С.И. Альмурзаева<sup>2</sup>**, **Р.М. Муратов<sup>1</sup>**, **М.Ж. Жумагул<sup>3,4\*</sup>**

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Гумилева, г. Астана, Казахстан

<sup>2</sup>Международный центр зелёных технологий и инвестиционных проектов, г. Астана, Казахстан

<sup>3</sup>Международный университет Астана, г. Астана, Казахстан

<sup>4</sup>Астанинский ботанический сад, г. Астана, Казахстан

\*e-mail: mzhakypzhan@mail.ru

## ПОТЕНЦИАЛ РАСЧЕТА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В МАНГЫСТАУСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье описано исследование о потенциале солнечной энергии в Мангыстауской области. В данной работе представлены карты прихода солнечной радиации кВт.ч/м<sup>2</sup>/день по ключевым месяцам: январю, апрелю, июлю, октябрю и за год. Был проведен расчет потенциала прихода солнечной энергии, которую может получить фотоэлектрический модуль за год работы в Мангыстауской области, в районе города Актау. Полученные результаты дают представление о приходе солнечной радиации на вертикальную поверхность. Результаты исследования могут быть использованы для дальнейших, более глубоких расчетов прихода солнечной радиации, не только для Мангыстауской области, но и для других регионов, где имеется потенциал выработки солнечной энергии. Проведение тестовых расчетов показало хорошее согласие с представленными в литературе.

**Ключевые слова:** солнечная радиация, расчет потенциала, энергия, Мангыстауская область.

E.Kh. Mendibaev<sup>1</sup>, Zh.G. Berdenov<sup>1</sup>, T.M. Tankibaev<sup>1</sup>,  
S.I. Almurzaeva<sup>2</sup>, R.M. Muratov<sup>1</sup>, M.Zh. Zhumagul<sup>3,4\*</sup>

<sup>1</sup>Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup>International Center for Green Technologies and Investment Projects, Astana, Kazakhstan

<sup>3</sup>Astana International University, Astana, Kazakhstan

<sup>4</sup>Astana Botanical Garden, Astana, Kazakhstan

\*e-mail: mzhakypzhan@mail.ru

### Estimated solar energy potential in Mangystau oblast

The paper describes a study on the potential of solar energy in Mangystau oblast. This paper presents maps of solar radiation arrival kWh/m<sup>2</sup>/day by key months: January, April, July, October and for a year. A calculation of the solar energy potential, which can be received by the PV module for a year of operation in Mangystau region, near the city of Aktau, was carried out. The results obtained give an idea of the solar radiation arrival on the vertical surface. The results of the study can be used for further, more in-depth calculations of the arrival of solar radiation, not only for Mangystau region, but also for other regions where there is a potential for solar energy generation. Test calculations showed good agreement with those presented in the literature.

**Key words:** solar radiation, potential calculation, energy, Mangystau region.

Е.Х. Мендыбаев<sup>1</sup>, Ж.Г. Берденов<sup>1</sup>, Т.М. Танкибаев<sup>1</sup>,  
С.И. Альмурзаева<sup>2</sup>, Р.М. Муратов<sup>1</sup>, М.Ж. Жумагул<sup>3,4\*</sup>

<sup>1</sup>А.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Халықаралық жасыл технологиялар және инвестициялық жобалар орталығы, Астана қ., Қазақстан

<sup>3</sup>Астана Халықаралық университеті, Астана қ., Қазақстан

<sup>4</sup>Астана ботаникалық бағы, Астана қ., Қазақстан

\*e-mail: mzhakypzhan@mail.ru

### Маңғыстау облысында күн энергиясын есептеу әлеуеті

Мақалада Маңғыстау облысындағы күн энергиясының әлеуеті туралы зерттеу сипатталған. Бұл жұмыста кВт күн радиациясының келу карталары ұсынылған. негізгі айлар бойынша сағ/м<sup>2</sup>/күн: қаңтар, сәуір, шілде, қазан және жыл. Маңғыстау облысында, Актау қаласы ауданында жұмыс істеген жылы фото-электр модулі алатын күн энергиясының келу әлеуетін есептеу жүргізілді. Алынған нәтижелер күн радиациясының тік бетке келуі туралы түсінік береді. Зерттеу

тижелері Маңғыстау облысы үшін ғана емес, сонымен қатар күн энергиясын өндіру әлеуеті бар басқа аймақтар үшін де күн радиациясының келуін одан әрі, тереңірек есептеу үшін пайдаланылуы мүмкін. Тесттік есептеулерді жүргізу әдебиетте ұсынылғандармен жақсы келісімді көрсетті.

**Түйін сөздер:** күн радиациясы, потенциалды есептеу, энергетика, Маңғыстау облысы.

## Введение

Человечество еще с давних времен начало использовать солнечную энергию в своих целях. В третьем веке до нашей эры римляне и греки использовали горящие зеркала для зажигания факелов во время религиозных церемоний. Согласно историческим записям, в 212 году до нашей эры греческий ученый Архимед использовал отражающие свойства солнечного света и бронзовые щиты, чтобы поджечь деревянные корабли Римской империи, осаждавшие Сиракузах [9]. Рассматривая современный период исследования потенциала солнечной энергии, тут можно отметить, что в 1816 году Роберт Стирлинг, министр Шотландии, подал заявку на патент на инновационный экономайзер. Министерство энергетики сообщает, что в свободное время Стирлинг строил тепловые двигатели, которые позже будут использоваться в солнечной тепловой электрической технологии для производства энергии. Эдмон Беккерель открыл принцип солнечной энергии в 1839 году [9]. Во время работы ученый обнаружил, что некоторые материалы могут генерировать напряжение и электрический ток под воздействием света. Рассел С. Ол был американским инженером, известным исследователем полупроводников [9]. В 1839 году он открыл PN-переход (имеющий положительную и отрицательную стороны внутри монокристаллического полупроводника). Он изучал проводимость и свойства различных типов кристаллов. Его работа с полупроводниками и PN-переходом привела к созданию таких вещей, как транзисторы, светодиоды и лазерные диоды, а в 1841 году он создал первый кремниевый солнечный элемент, конструкция которого до сих пор используется в современных солнечных фотоэлектрических (PV) панелях [9]. В дальнейшем методику расчета потенциала солнечной энергии предложили исследователи Д. Даффи и У. Бекман. На основе их методики мы в дальнейшем будем вычислять потенциал прихода солнечной энергии в Мангыстауской области. В итоге развитие технологий и знаний в области получение и использование солнечной энергии шло с давних времен. На сегодняшний день роль возобновляемых источников энергии и солнечной энергии растет с каждым годом.

Для Республики Казахстан это открывает новые возможности улучшения своей энергетической безопасности, так как в связи с ростом дефицита энергии, который к 2030 году составит 6 ГВт. А также имеющимся обязательствами страны по снижению выбросов парниковых газов, прописанные в Киотском протоколе и Парижском соглашении, развитие альтернативных источников энергии является одной из перспективных направлений развития энергетики Казахстана в ближайшем будущем.

## Материалы и методы

В качестве территории исследования была выбрана Мангыстауская область. Мангыстауская область расположена на юго-западе Республики Казахстан, омывается водами Каспийского моря. Климат резко-континентальный, засушливый. Крупнейший город – Актау 193 тыс. человек по данным за 2020 год [2]. Выбор территории обусловлен перспективой развития региона. Мангыстауская область обретает все большее значение в качестве логистического хаба, «воротами» Казахстана в мировое сообщество, а также рост численности населения, по которому регион является один из лидеров РК и рост промышленного производства требует больше электроэнергии. Методика оценки потенциала расчета солнечной энергии состоит из трех этапов.

Первым этапом оценки потенциала возобновляемой энергии работа является сбор данных. Источником данных для исследования является база данных NASA POWER. В базе данных содержатся данные возобновляемых источников энергии по всему миру. Команда POWER предоставляет Data Access Viewer, веб-инструмент ГИС, который позволяет любому увидеть и изучить различные переменные, связанные с возобновляемыми источниками энергии, в любом месте по всему миру. Для оценки потенциала солнечной энергии в Мангыстауской области нам необходимо собрать почасовые данные о приходе солнечной радиации на горизонтальную поверхность кВт.ч/м<sup>2</sup>/день. Почасовые данные по приходу солнечной радиации больше подходят для максимальных и достоверных исследований.



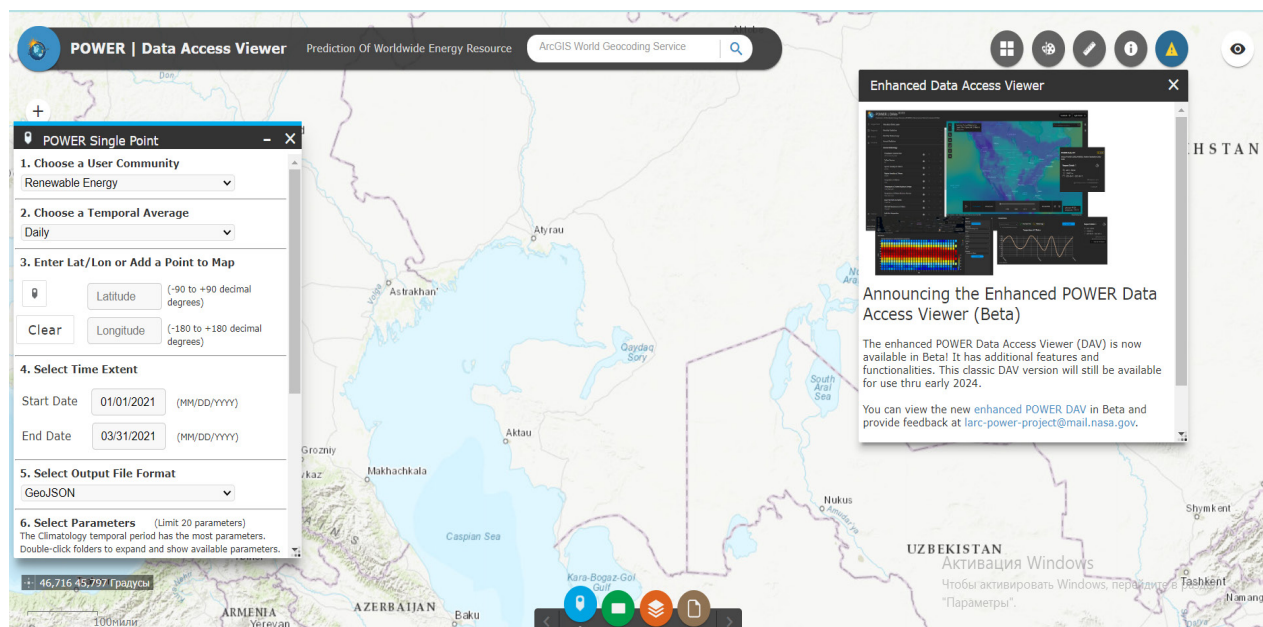


Рисунок 1 – Интерфейс сайта NASA POWER

Вторым этапом работы является оценка потенциала прихода солнечной радиации на вертикальную поверхность. Для оценки потенциала энергии мы будем использовать методику, которые разработали ученые Джон Даффи и Уильям Бекман, которую описали в своей книге «Основы солнечной теплоэнергетики».

*Источники данных для оценки ресурсов и потенциалов солнечной энергии*

Основными источниками данных о потоках солнечной радиации и характеристиках:

- результаты многолетних измерений на метеорологических и актинометрических станциях;
- результаты математического моделирования, проводимого с использованием данных спутниковых и наземных наблюдений;
- аналитические расчеты для приходящей солнечной радиации на основе формул солнечной геометрии.

Относительно технических характеристик оборудования, входящего в состав солнечных электростанций – СЭС (или солнечных установок – СЭУ) – можно применить следующие допущения. Стандартная СЭС (СЭУ), соединенная с электрической сетью (т.е. не имеющая в своем составе аккумулирующих устройств) включает в себя следующие элементы:

- солнечную батарею, состоящую из современных высокоэффективных фотоэлектрических модулей (ФЭМ); КПД преобразования пер-

вичного источника около 21,7% в стандартных условиях, спектр AM 1,5, 1000 Вт/м<sup>2</sup>, 25 °С;

- фотоэлектрический сетевой инвертор, обеспечивающий экстремальное регулирование мощности солнечной батареи и преобразование постоянного тока в переменный. КПД большинства сетевых инверторов находится в диапазоне 97-98 % (зависят от мощности ФЭМ);

- фотоэлектрические инверторы большой мощности обеспечивают работу с трехфазной сетью напряжением 0,4 кВ. Однако для станций от 500 кВт этого напряжения уже недостаточно, поэтому требуется повышающий трансформатор до 10-110 кВ (в зависимости от того, к каким сетям планируется подключение). КПД современных трансформаторов лежит в диапазоне 96-99 % и это практически предел для этой технологии.

Тогда 1 м<sup>2</sup> приемной поверхности ФЭМ в составе СЭС в среднем за год производит энергию:

$$E = I * 0,24 * 0,96 * 365 * 2,07, [8]$$

где:

I = падающая радиация на наклонную поверхность кВт.ч/м<sup>2</sup>/день

0,24 – количество часов в сутках;

0,96 -КПД электрической части;

365 – количество дней в году;

2,07 – площадь необходимая для строительства одной панели.

Вторым этапом является работа с гис-блоком. Целью работы с гис-блоком является получение картографических изображений потенциала солнечной энергии в Мангыстауской области. Всего во время работы мы получим пять карт, четыре из которых карты прихода солнечной энергии на центральные месяцы года: январь, апрель, июль и октябрь, а также одна карта за год.

При построении карт будет использоваться программа Qgis, с помощью которой можно построить необходимые карты. В самой программе, для построения картмы будем использовать инструмент интерполяции IDW (близкого соседства). Инструмент IDW имеет особенность,

связанную с тем, что метод сильно привязан к точкам и на картах можно заметить «шумы», которые немного будут мешать анализу полученных результатов.

### Результаты и их обсуждение

Рассматривая полученную карту за январь, можно заметить, что приход солнечной радиации имеет зональное распределение, наибольшие значения прихода солнечной радиации можно заметить в южных и юго-западных районах области, а наименьшие значения в северных районах Мангыстауской области.

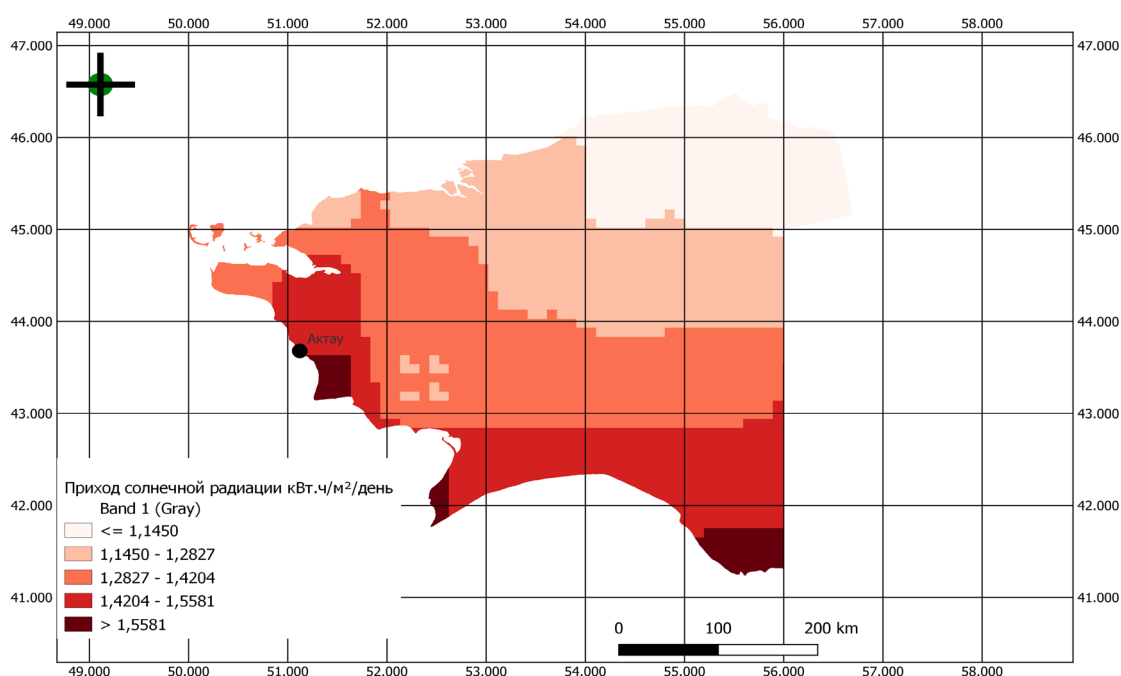


Рисунок 2 – Приход солнечной радиации по Мангыстауской области за январь 2023 года

В апреле наибольшие значения мы можем наблюдать в западной части Мангыстауской области, а наименьший приход солнечной радиации имеется в северо-западных районах региона. Распределение прихода солнечной радиации в апреле имеют преимущественно азональную направленность.

В июле распределение прихода солнечной радиации также имеет зональный характер. Наибольший приход солнечной радиации приходится на южные районы, наименьший – северо-запад области.

Приход солнечной радиации в октябре имеет зональное распределение. Наибольшие значения прихода солнечной радиации юго-восточной части, а меньший приход наблюдается в северо-восточный районах области.

Рассматривая полученную карту за год, мы видим, что распределение прихода солнечной радиации имеет азональный характер. Наибольшие значения прихода солнечной радиации имеются в юго-восточной части Мангыстауской области и постепенно к северо-востоку он уменьшается.

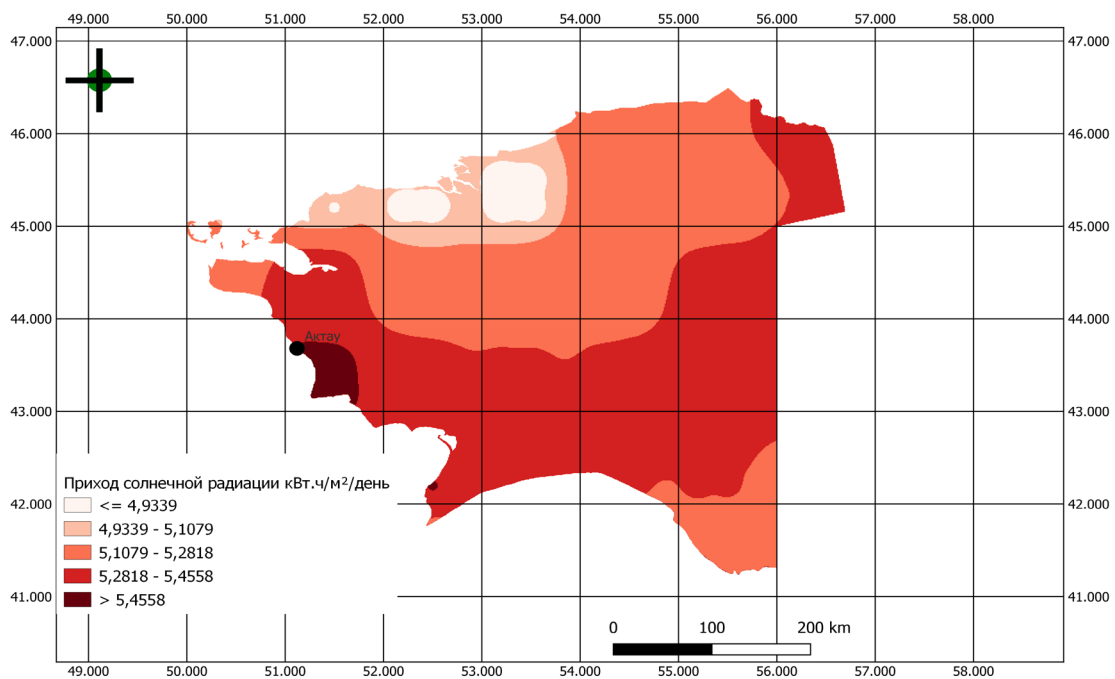


Рисунок 3 – Приход солнечной радиации по Мангыстауской области за апрель 2023 года

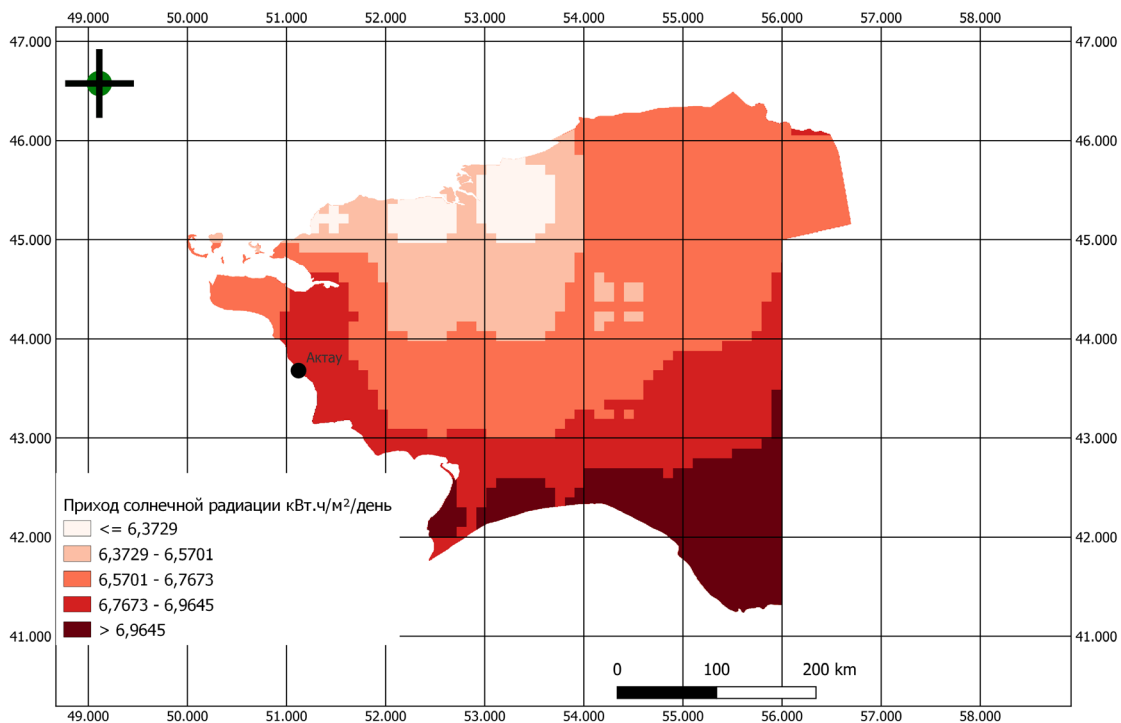


Рисунок 4 – Приход солнечной радиации по Мангыстауской области за июль 2023 года

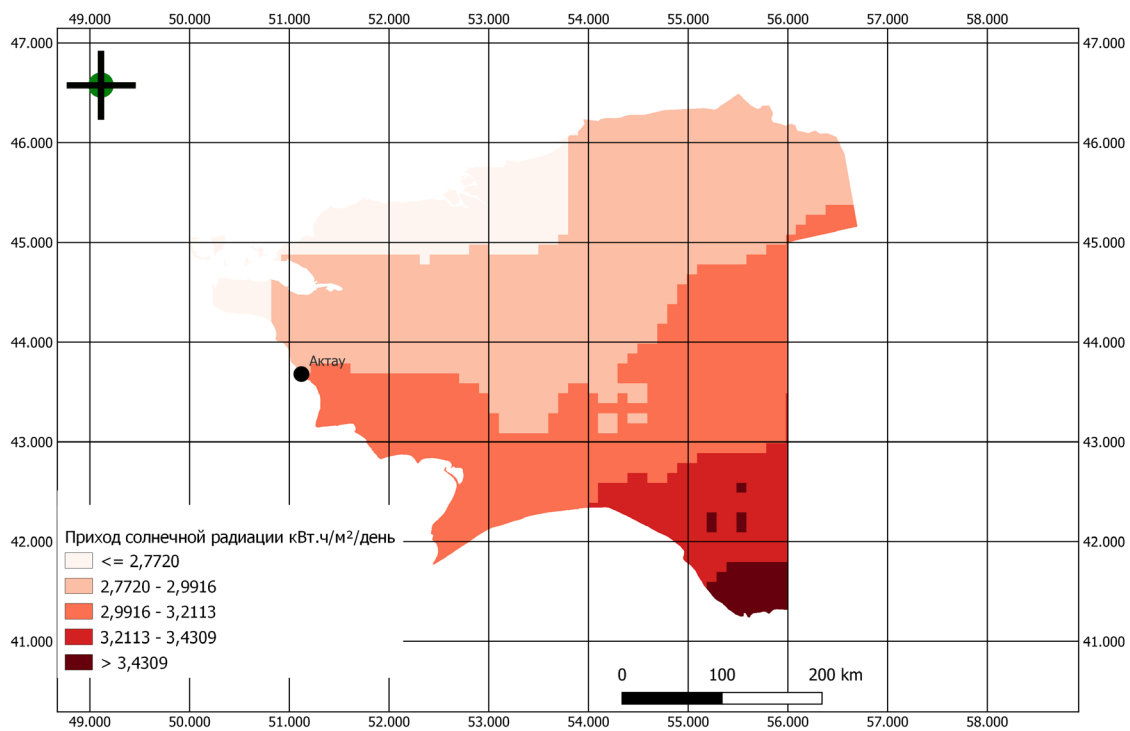


Рисунок 5 – Приход солнечной радиации по Мангыстауской области за октябрь 2023 года

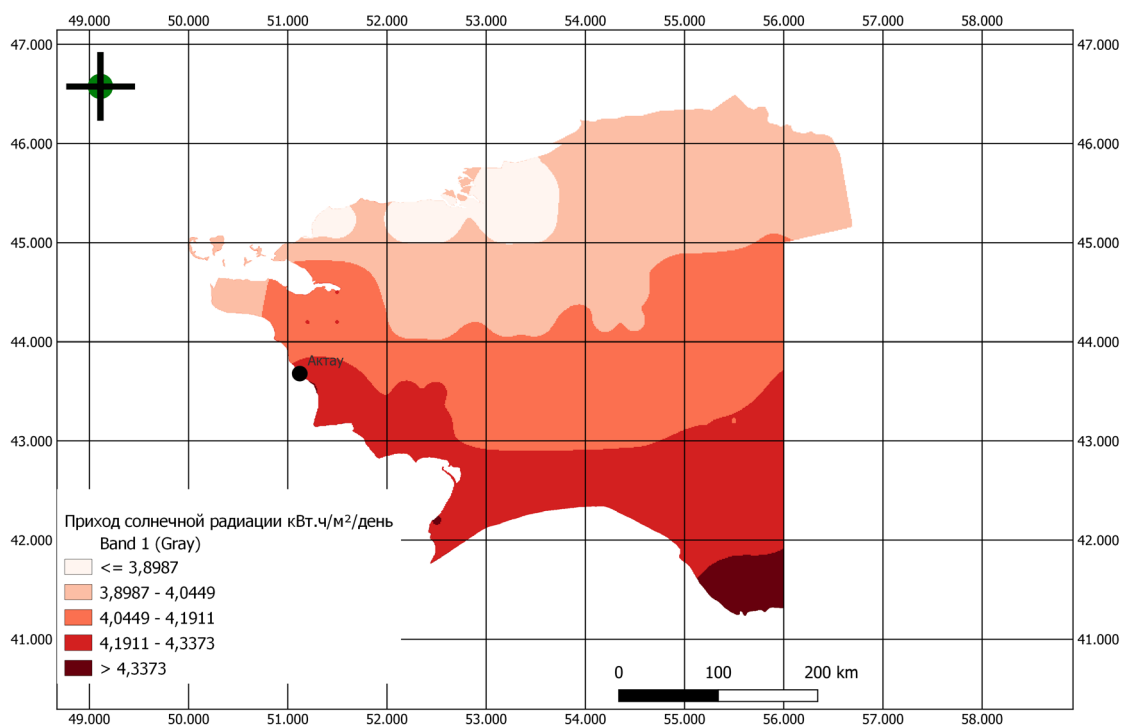


Рисунок 6 – Приход солнечной радиации по Мангыстауской области за 2023 год

Входе расчета производства энергии значение I было решено взять с точки, которая расположена рядом с г. Актау, так как большая часть населения и промышленных мощностей расположена рядом с данным городом. Также с экономической точки зрения, размещение солнечных электростанций рядом с г. Актау уменьшает расходы на логистику и на обслуживание солнечных панелей. В итоге значение I составляет 4,19 кВт.ч/м<sup>2</sup>/день и итоговый результат выглядит таким образом:

$$E = 4,19 * 0,24 * 0,96 * 365 * 2,07 = 729,101$$

729,1 кВт.ч/год выработает одна панель в районе г. Актау Мангыстауской области.

По результатам исследования были получены карты распределения прихода солнечной радиации по центральным месяцам и за год, а также рассчитана производительность одной солнечной панели за год в районе г. Актау Мангыстауской области. Хотелось бы отметить, что полученные результаты могут иметь практическое применение, для решения проблем с электроэнергией не только в Мангыстауской области, но и в других регионах Республики Казахстан.

### Литература

1. База данных NASA POWER. Электронный ресурс. Доступ: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
2. База данных статистических сборников stat.gov. Электронный ресурс. Доступ: <https://stat.gov.kz/>
3. Попель О.С. О перспективных направлениях развития водородной энергетики в России//Доклад на Школе молодых ученых «Возобновляемые источники энергии». Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова. 24 ноября 2020 г.
4. Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории России: науч. издание / Т. И. Андреевко, Т. С. Габдерахманова, О. В. Данилова и др. – РХТУ им. Д.И.Менделеева Москва, 2015. – 160 с.
5. Лим. Н., Жанадилова, Ж., Чадиярова, Д., Бегенова, С., Ким М. Годовой отчет о рынке ВИЭ в Казахстане: потенциал, вызовы и перспективы // отчет PWC 2021 г.
6. Коломиец Ю.Г., Горбаренко Е.В., Киселева С.В., Мордынский А.В., Фрид С.Е., Шиловецова О.А. Актинометрические данные для проектирования солнечных энергоустановок в Московском регионе // Альтернативная энергетика и экология. – 2016. – № 21-22. – С. 12–24.
7. Energy production estimation for kosh-agach grid-tie photovoltaic power plant for different photovoltaic module types / T. S. Gabderakhmanova, S. V. Kiseleva, S. E. Frid, A. B. Tarasenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol. 774, no. 1.
8. Solar Engineering of Thermal Processes / John A. Duffie, William A. Beckman – 2013. – Vol. 944, no. 1.
9. The first 100 years of solar energy's history web-site of GIEnergy company. Access mode: <https://gienergy.com.au/who-invented-solar-panels/#:~:text=Edmond%20Becquerel%20discovered%20the%20principle,current%20when%20exposed%20to%20light.>

### References

1. Baza dannyh NASA POWER. Elektronnyj resurs. Dostup: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (In Russian)
2. Baza dannyh statisticheskikh sbornikov stat.gov. Elektronnyj resurs. Dostup: <https://stat.gov.kz/> (In Russian)
3. Popel' O.S. O perspektivnyh napravleniyah razvitiya vodorodnoj energetiki v Rossii//Doklad na Shkole molodyh uchenykh «Vozobnovlyaemye istochniki energii». Moskva, MGU imeni M.V.Lomonosova.. 24 noyabrya 2020 g. (In Russian)
4. Atlas resursov vozobnovlyaemoj energii na territorii Rossii: nauch. izdanie / T. I. Andreenko, T. S. Gabderahmanova, O. V. Danilova i dr. – RHTU im. D.I.Mendeleeva Moskva, 2015. – 160 s. (In Russian)
5. Lim. N, Zhanadilova, Zh, Chadiarova, D, Begenova, S, Kim. M Godovoj otchet o rynke VIE v Kazahstane: potencial, vyzovy i perspektivy // otchet PWC 2021.g (In Russian)
6. Kolomiec Yu.G., Gorbarenko E.V., Kiseleva S.V., Mordynskij A.V., Frid S.E., Shilovceva O.A. Aktinometricheskie dannye dlya proektirovaniya solnechnykh energoustanovok v Moskovskom regione // Al'ternativnaya energetika i ekologiya. – 2016. – № 21-22. – S. 12–24 (In Russian)
7. Energy production estimation for kosh-agach grid-tie photovoltaic power plant for different photovoltaic module types / T. S. Gabderakhmanova, S. V. Kiseleva, S. E. Frid, A. B. Tarasenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol. 774, no. 1 (In Russian)
8. Solar Engineering of Thermal Processes / John A. Duffie, William A. Beckman – 2013. – Vol. 944, no. 1
9. The first 100 years of solar energy's history website of GIEnergy company. Access mode: <https://gienergy.com.au/who-invented-solar-panels/#:~:text=Edmond%20Becquerel%20discovered%20the%20principle,current%20when%20exposed%20to%20light.>

**Авторлар туралы мәлімет:**

Мендыбаев Ерболат Хамзинович – биология ғылымдарының кандидаты, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университетінің қоршаған ортаны қорғау саласындағы басқару және инжиниринг кафедрасының профессоры (Астана, Қазақстан, электрондық пошта: bskurek@mail.ru)

Берденов Жарас Галимжанович – PhD, қауымдастырылған профессор, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университетінің жаратылыстану ғылымдары факультетінің деканы (Астана, Қазақстан, электрондық пошта: berdenov-z@mail.ru)

Танкибаев Тимур – Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университетінің магистранты, 2 жыл (Астана, Қазақстан, электрондық пошта: timurtankibaev@gmail.com)

Альмурзаева Салтанат Ибрагимовна – биология ғылымдарының кандидаты, халықаралық жасыл технологиялар және инвестициялық жобалар орталығы туралы ең жақсы қолжетімді техникалар бюросының сараптамалық бағалау басқармасының басшысы (Астана, Қазақстан, электрондық пошта: asalt-gholt@mail.ru)

Муратов Руслан Муратович – PhD, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университетінің қоршаған ортаны қорғау саласындағы басқару және инжиниринг кафедрасының аға оқытушысы (Астана, Қазақстан, электрондық пошта: Qazruslan@gmail.com)

Жумагул Молдир Жакыпжановна – PhD, Астана Халықаралық Университетінің қауымдастырылған профессордың м. а. (Астана, Қазақстан, электрондық пошта: mzhakypzhan@mail.ru)

**Information about authors:**

Mendymbayev Yerbolat – candidate of biological sciences, professor of the department of management and engineering in the field of environmental protection of L. N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: bskurek@mail.ru)

Berdenov Zharas – PhD, associate professor, dean of the faculty of natural sciences of L. N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: berdenov-z@mail.ru)

Timur Tankibayev – master's student of L. N. Gumilyov Eurasian National University, 2 years (Astana, Kazakhstan, e-mail: timurtankibaev@gmail.com)

Almurzayeva Saltanat Ibragimovna – candidate of biological sciences, head of the expert assessment department of the bureau of the best available techniques of the international center for green technologies and investment projects (Astana, Kazakhstan, e-mail: asalt-gholt@mail.ru)

Muratov Ruslan Muratovich – PhD, Senior Lecturer of the Department of management and engineering in the field of Environmental Protection of L. N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: Qazruslan@gmail.com)

Zhumagul Moldir Zhakypzhanovna – PhD, acting associate professor of Astana International University (Astana, Kazakhstan, e-mail: mzhakypzhan@mail.ru)

Поступила 02 сентября 2024 года

Принята 26 декабря 2024 года

К.Г. Муратова<sup>1\*</sup> , Б.А. Капсалимов<sup>1</sup> ,  
М.Т. Кожиков<sup>1</sup> , О.М. Досжанов<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

<sup>2</sup>Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан

\*e-mail: muratovak351@gmail.com

## ПОТЕНЦИАЛ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН В СИСТЕМУ ТОРГОВЛИ ВЫБРОСАМИ

В эпоху глобальных климатических вызовов, Казахстан, подобно многим государствам мира, стоит перед необходимостью переосмысления своего подхода к экологической политике. В рамках международных обязательств, в частности Парижского соглашения, наша страна использует различные инструменты регуляции, направленные на сокращение выбросов парниковых газов, ставя перед собой амбициозные, но в то же время реалистичные цели. В контексте этих глобальных усилий Казахстан определил на законодательном уровне ключевые отрасли экономики, которые подлежат регулированию в пределах системы торговли выбросами. В свою очередь, в рамках данного рыночного механизма среди приоритетных сфер, требующих особого внимания и регулирования, выделены лишь энергетика и промышленность. Однако также не менее важными с точки зрения воздействия на изменение климата является сектор транспорта, где потенциал сокращения выбросов также значителен. В связи с этим, учитывая значительный вклад выбросов от мобильных источников в общий объем страновых выбросов парниковых газов и растущей необходимостью достижения глобальных климатических целей, существует насущная потребность в интеграции транспортного сектора в действующие механизмы регулирования выбросов парниковых газов. В данной статье рассмотрены потенциал и перспективы включения транспортного сектора Республики Казахстан в систему торговли выбросами, а именно приведены возможности регулирования выбросов от мобильных источников, представлен подход к оценке, а также выстроена предполагаемая модель их измерения.

**Ключевые слова:** парниковые газы, диоксид углерода, транспортный сектор, мобильные источники, система торговли выбросами, углеродный рынок.

K.G. Muratova<sup>1,\*</sup>, B.A. Kapsalyamov<sup>1</sup>, M.T. Kozhikov<sup>1</sup>, O.M. Doszhanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National university, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup>Almaty technological university, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: muratovak351@gmail.com

### Potential and prospects for integration of the transport sector of the Republic of Kazakhstan into the emissions trading system

In the era of global climate challenges, Kazakhstan, like many countries around the world, faces the necessity of rethinking its approach to environmental policy. As part of international commitments, particularly the Paris Agreement, our country employs various regulatory tools aimed at reducing greenhouse gas emissions, setting ambitious yet realistic goals. In the context of these global efforts, Kazakhstan has identified key economic sectors for regulation within the emissions trading system at the legislative level. Within this market mechanism, priority areas requiring special attention and regulation include only energy and industry. However, the transport sector is also significant in terms of its impact on climate change, where the potential for emission reduction is also considerable. Given the substantial contribution of emissions from mobile sources to the total volume of national greenhouse gas emissions and the growing necessity to achieve global climate goals, there is an urgent need to integrate the transport sector into existing greenhouse gas emission regulatory mechanisms. This article explores the potential and prospects for including the transport sector of the Republic of Kazakhstan in the emissions trading system, specifically presenting the possibilities for regulating emissions from mobile sources, introducing an assessment approach, and constructing a proposed model for their measurement

**Key words:** greenhouse gases, carbon dioxide, transport sector, mobile sources, emissions trading system, carbon market.

К.Г. Муратова<sup>1\*</sup>, Б.А. Капсалямов<sup>1</sup>, М.Т. Кожиков<sup>1</sup>, О.М. Досжанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> А.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

<sup>2</sup> Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

\*e-mail: muratovak351@gmail.com

### Қазақстан Республикасының көлік секторын шығарындыларды сату жүйесіне интеграциялаудың әлеуеті мен перспективалары

Жаһандық климаттық сын-тегеуріндер дәуірінде Қазақстан әлемнің көптеген мемлекеттері сияқты, экологиялық саясатқа өзінің көзқарасын қайта қарастыру қажеттілігінің алдында тұр. Халықаралық міндеттемелердің, атап айтқанда Париж келісімінің бөлігі ретінде біздің еліміз парниктік газдар шығарындыларын азайтуға бағытталған әртүрлі реттеу құралдарын пайдаланады. Олардың алдына өршіл, бірақ сонымен бірге нақты мақсаттар қояды. Осы жаһандық күш-жігердің контекстінде Қазақстан заңнамалық деңгейде шығарындыларды сату жүйесі шегінде реттелуге жататын экономиканың негізгі салаларын айқындады. Өз кезегінде, осы нарықтық тетік шеңберінде ерекше назар аударуды және реттеуді қажет ететін басым салалар арасында тек энергетика мен өнеркәсіп бөлінді. Дегенмен, шығарындыларды азайту әлеуеті де маңызды көлік секторы климаттың өзгеруіне әсер ету тұрғысынан бірдей маңызды. Осыған байланысты елдегі парниктік газдар шығарындыларының жалпы көлеміне мобильді көздер шығарындыларының елеулі үлесін және жаһандық климаттық мақсаттарға қол жеткізу қажеттілігінің артуын ескере отырып, көлік секторын қолданыстағы парниктік газдар шығарындыларын реттеу тетіктеріне біріктірудің шұғыл қажеттілігі бар. Бұл мақалада Қазақстан Республикасының көлік секторын шығарындыларды сату жүйесіне енгізудің әлеуеті мен перспективалары қарастырылған, атап айтқанда, мобильді көздерден шығарындыларды реттеу мүмкіндіктері келтірілген, бағалауға көзқарас ұсынылып, сондай-ақ оларды өлшеудің болжамды моделі құрылған

**Түйін сөздер:** парниктік газдар, көмірқышқыл газы, көлік секторы, мобильді көздер, шығарындыларды сату жүйесі, көміртегі нарығы.

### Введение

На сегодняшний день регулирование выбросов парниковых газов (далее – ПГ) является важным шагом в усилиях по сокращению общего объема выбросов и борьбе с изменениями климата, в частности смягчению воздействий, усиливающих глобальное потепление в мире. основополагающим в реализации данного принципа являются рыночные механизмы Киотского протокола, один из которых представляет собой систему торговли выбросами (далее – СТВ) [1]. Данный механизм неизменно рассматривается как наиболее перспективный инструмент для снижения глобальных выбросов ПГ благодаря своим преимуществам – гибкости, экономии средств и эффективности [2].

Проанализируем нормативно-правовые основы, направленные на увеличения сокращений выбросов ПГ. Казахстан, обладая экономикой, которая находится на стадии развития, пока не разработал четкую стратегию в области транспортного сектора. В связи с этим, рассмотрение в рамках данной статьи потенциала и возможностей интеграции транспортного сектора в СТВ является весьма актуальной. Исходя из этого, определена основная цель статьи, заключающаяся в анализе регуляторных возможностей и

оценки выбросов ПГ транспортного сектора на основе предложенного подхода.

СТВ является одним из инструментов регулирования выбросов ПГ, который применяется в различных странах, включая Республику Казахстан (далее – РК). В нашей стране СТВ была введена с целью постепенного снижения воздействия промышленности на климат и стимулирования перехода страны к низкоуглеродной экономике в соответствии с международными обязательствами по борьбе с изменениями климата. Эта система направлена на сокращение общего объема выбросов ПГ на национальном уровне через установление и распределение экономических стимулов для предприятий и организаций, а также куплю и продажу лимитов, то есть квот на общий объем выбросов ПГ участниками системы. Таким образом, СТВ стимулирует компании к сокращению выбросов. Следовательно, это должно привести к развитию зеленых технологий и постепенному переходу к более устойчивым моделям ведения бизнеса.

На сегодняшний день рамках СТВ РК определен перечень видов ПГ, подлежащих регулированию. Это диоксид углерода (CO<sub>2</sub>), метан (CH<sub>4</sub>), закись азота (N<sub>2</sub>O), гидрофторуглероды (ГФУ), перфторуглероды (ПФУ) и гидроксид серы (SF<sub>6</sub>) [3]. В свою очередь, среди всех видов



ПГ квотированию подлежат диоксид углерода, то есть на данный вид газа устанавливаются соответствующие лимиты выбросов [4], а первые три вида ПГ напрямую регулируются Монреальским соглашением [5].

Стоит отметить, что по действующему на сегодняшний день законодательству в перечень секторов экономической деятельности, подлежащих регулированию выбросов ПГ, отнесены исключительно следующие сектора, такие как, энергетика и промышленность. В сектор промышленности включены нефтегазовая, металлургическая, горнодобывающая, химическая и обрабатывающая отрасли. В свою очередь, согласно Киотскому протоколу в данный перечень секторов, потенциально подлежащих регулированию, также входят обращение с отходами, автотранспорт, сельское и лесное хозяйство, что в рамках СТВ РК является непредусмотренным. Однозначно отсутствие обязательного регулирования выбросов ПГ в прочих секторах, не охваченных законодательством РК в системе может привести к ряду негативных последствий. Исходя из этого необходимость усовершенствования системы является обусловленной. Поэтому, в статье рассмотрены возможности регулирования, представлен подход к оценке, а также предложена модель измерения выбросов ПГ в рамках поставленных задач для определения потенциала и возможностей интеграции транспортного сектора в СТВ РК. Включение выбросов от источников транспортного сектора страны в эту систему позволит установить верхний предел на выбросы и создать экономические стимулы для инноваций и перехода к более экологичным видам транспорта.

Однако следует учесть, что внедрение транспортного сектора в СТВ представляет собой сложный процесс, который требует комплексного подхода и учета множества факторов, связанных с особенностями этой отрасли. Для успешного запуска и функционирования СТВ в транспортной сфере необходимо учитывать следующие аспекты. Во-первых, транспортный сектор включает в себя различные виды транспорта. Каждый из этих подсекторов имеет свои особенности по выбросам ПГ и требует индивидуального подхода к регулированию. Во-вторых, в отличие от стационарных источников, таких как заводы и электростанции, транспортные средства постоянно перемещаются, что создает дополнительные трудности для мониторинга и учета выбросов. Следовательно, необходимо брать во внимание всё вышечисленное.

Раскрывая информацию более детальнее, а именно говоря о мобильных источниках выбросов ПГ, то они включают в себя все передвижные виды транспортных средств. Согласно информации, в разбивке по видам транспорта в данной инфраструктуре, предположено, что в РК значительная доля выбросов ПГ приходится на автомобильный транспорт (81%), включая автобусы, легковые и грузовые автомобили, оставшаяся часть выбросов распределяется между внедорожным (7%), трубопроводным (7%), железнодорожным (4%), авиатранспортом (менее 1%) и водными транспортными средствами (менее 1%) [6].

Как было отмечено, автомобильный транспорт является одним из основных источников выбросов ПГ, а именно диоксида углерода. Это связано с использованием углеродосодержащих видов топлива, в частности бензина, дизельного топлива и сжиженных нефтяных газов (пропана и бутана), которые при сгорании выделяют большое количество  $\text{CO}_2$ . Кроме того, автомобили также выделяют метан и закись азота, которые также являются одними из основных видов ПГ. Авиация также является значительным источником выбросов, особенно углекислого газа. Это связано с использованием авиационного керосина, который при сгорании выделяет эти газы. Железнодорожный транспорт, особенно тот, который работает на дизельном топливе, также вносит свой вклад в выбросы ПГ. Водный транспорт, включая суда, работающие на тяжелом топливе, также является источником выбросов двуокиси углерода и других газов. Внедорожные транспортные средства часто работают на дизельном топливе и из-за своих рабочих условий и характеристик могут производить значительные выбросы ПГ, особенно углекислого газа, закиси азота и метана. В свою очередь, трубопроводный транспорт считается одним из наиболее эффективных и экологически чистых способов перевозки энергоносителей на большие расстояния, так как он минимизирует потери в процессе транспортировки и снижает риск случайных разливов. Тем не менее, данный вид транспорта также может приводить к выбросам ПГ, особенно при утечках, а также в процессе эксплуатации компрессорных станций, которые используются для поддержания давления в газопроводах.

Следовательно, изучив воздействие транспортной отрасли с точки зрения усиления парникового эффекта, обоснована потребность в нормативном регулировании транспортного

сектора. Однако стоит отметить, что решение о включении той или иной отрасли в систему регулирования не принимаются абстрактно. Оно базируется на тщательном анализе, который учитывает не только экологические, но и экономические аспекты, стремясь найти баланс между устойчивым развитием и сохранением конкурентоспособности национальной экономики. В результате это наводит к поставленному вопросу исследования в рамках данной статьи, заключающийся в определении ключевых возможностей и условий, необходимых для успешной интеграции транспортного сектора страны в СТВ РК.

При всём этом следует не забывать следующее – ключевая задача СТВ состоит в сокращении выбросов ПГ через применение различных инструментов управления и подходов. В данный момент трудно точно оценить, насколько можно уменьшить выбросы в этой сфере, но ясно, что потенциал для сокращений существует. Это может быть достигнуто путем оптимизации процессов в определенных подсекторах, улучшения логистических систем. Это включает в себя переход на менее углеродоёмкие виды топлива, стимулирование использования электромобилей, которые не выделяют ПГ в случае использования ими при эксплуатации электроэнергии, выработанной за счет возобновляемых источников энергии. Поэтому, процесс интеграции транспортного сектора в СТВ РК расширит спектр возможностей по сокращению выбросов ПГ, что в первую очередь положительно скажется на экологической обстановке в мире.

### Материалы и методы

В рамках данной статьи поставлены три основные задачи, первая из которых предусматривает рассмотрение экологически и экономически рентабельных возможностей регулирования выбросов посредством включения транспортного сектора в СТВ РК.

Возможности регулирования выбросов ПГ в стране базируется на определяемом на национальном уровне вкладами РК в глобальное реагирование на изменение климата. В рамках поставленной перед собой страновой безусловной цели в снижении выбросов ПГ на 15% к концу 2030 года относительно уровня выбросов базового 1990 года [7], страной предусмотрены различные инструменты управления в масштабах всей экономики, не исключая транспортный сектор. В свою очередь, достижение данного

целевого показателя возможно через рыночный механизм – СТВ.

Как было отмечено, система квотирования и торговли выбросами – это механизм, который используется для регулирования уровня выбросов ПГ. В рамках такой системы, правительство или другой регулирующий орган устанавливает общий лимит или квоту на количество газов, которые могут быть выброшены за определенный период времени. Этот лимит затем разделяется на индивидуальные «права на выбросы», которые могут быть выданы или проданы компаниям-эмитентам. Компании, которые способны снизить свои выбросы ниже уровня, установленного их квотой, могут продать свой профицит квот другим компаниям, которые не имеют возможности сокращать свои выбросы [8]. Это создает финансовый стимул для снижения выбросов, поскольку компании могут зарабатывать на продаже своих излишков.

В контексте мобильных источников выбросов ПГ, такой подход может быть применён к лицам, эксплуатирующим безэмиссионные транспортные средства, являющимися участниками системы. В свою очередь, предполагается, что участниками системы будут признаны лица, чьи общие годовые выбросы ПГ будут превышать установленный порог, который определится на основе среднего уровня выбросов эмитентов транспортного сектора в стране. Этот порог послужит критерием для включения в систему торговли квотами на выбросы. Предполагается, что данная система будет распространяться, в частности, на ведущие структуры среди транспортного сектора.

На основе этого владельцы безэмиссионных транспортных средств в рамках вспомогательного инструмента регулирования выбросов смогут получать единицы сокращения, соответствующие количеству ПГ, которые их транспортные средства могли бы произвести, если бы они использовали традиционные виды топлива. Таким образом, эти участники будут способны получить офсетные единицы за предотвращение потенциальных выбросов. В данном случае под углеродным офсетом подразумевается сокращение выбросов или увеличение их поглощения [9]. Такой подход будет поощрять использование безэмиссионных транспортных средств и поддерживать развитие чистых технологий, в то же время предоставляя гибкий механизм для регулирования выбросов ПГ от транспортного сектора. Это также создаст экономические стимулы для снижения выбросов и

способствует переходу к более устойчивым моделям транспорта.

Следует обратить внимание, что законодательством РК предусмотрена аналогичная система для выбросов ПГ от стационарных источников, которая реализуется через проекты углеродных офсетов [9]. Главная задача проектов углеродных офсетов – компенсация выбросов углекислого газа путем финансирования или реализации проектов, которые снижают или удаляют эти газы из атмосферы в другом месте. Однако важно отметить, что эффективность такой системы зависит от многих факторов, включая уровень установленного лимита, правил распределения квот, возможностей мониторинга и проверки уровня выбросов, а также от наличия достаточного количества участников для создания конкурентного рынка.

В свою очередь, для обеспечения справедливого подхода к регулированию выбросов, в рамках СТВ РК предлагается внедрение инструмента, предусматривающего установление углеродного налога. Этот налог будет применяться к операторам, чьи выбросы не достигают порога, установленного для обязательного участия в СТВ, но все же вносят вклад в общий объем выбросов ПГ. Углеродный налог будет направлен на стимулирование всех участников транспортного сектора к снижению своих выбросов, вне зависимости от их текущего уровня. Это позволит создать экономический стимул для внедрения более чистых технологий и практик даже для тех, кто не подпадает под обязательные требования, предусмотренные СТВ РК.

Функционирование углеродного налогообложения будет предусмотрено процессом декларирования. Учитывая, что задача регулирования выбросов ПГ в транспортной отрасли, неохваченной системой будет являться особенно сложной из-за многообразия транспортных средств, их технических особенностей, различных условий эксплуатации и широкого спектра используемых видов топлива, декларирование представится как целесообразный инструмент. Этот подход позволит обеспечить более гибкое и адаптированное регулирование, способствуя эффективному контролю и снижению воздействия транспортного сектора на климат.

Для упрощения процесса регулирования и повышения его эффективности декларирование выбросов ПГ может быть организовано на основе разработанной базы данных по видам транспорта, используемому топливу и соответствующим коэффициентам выбросов. Это позволит

стандартизировать процесс и сделать его более управляемым. Тем самым, в рамках этого инструмента регулирования ключевая идея будет заключаться в создании системы, которая позволит контролировать выбросы парниковых газов на уровне конечного потребителя. Наряду с этим стимулируя потребителей к использованию более экологически чистых видов транспорта. Таким образом, углеродный налог дополнит СТВ, расширяя воздействие политики в области климата на более широкий круг участников и поддерживая общие усилия по сокращению выбросов ПГ на национальном уровне.

В целом, в ходе рассмотрения возможностей регулирования выбросов ПГ необходимо учитывать общую глобальную цель, которая предусматривает собой ограничение глобального потепления в рамках 1,5 градусов Цельсия [10]. Соответственно, в ходе принятия на себя обязательств на уровне развитых стран РК объявила о своем намерении внести положительный вклад в содействие мерам, способствующим предотвращению негативного воздействия на климат [11]. То есть, являясь участником Рамочной Конвенции по изменению климата, Казахстаном, как и всеми заинтересованными странами необходимо реализовывать меры для достижения общемировой цели в пределах доступных возможностей [12]. Одной из них является система торговли выбросами [13]. А усовершенствование данной системы однозначно способствует повышению потенциала минимизации воздействий на климат.

В свою очередь, рассматриваемое в данной статье предложение предусматривает собой комплексный подход, а именно шаги, требующие тщательной подготовки. Давайте же рассмотрим их более детально. Первое, эффективная интеграция мобильных источников в СТВ начинается с создания надежной методологии учета выбросов от транспортного сектора. Это включает в себя определение методологии измерения, согласованной с международными стандартами в рамках специфики Казахстана. Второй важной составляющей внедрения рассматриваемого сектора в СТВ РК является разработка и интеграция надежной системы мониторинга, отчетности и верификации (MRV), которая позволит точно отслеживать выбросы от мобильных источников и гарантировать соблюдение установленных критериев соответствия. Третьим шагом является включение мобильных источников в уже существующую инфраструктуру СТВ, что может потребовать изменений в

законодательстве и адаптации рыночных механизмов. На финальном этапе необходимо непосредственное установление квот на выбросы от мобильных источников.

В рамках второй рассматриваемой задачи данной статьи подход к оценке выбросов ПГ представляет собой метод, основанный на измерениях, то есть расчетный метод.

Методология, которая была выбрана для оценки выбросов, основывается на руководящих принципах национальных инвентаризаций [14]. Данный подход предусматривает собой наличие следующих показателей, необходимых для оценки, а именно удельный расход потребления того или иного вида топлива подкатегориями дорожного транспорта, а также коэффициенты низшей теплоты сгорания, окисления топлива и удельные коэффициенты выбросов по виду ПГ.

Разберём же каждый показатель более детально. Объем потребления топлива предусматривает собой удельные данные о количестве потребленного топлива по каждому виду (в рамках данной статьи – бензин, дизельное, сжиженные нефтяные газы, включая пропан и бутан) за определенный период времени. Стандартные коэффициенты выбросов для каждого типа топлива показывают количество выбросов ПГ на единицу потребленного топлива. В рамках построения данной модели расчетов использованы усредненные значения, а именно тонны CO<sub>2</sub> на тонну топлива в связи с применением подхода к оценке в рамках международной методологии. Также данные об энергетической ценности каждого типа топлива, использованы для пересчета объемов топлива в энергию и дальнейшего расчета выбросов. В качестве учета возможных дополнительных факторов необходимо отметить сведения по окислению топлива, но в рамках данной модели эти значения принято условным.

В целом, оценить объемы выбросов ПГ можно на трех различных уровнях детализации, исходя из доступности и полноты информации. Чем больше данных доступно о технологиях сжигания используемого топлива, тем более точной и высокой может быть оценка выбросов. Ввиду того, что оценка основана на усредненных данных, определенных методическими указаниями, данный подход к оценке предусматривается первым уровнем. Это означает, что принятые показатели являются значениями «по умолчанию» [15, 16].

Расчет выбросов CO<sub>2</sub> по топливному подходу включает в себя последующие этапы. Первым является определение общего количества

потребленного топлива каждого типа за год. Далее следует умножение объема потребленного топлива на соответствующие показатели коэффициентов для каждого типа топлива согласно применяемой методологии расчета. На финальном этапе оценка включает в себя суммирование полученных значений выбросов от всех видов топлива для получения общего количества выбросов ПГ по транспортному сектору (в данном случае – подкатегории дорожного транспорта).

В рассматриваемой модели расчеты выбросов CO<sub>2</sub> произведены следующим образом:

$$M_{CO_2} = m * k_{нтс} * k_{окис.} * k_{эм}, \quad (1)$$

где:

$M_{CO_2}$  – выбросы диоксида углерода, тCO<sub>2</sub> в год;

$m$  – количество потребленного топлива, тонн в год;

$k_{нтс}$  – низшая теплота сгорания (НТС) топлива, ТДж/тонн. Значения НТС приняты «по умолчанию», для бензина – 0,0443 ТДж/тонн, дизельного топлива – 0,043 ТДж/тонн, пропана и бутана (нефтяных сжиженных газов) – 0,0473 ТДж/тонн;

$k_{окис.}$  – коэффициент окисления топлива. Значения коэффициента окисления топлива приняты «по умолчанию», равным 1;

$k_{эм}$  – коэффициент выбросов диоксида углерода, тонн/ТДж. Значения коэффициентов выбросов CO<sub>2</sub> приняты «по умолчанию», для бензина – 69,3 тонн/ТДж, дизельного топлива – 74,1 тонн/ТДж, пропана и бутана (нефтяных сжиженных газов) – 63,1 тонн/ТДж.

В соответствии с предложенным подходом к оценке в границах данной статьи предложена следующая модель измерения выбросов ПГ от мобильных источников, а именно от дорожных транспортных средств, общий вклад которых находится в пределах высоких показателей. Временные границы, подлежащие оценке – 2023 год.

В ходе проведения оценки выбросов учтены следующие виды транспортных средств, входящие в категорию дорожного транспорта, а именно легковые, грузовые автомобили и автобусы. Доля распределения видов дорожных транспортных средств между собой представлена следующими показателями – 87,9%, 9,9% и 2,07% соответственно [17], из которых общая доля электромобилей составляет 0,021% [18]. Согласно представленной существенности между подкатегориями в категории дорожных транс-

портных средств проведены расчеты выбросов двуокиси углерода согласно подходу, который предусматривает оценку выбросов ПГ на основе данных общего количества потребленного топлива по каждому используемому виду. Важно подчеркнуть, что учет выбросов ПГ осуществлен преимущественно для двуокиси углерода, при этом квотирование в РК применяется именно к этому газу.

В качестве данных по показателям общего объема потребления топлива были приняты значения из статистических данных РК. В соответствии с этим определено, что для функционирования мобильного транспорта, наиболее часто используемым видом топлива является – бензин. Также помимо бензина транспортными средствами расходуются дизельное топливо и сжиженные нефтяные газы (пропан и бутан). На долю автопарка, использующих природный газ и смешанные виды топлива приходится около 2% от общего объема [19].

### Результаты и обсуждение

В соответствии с третьей поставленной в рамках данной статьи задачей с учетом потенциала использования того или иного вида топлива в стране проведена оценка выбросов и выстроена модель их измерения. Потенциал использования представлен следующими показателями. Годовой топливо-энергетический баланс, выраженный в натуральном эквиваленте равен 7,855 тыс. тонн. Потребление бензина дорожными транспортными средствами составляет 5,172 тыс. тонн (65,84%), дизельного топлива – 2,25 тыс. тонн (28,6%) и сжиженного нефтяного газа – 275 тыс. тонн (3,5%), что в общей сложности является 98% от общего количества всего сожженного топлива в данной подкатегории транспортного сектора [19].

Показатели по выбросам, определенные расчетным методом представлены ниже. Стоит отметить, что выбросы парниковых газов от сжигания топлива в процессе эксплуатации транспортных средств, в частности автодорожным транспортом представлены по наиболее существенным видам топлива с точки зрения их применения.

Расчет выбросов CO<sub>2</sub> от сжигания бензина:

$$M_{\text{ПГ,CO}_2} = 5\,172\,100 \text{ т} * 0,0443 \text{ ТДж/т} * 1 * 69,3 \text{ тCO}_2/\text{ТДж} = 15\,878\,295,3 \text{ тCO}_2 \quad (2)$$

Расчет выбросов CO<sub>2</sub> от сжигания дизельного топлива:

$$M_{\text{ПГ,CO}_2} = 2\,349\,900 \text{ ТДж} * 0,043 \text{ ТДж/т} * 1 * 74,1 \text{ тCO}_2/\text{ТДж} = 7\,487\,486,4 \text{ тCO}_2 \quad (3)$$

Расчет выбросов CO<sub>2</sub> от сжигания пропана и бутана:

$$M_{\text{ПГ,CO}_2} = 274\,500 \text{ ТДж} * 0,0473 \text{ ТДж/т} * 1 * 63,1 \text{ тCO}_2/\text{ТДж} = 819\,280,9 \text{ тCO}_2 \quad (4)$$

В таблице 1 приведены соответствующие значения на основе представленных показателей по полученным выбросам CO<sub>2</sub>.

На основе определенных показателей по выбросам можно сделать следующие выводы (Рисунок 1).

Выбросы CO<sub>2</sub> в категории дорожного автотранспорта в разрезе по видам используемого топлива:

1. Выбросы CO<sub>2</sub> от сжигания бензина составляют 15 878 295,3 тонн. Это наибольший объем выбросов среди рассмотренных видов топлива;

2. Выбросы CO<sub>2</sub> от сжигания дизельного топлива составляют 7 487 486,4 тонн. Это второй по величине источник выбросов среди рассмотренных;

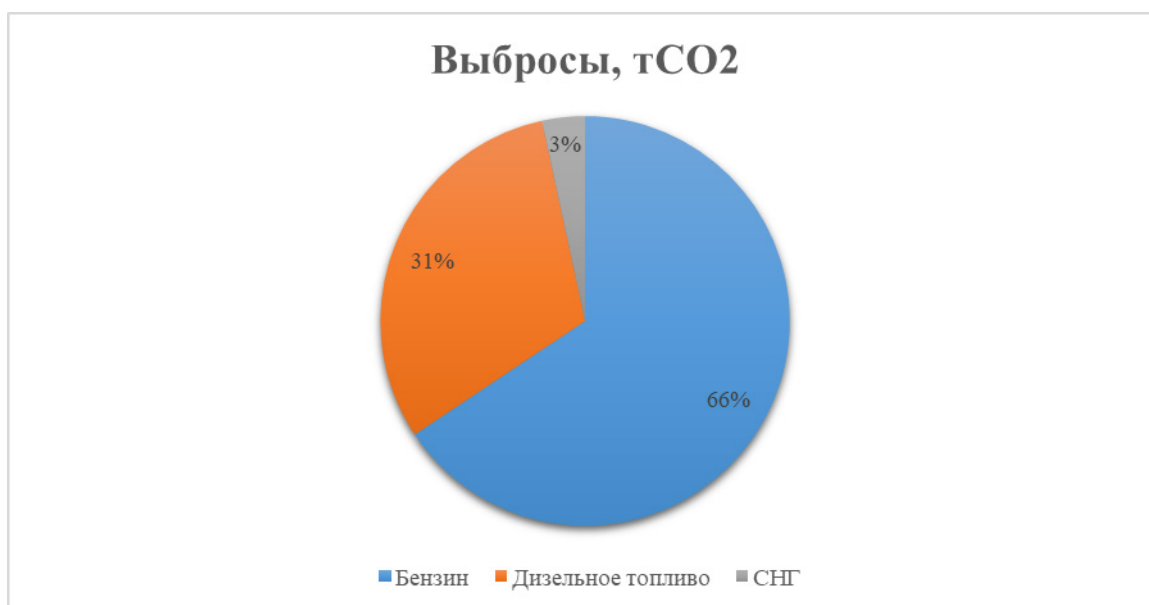
3. Выбросы CO<sub>2</sub> от сжигания пропана и бутана составляют 819 280,9 тонн. Это наименьший объем выбросов среди приведенных видов топлива.

В общей сложности выбросы CO<sub>2</sub> от сжигания этих трех наиболее материальных видов топлива составляют примерно 24 185 062,6 тонн CO<sub>2</sub>.

На основе анализа общего объема выбросов ПГ от транспортного сектора страны, предложена модель для сравнения удельных выбросов от транспортных средств. Согласно приведенным расчетам, в среднем на каждую единицу транспорта приходится 3,1 тонны выбросов CO<sub>2</sub> на год за счет сжигания одной тонны соответствующего вида топлива. Это означает, что при полном сгорании одной тонны топлива, транспортное средство в среднем генерирует 3,1 тонны углекислого газа, внося свой отрицательный вклад в общий объем ПГ, выбрасываемых в атмосферу. Данная модель предоставляет ценную информацию для оценки воздействия транспортного сектора на климат и подчеркивает важность включения данного сектора в СТВ РК.

**Таблица 1** – Количественные показатели, основанные на измерениях выбросов CO<sub>2</sub>

Категория транспортного сектора	Подкатегории транспортного сектора	Вид потребленного топлива	Количество потребленного топлива, тонн в год	Выбросы парниковых газов в ходе эксплуатации транспортных средств, тонн CO <sub>2</sub> в год	Удельные показатели выбросов на тонну сожжённого топлива, тонн, тонн CO <sub>2</sub> в год на единицу
Дорожный транспорт	Легковые автомобили	Бензин	4 548 599,5	13 964 155	3,1
		Дизельное топливо	2 066 617,8	6 584 864,3	3,2
		Сжиженные нефтяные газы (пропан и бутан)	241 408,8	720 516	3
	Грузовые автомобили	Бензин	516 197,3	1 584 720,6	3,1
		Дизельное топливо	234 529,9	747 282,6	3,2
		Сжиженные нефтяные газы (пропан и бутан)	27 396,3	81 767,7	3
	Автобусы	Бензин	107 303,2	329 419,6	3,1
		Дизельное топливо	48 752,3	155 339,4	3,2
		Сжиженные нефтяные газы (пропан и бутан)	5 694,9	16 997,2	3



**Рисунок 1** – Соотношение выбросов CO<sub>2</sub> по видам потребленного топлива

К тому же, необходимо отметить, что выбросы диоксида углерода от сжигания бензина, дизельного топлива и сжиженных нефтяных газов составляют 98% всех выбросов дорожного

транспорта. Это связано с тем, что эти виды топлива являются наиболее часто используемыми значительной долей всего транспорта в данной категории. В то же время, выбросы дорожного

транспорта составляют 81% от всех выбросов мобильных источников в стране согласно вышеприведенным сведениям по составу транспортного парка страны. Это подчеркивает ключевую роль дорожного транспорта в общем объеме выбросов ПГ от мобильных источников.

В контексте включения этих выбросов в СТВ РК эти данные подчеркивают значительный потенциал для регулирования и снижения выбросов ПГ. В случае, если интеграция транспортного сектора в СТВ РК успешно реализуется, это поспособствует стимулированию усилий по снижению выбросов ПГ от дорожного транспорта, поскольку участники рынка будут мотивированы снижать свои выбросы ввиду экономических выгод. В то же время, это сможет поспособствовать повышению эффективности использования топлива и внедрению более чистых технологий в транспортном секторе. В общем, включение этих выбросов в СТВ РК сыграет важную роль в стратегии страны по снижению общего объема выбросов ПГ в целях достижения углеродной нейтральности до 2060 года [20].

### **Заключение**

В заключение важно отметить, что включение транспортного сектора РК в СТВ имеет значительный потенциал и перспективы для стимулирования сокращения выбросов ПГ и устойчивого развития транспортной инфраструктуры. Это также сможет поспособствовать укреплению экономической конкурентоспособности страны за счет инвестиций в экологически чистые технологии и развитие зеленых инноваций.

В рамках рассмотрения потенциала и перспектив интеграции транспортного сектора в существующую СТВ РК можно сделать следующие заключения.

Прежде всего, с точки зрения борьбы с изменением климата, данная мера позволит снизить отрицательное влияние ПГ на окружающую среду, в частности, на глобальное потепление, через применение различных инструментов управления, направленных на сокращение выбросов за счёт регулирования транспортного сектора. В рамках данного исследования, помимо установления лимитов для участников системы, предложено внедрение системы углеродного декларирования и реализации проектов сокращения, также известных как проекты углеродных офсетов. Эти меры представляют собой эффективные

инструменты для снижения выбросов ПГ и борьбы с изменением климата. Углеродное декларирование позволит каждому участнику экономики осознавать и контролировать свой углеродный след, что поспособствует более ответственному потреблению, поскольку участники станут более осведомлёнными о своём влиянии на окружающую среду. В то же время, углеродные офсеты предлагают возможность компенсации выбросов путём инвестирования в проекты, которые снижают или удаляют двуокись углерода из атмосферы. Вместе эти инструменты, а также интеграция транспортного сектора в СТВ РК, сыграют ключевую роль в переходе к более устойчивой и низкоуглеродной экономике. Они также поспособствуют достижению целей Парижского соглашения и усилий по сокращению выбросов ПГ на глобальном уровне. Однако для их успешного внедрения потребуются сотрудничество всех заинтересованных сторон, включая государственные органы, бизнес и гражданское общество.

Кроме того, в рамках данной статьи предложен подход к оценке выбросов ПГ транспортного сектора, который является важным шагом на пути к пониманию и управлению экологическим воздействием транспорта в стране. Таким образом, хотя предложенный подход к оценке выбросов ПГ транспортного сектора является значительным вкладом в управление климатическими возможностями и рисками, его реализация потребует дальнейших корректировок, уточнений, продолжающейся оценки, адаптации и улучшений, чтобы отвечать текущим особенностям и будущим потребностям. Но тем не менее, предполагается, что предложенный подход поспособствует проведению дальнейшей надлежащей оценки выбросов ПГ транспортного сектора нашей страны. В свою очередь, такая оценка позволит сформировать реестр показателей, необходимых для функционирования инструментов углеродного регулирования, предусмотренных в рамках СТВ РК.

К тому же, в данной статье на основе предложенного подхода к оценке выстроена модель измерения и приведены соответствующие показатели по выбросам ПГ в границах наиболее существенной категории транспортного сектора. Приведенные показатели по выбросам ПГ наиболее материальной категории транспортной отрасли могут быть применены для проведения общей оценки потенциала снижения воздействия выбросов ПГ на изменение климата, а именно на глобальное потепление.

В совокупности статья предлагает стратегический подход к адаптации транспортного сектора в существующую СТВ РК путём оценки и управления, который поспособствует сокращению влияния выбросов ПГ на климат. Подход и соответствующая модель измерения потребует дальнейшей модификации, но уже сейчас предоставляет основу для измерения и контроля ключевых категорий выбросов, что является важным шагом в переходе к устойчивому развитию транспортного сектора страны.

В итоге путь Республики Казахстан к экологически устойчивому будущему будет требовать не только технологических инноваций,

но и политической воли, а также готовности общества к изменениям. Взяв на вооружение лучшие практики мирового сообщества и адаптировав их к своим уникальным условиям, Казахстан может стать примером успешной интеграции транспортного сектора в общенациональные усилия по борьбе с климатическими изменениями.

### Конфликт интересов

Авторы статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов, а также любой формы финансирования и поддержки.

### Литература

1. Kyoto protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change // UN. – 1998.
2. Naohan Wang, Ling Li, Kaitong Yang, Zhifu Mi. Quantitative models in emission trading system research: A literature review Author links open overlay panel // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2020. – Volume 132 (October). – P. 2. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110052>
3. Кодекс № 400-VI ЗРК Республики Казахстан. Экологический кодекс Республики Казахстан // 2021. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400>
4. Приказ № 91 Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Об утверждении Правил государственного регулирования в сфере выбросов и поглощений парниковых газов // 2022. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2200027301>
5. The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer // UNDP. – 1987.
6. Национальный доклад Республики Казахстан о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом. – Астана, 2024. – С. 118.
7. Постановление № 313 Правительства Республики Казахстан. Об утверждении обновленного национального вклада Республики Казахстан в глобальное реагирование на изменение климата // 2023. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000313>
8. Приказ № 221 и.о. Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Об утверждении Правил торговли углеродными единицами // 2021. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100023719>
9. Приказ № 455 и.о. Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики. Об утверждении Правил одобрения углеродного офсета и предоставления офсетных единиц // 2021. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100025074>
10. Закон № 20-VI ЗРК Республики Казахстан. О ратификации Парижского соглашения // 2016. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1600000020>
11. Report of the Conference of the Parties on the second part of its sixth session, held at Bonn from 16 to 27 July 2001 // UNDP. – 2001.
12. Указ № 2260 Президента Республики Казахстан. О ратификации Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата // 1995. [https://adilet.zan.kz/rus/docs/U950002260\\_](https://adilet.zan.kz/rus/docs/U950002260_)
13. Система торговли выбросами: международный опыт и Казахстан. – Астана, 2014. – С. 58.
14. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories // 2006. – Vol.2 Energy, Chapter 3 «Mobile Combustion».
15. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories // 2006. – Vol.2 Energy, Chapter 1 «Introduction».
16. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories // 2006. – Vol.2 Energy, Chapter 2 «Stationary Combustion».
17. Данные о доли распределения различных видов транспортных средств в категории дорожного автотранспорта // 2023. (дата обращения: 16.10.2023) – URL: [https://tengrinews.kz/kazakhstan\\_news/kolichestvo-avtomobiley-podschitali-v-kazahstane-513633/](https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/kolichestvo-avtomobiley-podschitali-v-kazahstane-513633/)
18. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан, Состав парка дорожных механических транспортных средств в разбивке по видам используемого топлива // 2024. – URL: [https://stat.gov.kz/ru/ecologic-indicators/28433/composition\\_of\\_road\\_motor\\_vehicle\\_fleet\\_by\\_fuel\\_type/](https://stat.gov.kz/ru/ecologic-indicators/28433/composition_of_road_motor_vehicle_fleet_by_fuel_type/)
19. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан, Топливо-энергетический баланс Республики Казахстан // 2024. (дата обращения: 01.08.2024) – URL: <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-energy/publications/183439/>
20. Указ № 121 Президента Республики Казахстан. Об утверждении Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года // 2023. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121>



## References

1. Kyoto protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change UN, (1998).
2. Haohan Wang, Ling Li, Kaitong Yang, Zhifu Mi. "Quantitative models in emission trading system research: A literature review Author links open overlay panel." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 132 (2), (2020): 1-32. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110052>.
3. Kodeks Respubliki Kazahstan № 400-VI ZRK ot 2 janvarja 2021 goda "Jekologicheskij kodeks Respubliki Kazahstan" [The Code of the Republic of Kazakhstan No. 400-VI ZRK dated January 2, 2021 "Ecological code of the Republic of Kazakhstan"], <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K210000400> (accessed 02.01.2021). (In Russian)
4. Prikaz Ministra jekologii, geologii i prirodnyh resursov Respubliki Kazahstan № 91 ot 28 marta 2022 goda "Ob utverzhdenii Pravil gosudarstvennogo regulirovanija v sfere vybrosov i pogloshhenij parnikovyh gazov" [Order of the Acting Minister of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan No.91 dated March 28, 2022 "On approval of the Rules of State Regulation in the field of greenhouse gas emissions and removals"], <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2200027301> (accessed 28.03.2022). (In Russian)
5. The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer UNDP, (1987).
6. Ministerstvo jekologii i prirodnyh resursov Respubliki Kazahstan, Zhasy Damu "Nacional'nyj doklad Respubliki Kazahstan o kadastro antropogennyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotiteljami parnikovyh gazov, ne reguliruemyh Monreal'skim protokolom" [Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan, Zhasy Damu "National report of the Republic of Kazakhstan on the inventory of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases not regulated by the Montreal Protocol"]. Astana, (2024): 118 (In Russian)
7. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan № 313 ot 19 aprelja 2023 goda "Ob utverzhdenii obnovlennogo nacional'nogo vklada Respubliki Kazahstan v global'noe reagirovanie na izmenenie klimata" [Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 313 dated April 19, 2023 "On approval of the updated national contribution of the Republic of Kazakhstan to the global response to climate change"], <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000313> (accessed 19.04.2023). (In Russian)
8. Prikaz i.o. Ministra jekologii, geologii i prirodnyh resursov Respubliki Kazahstan № 221 ot 29 ijunja 2021 goda "Ob utverzhdenii Pravil trgovli uglerodnymi edinicami" [Order of the Acting Minister of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan No. 221 dated June 29, 2021 "On the approval of the Rules of Trade in carbon units"], <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100023719> (accessed 29.06.2021). (In Russian)
9. Prikaz i.o. Ministra jekologii, geologii i prirodnyh resursov Respubliki Kazahstan № 455 ot 5 nojabrja 2021 goda "Ob utverzhdenii Pravil odobrenija uglerodnogo ofseta i predostavlenija ofsetnyh edinic" [Order of the Acting Minister of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan No. 455 dated November 5, 2021 "On the approval of the Rules for the approval of Carbon offset and the provision of offset units"], <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100025074> (accessed 05.11.2021). (In Russian)
10. Zakon Respubliki Kazahstan № 20-VI ZRK ot 4 nojabrja 2016 goda "O ratifikacii Parizhskogo soglashenija" [Law of the Republic of Kazakhstan No. 20-VI ZRK dated November 4, 2016 "On the ratification of the Paris Agreement"], <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z160000020> (accessed 04.11.2016). (In Russian)
11. Report of the Conference of the Parties on the second part of its sixth session, held at Bonn from 16 to 27 July 2001 UNDP, (2001).
12. Ukaz Ppezidenta Respubliki Kazahstan ot 4 maja 1995 g. № 2260 "O ratifikacii ramochnoj Konvencii Opganizacii Obedinennyh Nacij ob izmenenii klimata" [Decree of the President of the Republic of Kazakhstan No. 2260 dated May 4, 1995 "On the ratification of the United Nations Framework Convention on Climate Change"], <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U950002260> (accessed 04.05.1995). (In Russian)
13. Green Academy "Sistema trgovli vybrosami: mezhdunarodnyj opyt i Kazahstan" [Green Academy "Emissions trading system: international experience and Kazakhstan"]. Astana, (2014): 58 (In Russian)
14. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, Vol.2 Energy, Chapter 3 « Mobile Combustion», (2006).
15. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, Vol.2 Energy, Chapter 1 « Introduction», (2006).
16. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, Vol.2 Energy, Chapter 2 «Stationary Combustion», (2006).
17. Dannye o doli raspredelenija razlichnyh vidov transportnyh sredstv v kategorii dorozhnogo avtotransporta [Data on the share of distribution of different types of vehicles in the category of road vehicles] (2023). URL: [https://tengrinews.kz/kazakhstan\\_news/kolichestvo-avtomobiley-podschitali-v-kazahstane-513633/](https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/kolichestvo-avtomobiley-podschitali-v-kazahstane-513633/) (accessed 16.10.2023). (In Russian)
18. Bjuro nacional'noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan, Sostav parka dorozhnyh mehanicheskijh transportnyh sredstv v razbivke po vidam ispol'zuemogo topliva [Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan, Composition of the fleet of road motor vehicles by type of fuel used] (2024). URL: [https://stat.gov.kz/ru/ecologic-indicators/28433/composition\\_of\\_road\\_motor\\_vehicle\\_fleet\\_by\\_fuel\\_type/](https://stat.gov.kz/ru/ecologic-indicators/28433/composition_of_road_motor_vehicle_fleet_by_fuel_type/) (In Russian)
19. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan, Fuel and Energy Balance of the Republic of Kazakhstan [Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan, Fuel and Energy Balance of the Republic of Kazakhstan] (2024). URL: <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-energy/publications/183439/> (accessed 01.08.2024) (In Russian)

20. Ukaz Prezidenta Respubliki Kazahstan № 121 ot 2 fevralja 2023 goda “Ob utverzhenii Strategii dostizhenija uglerodnoj nejtral’nosti Respubliki Kazahstan do 2060 goda” [Decree of the President of the Republic of Kazakhstan No. 121 dated February 2, 2023 “On approval of the Strategy for achieving Carbon Neutrality of the Republic of Kazakhstan until 2060”], <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121> (accessed 02.02.2023). (In Russian)

**Информация об авторах:**

*Муратова Карина Гиниятовна (корреспондент-автор) – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университетінің жаратылыстану ғылымдары факультеті “Қоршаған ортаны қорғау саласындағы басқару және инжиниринг” кафедрасының магистранты (Астана, Қазақстан, e-mail: muratovak351@gmail.com)*

*Капсальямов Бауыржан Ауесханович – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университетінің жаратылыстану ғылымдары факультеті “Қоршаған ортаны қорғау саласындағы басқару және инжиниринг” кафедрасының техника ғылымдарының докторы, профессор (Астана, Қазақстан, e-mail: kapsalyamov\_ba@enu.kz)*

*Кожиков Марат Талгатович – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университетінің жаратылыстану ғылымдары факультеті “Қоршаған ортаны қорғау саласындағы басқару және инжиниринг” кафедрасының докторанты (Астана, Қазақстан, e-mail: new.kozhikov@gmail.com)*

*Досжанов Оспан Маткаримович – Алматы Технологиялық университетінің инжиниринг және ақпараттық технологиялар факультеті “Автоматизация және робототехника” кафедрасының техника ғылымдарының кандидаты, доцент (Алматы, Қазақстан, e-mail: ospan.doszhanov@mail.ru)*

**Information about the authors:**

*Muratova Karina Giniyatovna, postgraduate student of the department “Environmental Management and Engineering” faculty of natural sciences of the Eurasian National university named after L.N. Gumilyov (Astana, Kazakhstan, e-mail: muratovak351@gmail.com)*

*Kapsalyamov Bauyrzhan Aueskhanovich, doctor of technical sciences, professor of the department “Environmental Management and Engineering” faculty of natural sciences of the Eurasian National university named after L.N. Gumilyov (Astana, Kazakhstan, e-mail: kapsalyamov\_ba@enu.kz)*

*Kozhikov Marat Talgatovich, PhD student of the department “Environmental Management and Engineering” faculty of natural sciences of the Eurasian National university named after L.N. Gumilyov (Astana, Kazakhstan, e-mail: new.kozhikov@gmail.com)*

*Doszhanov Ospan Matkarimovich, candidate of technical sciences, associate Professor of the department of automation and robotics, faculty of engineering and information technology, Almaty Technological university (Almaty, Kazakhstan, e-mail: ospan.doszhanov@mail.ru)*

*Поступила 15 сентября 2024 года*

*Принята 26 декабря 2024 года*

L.S. Boluspayeva<sup>1\*</sup>, A.B. Abzhalelov<sup>1</sup>, W. Spychalski<sup>2</sup>,  
Zh.K. Zhaznayeveva<sup>3</sup>, G.B. Sarsenbayeva<sup>4</sup>

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup>Poznan University of Life Sciences, Poznan, Poland

<sup>3</sup>Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

<sup>4</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: boluspaeva82@mail.ru

## ASSESSMENT OF SOIL AND PLANTS IN PRIVATE GARDENS OF AN INDUSTRIAL CITY

In this study, ecological evaluation of the soils of the private gardens located in the industrial area and in the suburban rural area was given. The results of physical and chemical analysis of soil samples were summarized, and the obtained data were statistically processed. Soil and vegetable samples for analysis were taken from private gardens located in the city near «Kazzinc» LLC. In addition, samples were collected from the outskirts of the city – Akhmirova village for comparative analysis. These samples were prepared for chemical investigation to determine the content of Zn, Pb, Cu, and Cd.

The findings revealed that the levels of heavy metals in the soils of the industrial area are several times higher than those in the suburban rural area. The average values of the analyzed metals in the industrial soils across all studied regions exceed the safe levels accepted in Kazakhstan. In the samples taken in the industrial area, the content of all investigated heavy metals was 2 to 8 times higher than the internationally recommended safe level. Despite being grown in the same environmental conditions, vegetables have different accumulation levels of heavy metals. However, it should be noted that high concentrations of heavy metals in the soil affect their content in plants. The highest levels of heavy metals were found in vegetables grown in the industrial area, while the lowest levels were observed in the suburban area.

**Key words:** industrial zone, suburban rural area, private gardens, soil and vegetables.

Л.С. Болуспаева<sup>1\*</sup>, А.Б. Абжалелов<sup>1</sup>, В. Спыхальский<sup>2</sup>,  
Ж.К. Жазнаева<sup>3</sup>, Г.Б. Сарсенбаева<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Познань жаратылыстану университеті, Познань қ., Польша

<sup>3</sup>С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ., Қазақстан

<sup>4</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

\*e-mail: boluspaeva82@mail.ru

### Өнеркәсіптік қаланың жеке бақшаларындағы топырақ және өсімдіктердің бағалау

Бұл зерттеу жұмысында өндірістік кешенге жақын және қала маңында орналасқан ауылдағы жеке меншік бақшалардың топырақтарына экологиялық баға берілді. Топырақ сынамаларына жүргізілген физикалық және химиялық талдау нәтижелері қорытындыланып, алынған деректер статистикалық өңдеуден өткізілді. Анализдерді жүргізуге арналған топырақ және көкөніс үлгілері қала ішінде «Қазмырыш» ЖШК -не жақын маңда орналасқан жеке бақшалардан алынды. Сонымен қатар салыстырмалы талдау жүргізу үшін қала шетінен- Ахмер ауылынан сәйкесінше үлгілер жинақталды. Бұл үлгілер химиялық талдауға дайындалып, құрамында Zn, Pb, Cu және Cd мөлшері анықталды.

Зерттеліп отырған аймақтардың топырағында талданған ауыр металдардың мөлшері өндірістік аймақта Ахмер ауылынан қарағанда бірнеше есе жоғары екендігі анықталған. Барлық зерттелген аймақтардағы топырақтардағы талданған металдардың алынған орташа мәндері Қазақстанда қабылданған қауіпсіз деңгейден жоғары. Өндірістік аймақта алынған сынамаларда барлық зерттелген ауыр металдардың мөлшері халықаралық ұсынылған қауіпсіз деңгеймен салыстырғанда 2-ден 8 есеге дейін жоғары болды. Бірдей экологиялық жағдайда өсірігендігіне қарамастан, көкөністердің ауыр металдардың жинақтау деңгейі әр түрлі болды. Дегенмен, топырақтағы ауыр металдардың жоғары болуы өсімдік құрамына тұра әсер еткенін атап өткен

жөн. Ауыр металдардың ең көп мөлшері өндірістік ауданда өсірілген көкөністерде, ең азы – қала маңындағы ауданда анықталды

**Түйін сөздер:** өнеркәсіптік аймақ, қала маңындағы ауыл, жеке бақшалар, топырақ және көкөністер.

Л.С. Болуспаева<sup>1\*</sup>, А.Б. Абжалелов<sup>1</sup>, В. Спыхальский<sup>2</sup>,  
Ж.К. Жазнаева<sup>3</sup>, Г.Б. Сарсенбаева<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

<sup>2</sup>Университет естественных наук в Познани, г. Познань, Польша

<sup>3</sup>Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>4</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

\*e-mail: boluspaeva82@mail.ru

### Оценка почвы и растений в частных огородах промышленного города

В исследовании дана сравнительная характеристика почв частных огородов, расположенных вблизи промышленного комплекса и в пригородном селе Ахмирова. Результаты физико-химического анализа образцов почвы были обобщены и полученные данные обработаны статистически. Пробы почвы и овощей для анализа были взяты из частных садов, расположенных в городе вблизи ТОО «Казцинк». Кроме того, для сравнительного анализа были собраны пробы на окраине города – село Ахмирова. Эти образцы были подготовлены к химическому анализу и определено содержание Zn, Pb, Cu и Cd.

Установлено, что содержание тяжелых металлов в почвах исследуемых территорий в несколько раз выше в промышленной зоне, чем в почвах села Ахмирова. Средние значения анализируемых металлов в почвах всех изучаемых регионов превышают предельно-допустимый уровень, принятый в Казахстане. В пробах, взятых на садовых участках вблизи промышленной территории, содержание всех исследованных тяжелых металлов от 2 до 8 раз превышало рекомендованный международными стандартами безопасный уровень. Несмотря на то, что овощи выращиваются в одинаковых условиях окружающей среды, они имеют разный уровень накопления тяжелых металлов. Однако следует отметить, что высокая концентрация тяжелых металлов в почве влияет на содержание их в растениях. Наибольшее количество тяжелых металлов обнаружено в овощах, выращенных в промышленной зоне, а наименьшее – в пригородной зоне.

**Ключевые слова:** промышленный комплекс, частные огороды, пригородные сельские районы, почва и растения.

## Introduction

The rapid development of industry in the city of Ust-Kamenogorsk leads to environmental pollution with heavy metals. The smoke released from the chimneys of industrial giants contains more than a hundred pollutants. They not only pollute the air, but also increasingly accumulate in the soil from year to year. According to research by Woszczyk M. and others, the level of soil pollution in Ust-Kamenogorsk with heavy metals was estimated from medium to very high[1]. However, residents of the city and suburbs plant vegetables in their private gardens and use them in large quantities in their daily diet. The importance of vegetables as a source of micronutrients and fiber, antioxidants in the diet is very high. Moreover, since plants are considered excellent absorbers of metals from the soil, they also contain toxic components in various concentrations. The ability of vegetables to absorb heavy metals varies. If some can accumulate less, then others can accumulate more[2]. Therefore, due to cultivation in

polluted regions, this type of food leads to the ingress of toxic pollutants such as heavy metals into the human body. Since there is no strong mechanism for removing heavy metals from the body, even if ingested in small quantities, they are very dangerous[3]. Eating vegetables contaminated with heavy metals poses a great danger to health, causing various serious diseases in humans [4,5,6]. Heavy metal pollution of plants usually occurs when they absorb pollutants from the soil through roots or leaves from polluted air during growth [7,8,9]. Currently, studies by many foreign scientists report high levels of heavy metals in the tissues of crops and vegetables grown in polluted urban areas [4,5,10]. In this regard, to date, food contamination with heavy metals and their harmful effects on the health of the local population have become an urgent problem in many countries and it was recommended to constantly monitor heavy metals in vegetables [5,7,8,11].

The purpose of this study is to provide an environmental characterization by determining the concentrations of lead (Pb), cadmium (Cd), copper (Cu)

and zinc (Zn) in garden soils and vegetables located in the sullied region and at a separate of a few kilometers from pollution sources.

### Materials and methods

The necessary soil and vegetable samples for research were taken from garden plots near Kazzinc LLP (industrial area) and the village of Akhmer (suburban area), located about 3 km southwest of Ust-Kamenogorsk.

The contribution of the Kazzinc LLP to the pollution of the city's atmospheric air is 47.8% of the total emissions of the city (51 thousand tons), actually for the enterprise – 24.4 thousand tons. The company has received an environmental permit for emissions into the environment for 2023, taking into account a reduction in standards by 4.9%, from 26.1 to 24.8 tons [12].

Sampling of soil and vegetables, their transportation, storage and preparation of samples for analysis were developed on the basis of approved methodological recommendations. Soil samples were completely decomposed with concentrated acids to determine the total content of heavy metals. The overall metal content in the soil was measured using atomic absorption in compliance with the ISO standard [13].

The edible parts of the vegetables were dried at 60 ° C, ground, and converted to ash by heating at

450 ° C for 6 hours in an oven. The resulting ash was dissolved in 5 ml of 6 mol·dm<sup>3</sup> HCl and then diluted with distilled water to a constant volume [14]. The prepared plant extracts were analyzed using a Varian Spectra AA2204 FS apparatus to measure the metal content through atomic absorption spectrophotometry (AAS). The total content of heavy metals in beets, carrots, and potatoes was determined by atomic absorption using a spectrophotometer.

To assess the accumulation of heavy metals in soil and garden crops, the following environmental and geochemical indicators were calculated:

- hazard ratio ( $R_h$ ) – the ratio of the metal content in the soil to the highest safe metal level;

To evaluate the buildup of heavy metals in vegetables, the following metrics are calculated:

- the coefficient of contamination of vegetable crops, which is the ratio of the concentration of an element in a plant to the permissible residual amount;

- the bioaccumulation coefficient (BCF) is defined as the ratio of the concentration of heavy metals in plants to the concentration of heavy metals in soil [15].

-  $BCF = (\text{concentration of heavy metals in plants}) / (\text{concentration of heavy metals in soil})$ .

### Results and their discussion

The levels of heavy metals in the examined soil samples are displayed in table 1-2.

**Table 1** – The metal content in the soil of gardens situated in close proximity to Kazzinc LLP (mg/kg<sup>-1</sup> dry weight)

Sample number	Cu	Cd	Pb	Zn
1	93,5	5,58	232,98	819,16
4	116,17	7,3	293,87	1014,21
5	114,17	7,3	280,39	981,62

In general, levels of all studied elements in garden soils within the Kazzinc LLP were **2.6 to 28 times** higher than those found in rural country regions. The mean Cu content in the industrial area was 107.95 mg/kg<sup>-1</sup> dry weight, while in the soils of the gardens of the village of Akhmer this indicator was determined 2.6 times lower, that is in the amount of 42.06 mg/kg<sup>-1</sup> dry weight. In the garden soil near Kazzinc LLC, the average Cd content was 6.73 mg/kg<sup>-1</sup> dry weight, while in a suburban vil-

lage it was only 0.24 mg/kg<sup>-1</sup> dry weight, which is 28 times lower. At the same time, the Pb content also showed a fairly high value in the industrial area, 269.08 and 21.92 mg/kg<sup>-1</sup> dry weight, respectively, that is 12 times higher. The Zn content in urban soil was the highest among the detected heavy metals. Thus, the average zinc content in samples near Kazzinc LLP was 938.33 mg/kg<sup>-1</sup> dry weight, which is 8.7 times higher than in samples from the village of Akhmer (107.6 mg/kg<sup>-1</sup> dry weight).

**Table 2** – Levels of Cu, Cd, Pb, and Zn in the garden soils of Akhmer village, (mg/kg<sup>-1</sup> dry weight)

Sample number	Cu	Cd	Pb	Zn
2	42,83	0,30	23,33	95,25
3	38,67	0,23	21,43	87,48
27	44,67	0,20	21,00	140,02

Based on the average concentrations of heavy metals in the soil, the studied elements are arranged in descending order as follows: Zn > Pb > Cu > Cd. Among the analyzed metals, Zn was found in the highest amounts, and Cd showed the lowest level. The obtained values of metals analyzed in garden soils near Kazzinc LLP are 3-10 times higher than the safe levels accepted in Ka-

zakhstan [16,17] (for Cu-33 mg/kg<sup>-1</sup>, Pb-32 mg/kg<sup>-1</sup>). The concentration of the studied chemical elements within Kazzinc LLP area, except Cu, was 3 times higher than the safe level established by the Directive [18]. In contrast, the total amount of these metals in soil samples collected from the village of Akhmer did not exceed internationally acceptable safety levels.

**Table 3** – Comparative data on the content of heavy metals in the soils (mg/kg<sup>-1</sup> dry weight)

Sample	Cd	Pb	Zn	Cu	Used literature
Soil	6,73	269,08	938,33	107,95	In this research paper
	4,2	33,48	92,37	23,34	Ashraf et.al.(2021) [5]
	1,40	77,88	246,86	205,04	Moghtaderiet.al.(2018) [19]

The findings of this study indicate that the concentrations of Cd, Pb, Zn, and Cu in the soil of the industrial area are 4 to 10 times higher than the levels reported by foreign researchers [5,19]. However, in contrast to these results, Moghtaderi and colleagues [19] found Cu in the industrial soils at a concentration of 205.04 mg/kg<sup>-1</sup>, which is nearly twice the amount observed in this study (107.95 mg/kg<sup>-1</sup>).

The quantitative content of heavy metals is not sufficient to assess the ecological state of soils.

Therefore, for a comprehensive study of soil quality, a hazard coefficient was used, which shows the ratio of the amount of metal in the soil to the safe metal level.

Among the heavy metals studied, zinc (Zn) ranked the highest in terms of the hazard coefficient. The metals in the soils near Kazzinc LLP showed the following decreasing order: Zn > Cd > Pb > Cu and soils of the village of Akhmer: Zn > Pb > Cu > Cd.

**Table 4** – The hazard coefficient of heavy metals in soils in the immediate vicinity of Kazzinc LLP and the orchards of the village of Akhmer

Area under study	Pb	Cu	Cd	Zn
Soils near Kazzinc LLP	1,9	0,36	2,24	3,13
Soil of the orchards of the village of Akhmer	0,16	0,14	0,08	0,36

Therefore, it is evident that zinc and cadmium exhibit the highest hazard ratios in the industrial areas of the city. In general, the hazard coefficients in the suburban area did not differ statistically, and the hazard coefficients in the industrial area showed a significantly higher level.

*The concentration of heavy metals in vegetables cultivated in the industrial zones of Ust-Kamenogorsk and throughout the city*

Vegetables grown in vegetable gardens near Kazzinc LLP and Akhmer village had different heavy metal content. This differentiation is closely related

to the level of soil pollution and the physiological characteristics of plants. For example, despite the high concentration of Pb in the soil of the industrial area, the least amount of this metal was found in vegetables. The evidence that plants accumulate less Pb from the soil relates to the research of Latif A. and others [20].

The largest amount of all the studied heavy metals was recorded in beetroot, which showed a greater tendency to absorb heavy metals. Of all the vegetables studied, the Zn content was the highest, the largest amount of Zn among vegetables was found in beetroot ( $\text{mg}/\text{kg}^{-1}$ ), the smallest in pota-

toes ( $15.9 \text{ mg}/\text{kg}^{-1}$ ). This is due to the high concentration of this metal in the soil in which vegetables were grown.

The Cu level in vegetables was also significantly higher. Although Cu is an essential element for the human body, its excess can cause serious harm to human health. Beetroot showed the highest Cu concentration ( $7.45 \text{ mg}/\text{kg}^{-1}$ ), whereas carrots had the lowest ( $2.99 \text{ mg}/\text{kg}^{-1}$ ). In the works of Pipoyan and others [21],  $-12.01 \text{ mg}/\text{kg}^{-1}$  was found in potatoes grown in an industrial zone, and  $-5.78 \text{ mg}/\text{kg}^{-1}$  Cu was found in carrots, these values are slightly higher than the results of this study.

**Table 5** – Levels of heavy metals in vegetables cultivated in private gardens near Kazzinc LLP and in the village of Akhmer,  $\text{mg}/\text{kg}^{-1}$  dry weight

Area under study	Cu	Zn	Pb	Cd
	beetroot			
Suburb of Kazzinc LLP	7,45	96,5	0,88	0,66
Village of Akhmer	4,52	28,7	0,01	0,23
	carrot			
Suburb of Kazzinc LLP	2,99	26,6	0,28	0,48
Village of Akhmer	3,9	21,9	0,46	0,16
	potato			
Suburb of Kazzinc LLP	3,35	20,2	0,1	0,42
Village of Akhmer	6,72	15,9	0,02	0,29

The Pb level was relatively low, from 0.01 to 0.88  $\text{mg}/\text{kg}$ . Among the studied elements, the Cd level was the lowest, from 0.16 to 0.66  $\text{mg}/\text{kg}$ .

Comparing the data obtained with the results of foreign studies, studies by Johann M.R. and others [22] showed that the Pb and Cd content in carrots and potatoes was 4-16 times lower (the amount of Cd in carrots is  $-0.041 \text{ mg}/\text{kg}^{-1}$  and in potatoes  $-0.096 \text{ mg}/\text{kg}^{-1}$ , the Pb content in carrots is  $0.006 \text{ mg}/\text{kg}^{-1}$ , in potatoes  $-0.054 \text{ mg}/\text{kg}^{-1}$ ).

The safe limits of heavy metal content in food products as recommended by FAO/WHO are  $73.0 \text{ mg}/\text{kg}^{-1}$  for Cu,  $99.0 \text{ mg}/\text{kg}^{-1}$  for Zn,  $0.3 \text{ mg}/\text{kg}^{-1}$  for Pb, and  $0.2 \text{ mg}/\text{kg}^{-1}$  for Cd [23]. Comparing these limits with the data from this study, it was found that the levels of Cu and Zn in the tested vegetables did not exceed the established standards. However, the Pb content in beetroot grown near Kazzinc LLP was three times higher than the safe limit. Additionally, the study results indicated that the Cd levels ex-

ceeded the safe limits in all vegetables grown in the areas from which the samples were taken. In a study by B. Moyo and others [24], Cd  $-1.08 \text{ mg}/\text{kg}^{-1}$  was found in beetroot grown in close proximity to the industrial area, which is 1.6 times higher than the results obtained in this study. Cadmium is considered more toxic than lead, and according to the decision of the World Health Organization is classified as one of the most dangerous substances for human health. For example, chronic Cd exposure can lead to lung cancer, bone fractures, impaired kidney function, and hypertension [25]. Therefore, special attention should be paid to the contamination of vegetables grown in the city of Ust-Kamenogorsk with heavy metals, especially cadmium content.

The bioconcentration factor (BCF) is a common metric used to evaluate the toxicity of heavy metals and their transfer from soil to plants [26, 27]. In this study, the heavy metal concentration coefficient values ranged from 0.0003 to 1.2

**Table 6** – BCF of heavy metals in vegetable crops grown on various soils of the city

Study area	Cd	Cu	Pb	Zn
	beetroot			
Vicinity of Kazzinc LLP	0,1	0,07	0,003	0,01
Village of Akhmer	0,27	0,11	0,0005	0,95
	carrot			
Suburb of Kazzinc LLP	0,03	0,03	0,001	0,07
Village of Akhmer	0,2	0,09	0,02	0,67
	potato			
Suburb of Kazzinc LLP	0,02	0,03	0,0003	0,06
Village of Akhmer	0,15	0,16	0,0009	1,2

BCF values were less than 1 for all vegetables studied, except potatoes grown in the village of Akhmer. This indicates a poor reaction of plants to the absorption of heavy metals. According to the value of the bioconcentration coefficient, heavy metals can be divided in the following descending order: Cd > Zn > Cu > Pb. The lowest BCF values were determined for Pb, and the highest ones for Cd. As for the analysis of data from the literature, the data obtained coincide with the research of Bifeng H. and others [28]. In addition, studies by B. Moyo and others [24] have also shown that the highest BCF coefficient was specific to Cd, and vegetables have a high ability to absorb Cd. Although there were variations in the minimum and maximum BCF values, they were influenced by the region where the vegetables and plants were cultivated. Among the vegetables, the lowest values were observed in the industrial area, while the highest values were found in the suburban area.

### Conclusion

As a result of continuous industrialization and urbanization, heavy metal contamination has emerged as a significant environmental issue in Kazakhstan. The ability of the vegetables studied in this scientific work to absorb heavy metals from the soil was uneven. Nevertheless, it is disturbing that in almost all samples the amount of Cd exceeded the safe limits of heavy metal content in food products recommended by the FAO/WHO, it is obvious that prolonged consumption of food contaminated with cadmium can have a negative impact on the health of city residents. In this regard, heavy metals in vegetables should be monitored in order to reduce potential harm to public health. The data on the control of heavy metal levels in this study are of great importance as useful information for promoting food security in Kazakhstan and for establishing a national standard, which currently does not exist.

### References

1. Woszczyk M., Spychalski W., Boluspaeva L. Trace metal (Cd, Cu, Pb, Zn) fractionation in urban-industrial soils of Ust-Kamenogorsk (Oskemen), Kazakhstan-implications for the assessment of environmental quality // *Environ Monit Assess.* -2018. No190 (6). P.362 (1-16).
2. Shafiq M, Bakht J, Iqbal A, Shaf M. Growth, protein expression and heavy metal uptake by Tobacco under heavy metals contaminated soil // *Pak. J. Bot.* -2020. 52(5). P.1569-1576. DOI: [http://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-5\(13\)](http://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-5(13))
3. Ghosh AK, Bhatt MA, Agrawal HP. Effect of long-term application of treated sewage water on heavy metal accumulation in vegetables grown in Northern India *Environmental Monitoring and Assessment*// -2012. 184. P. 1025-1036.
4. Souri M.K., Hatamian M., Tesfamariam T. Plant growth stage influences heavy metal accumulation in leafy vegetables of garden cress and sweet basil // *Chem. Biol. Technol. Agric.* -2019. <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0170-3>
5. Ashraf I., Ahmad F., Sharif A., Altaf, A.R., Teng H. Heavy Metals Assessment in Water, Soil, Vegetables and Their Associated Health Risks via Consumption of Vegetables, District Kasur, Pakistan// *SN Appl. Sci.* -2021.3. P. 552.
6. Sandeep G., Vijayalatha K.R., Anitha T. Heavy metals and its impact in vegetable crops // *Int. J. Chem. Stud.* -2019. 7. P. 1612–1621.
7. Souri MK, Alipanahi N., Hatamian M., Ahmadi M., Tesfamariam T. Elemental profile of heavy metals in garden cress, coriander, lettuce and spinach, commonly cultivated in Kahrizak, South of Tehran-Iran // *Open Agric.* -2018. 3(1). P. 7–32.



8. Zwolak A., Szpyrka E., Stawarczyk K. Sources of Soil Pollution by Heavy Metals and Their Accumulation in Vegetables. A Review. // *Water Air Soil Poll.* -2019.230 . P. 164.
9. Gupta, N., Yadav K.K., Kumar V, Kumar S., Chadd R.P., Kumar A. Trace elements in soil-vegetables interface: Translocation, bioaccumulation, toxicity and amelioration-A review. // *Sci. Total Environ.* -2019. 651. -P. 2927–2942.
10. Boluspayeva L., Jakubus M., Szychalski W., Abzhalelov A., Bitmanov Y. Health Risk of Heavy Metals Related to Consumption of Vegetables in Areas of Industrial Impact in the Republic of Kazakhstan—Case Study for Oskemen. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* - 2023. 20. 275. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010275>
11. Vanisree C.R., Sankhla M.S., Singh P., Jadhav E.B., Verma R.K., Awasthi K.K., Awasthi G., Naga V. Heavy metal contamination of food crops: Transportation via food chain, human consumption, toxicity and management strategies. In *Environmental Impact and Remediation of Heavy Metals.* // IntechOpen. London, UK, -2022.
12. <https://zhaikpress.kz/ru/news/kazcink-sokratit-vybrosy-dioksida-sery-na-20-k-2024-godu/>(accessed on 30 December 2023).
13. ISO 11466; Soil Quality-Extraction of Trace Elements Soluble in Aqua Regia. International Organization of Standardization: Geneva, Switzerland, 1995.
14. Ostrowska A., Gawlinski S., Szczubialka Z. *Methods for Analysis and Evaluation of Soil and Plant Properties*, 1st ed.; IOS Warszawa:Warszawa, Poland, 1991; pp. 158–167. (In Polish)
15. Jakubus M., Bakinowska E. The effect of immobilizing agents on Zn and Cu availability for plants in relation to their potential health risk. // *Appl. Sci.* -2022.12. 6538.
16. Order of the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan dated 21 April 2021. On Approval of the Hygienic Standards for the Safety of the Environment. Available online: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100022595> (accessed on 19 December 2023).
17. Standards for Maximum Permissible Concentrations of Harmful Substances, Harmful Organisms and Other Biological Substances that Pollute the Soil, Approved by the Joint Order of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan Dated 30 January 2004 № 99 and the Ministry of Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan dated January 27, 2004. Available online: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=1046570&pos=32;-47#pos=32;-47](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1046570&pos=32;-47#pos=32;-47) (accessed on 19 December 2023).
18. Directive 86/278/EWG. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31986L0278> (accessed on 25 January 2023)
19. Moghtaderi T., Mahmoudi S., Shakeri A., Masihabadi H.M. Heavy Metals Contamination and Human Health Risk Assessment in Soils of an Industrial Area, Bandar Abbas—South Central Iran. // *Hum. Ecol. Risk Assess.* -2018, 24, -P. 1058–1073.
20. Latif A., Bilal M., Asghar W., Azeem M., Ahmad MI, et al. Heavy Metal Accumulation in Vegetables and Assessment of their Potential Health Risk. // *J Environ Anal Chem* 5. -2018. 234. doi:10.4172/2380-2391.1000234
21. Pipoyan D., Stepanyan S., Stepanyan S., Beglaryan M., Merendino N. Health Risk Assessment of Potentially Toxic Trace and Elements in Vegetables Grown Under the Impact of Kajaran Mining Complex. // *Biological Trace Element Research.* – 2019. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01675-w>
22. Johann M.R., Leslie A., Hoo F., Charles N. G. Assessment of the potential health risks associated with the aluminium, arsenic, cadmium and lead content in selected fruits and vegetables grown in Jamaica. // *Toxicology Reports.* - 2017. 4. –P. 181-187. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.03.006>
23. ALINORM 01/12A. 24; Food additives and contaminants, Joint Codex Alimentarius Commission, FAO/WHO. Food standards Programme, FAO/WHO: Geneva, Switzerland, 2001.
24. Babra Moyo, Vhahangwele Matodzi, Malebogo A. Determination of Cd, Mn and Ni accumulated in fruits, vegetables and soil in the Thohoyandou town area, South Africa Water. // *SA.* -2020. No 46(2). – P. 285–290
25. Satarug S., Baker J.R., Urbenjapol S. Haswell-Elkins M., Reilly P.E., Williams D.J., Moore M.R. A global perspective on cadmium pollution and toxicity in non-occupationally exposed population. // *Toxicol. Lett.* -2003.137. – P. 65–83.
26. Jakubus M., Bakinowska E., Compost utilisation in a heavy metal immobilisation process evaluated by bioconcentration factors. // *J. Elem.* -2019. 24. – P. 1291–1307.
27. Rai K.P., Lee S.S., Zhan M., Tsang Y.F., Kim, K.H. Heavy metals in food crops: Health, risk, fate, mechanism and management. // *Environ. Int.* -2019. 125. – P 365–385.
28. Bifeng H., Xiaolin J., Jie H., Dongyun X., Fang X., Yan L. Assessment of Heavy Metal Pollution and Health Risks in the Soil-Plant-Human System in the Yangtze River Delta, China. // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* - 2017. 14. 1042. doi:10.3390/ijerph14091042

**Авторлар туралы мәлімет:**

*Болуспаева Лаура Сайлыбаевна – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің қоршаған ортаны қорғау саласындағы басқару және инжиниринг кафедрасының докторанты (Астана, Қазақстан, e-mail: boluspaeva82@mail.ru).*

*Абжалелов Ахан Бегманович – биология ғылымдарының докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің қоршаған ортаны қорғау саласындағы басқару және инжиниринг кафедрасының профессоры (Астана, Қазақстан, e-mail: ab\_akhan@mail.ru).*

*Спихальский Валдемар – Познань қаласындағы Жаратылыстану ғылымдары университетінің топырақтану және микробиология кафедрасының профессоры (Познань, Польша, sruchal@ip.poznan.pl).*

*Жазнаева Жанат Кадырбековна – С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің экология және география кафедрасының аға оқытушысы (Өскемен, Қазақстан, e-mail: zhaznaeva.zhk951@mail.ru).*

*Сарсенбаева Гүлмира Базарбаевна – әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университетінің тұрақты даму бойынша ЮНЕСКО кафедрасының докторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: gulekeshi@mail.ru)*

**Information about authors:**

*Boluspayeva Laura Sailybayevna – PhD student, Department of Environmental Management and Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: boluspaeva82@mail.ru).*

*Abzhalelov Akhan B. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Environmental Management and Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: ab\_akhan@mail.ru).*

*Spychalski Valdemar – Professor, Department of Soil Science and Microbiology, Poznan University of Natural Sciences (Poznan, Poland, spychal@up.poznan.pl).*

*Zhaznayeva Zhanat Kadyrbekovna – Senior Lecturer, Department of Ecology and Geography, S. Amanzholov East Kazakhstan University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: zhaznaeva.zhk951@mail.ru).*

*Sarsenbayeva Gulmira Bazarbayevna – doctoral student at the UNESCO Department of Sustainable Development, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: gulekeshi@mail.ru).*

*Received March 03, 2024  
Accepted December 27, 2024*

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**

А.Б. Бигалиев<sup>1\*</sup>, Б.О. Бекманов<sup>2</sup>, К.З. Шалабаева<sup>1</sup>,  
А.Н. Кожакметова<sup>1</sup>, А.М. Мырзатай<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Институт генетики и физиологии Министерства науки  
и высшего образования Республики Казахстан, г. Алматы, Казахстан  
\*e-mail: aitkhazha@gmail.com

## ЭКОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ГЕНОМА ЧЕЛОВЕКА

Целью исследования является оценка воздействия радиационного загрязнения окружающей среды на стабильность генома и здоровье человека, с учетом отдаленных генетических последствий.

Измерения гамма-активности показали, что уровень радиации обследованной территории полигона и прилегающих населенных пунктов находится в пределах 0,06–0,014 мЗв/ч. Особое значение в этом отношении имеет изучение механизмов индивидуальной чувствительности к радиации и роли системы репарации ДНК [1,36]. Молекулярно-генетические исследования ДНК клеток крови и цитогенетические анализы людей, проживающих в зоне влияния полигона радиоактивных отходов, выявили распространение нескольких мутантных генотипов, что свидетельствует о вероятности повышении риска экологических заболеваний у лиц с выраженной нестабильностью генома.

Уровень радиации на территории полигона и прилегающих населенных пунктов находится в пределах 0,06–0,014 мЗв/ч. Методом генотипирования гена репарации ДНК XRCC1 Arg399Gln, установлено: гомозиготный Arg/Arg (89 + 159), гетерозиготный Arg/Gln (248 + 159 + 89), гомозиготный Gln/Gln (248). Распределение генотипов в следующем порядке: XRCC1 Arg/Arg – 15 человек, XRCC1 Arg/Gln – 14 человек, XRCC1 Gln/Gln – 1 человек.

**Ключевые слова:** мутагены, радиация, окружающая среда, гены, наследственные заболевания, геном.

A.B. Bigaliyev<sup>1\*</sup>, B.O. Bekmanov<sup>2</sup>, K.Z. Shalabayeva<sup>1</sup>,  
A.N., Kozhakhmetova<sup>1</sup>, A.M. Myrzatay<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>"Institute of Genetics and Physiology" of the Ministry of Science and Higher Education  
of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan  
\*e-mail: aitkhazha@gmail.com

### Ecogenetic assessment of the effects of technogenic pollutants on genome stability

The aim of the study is to assess the impact of radiation pollution on the stability of the genome and human health, taking into account the long-term genetic consequences.

Measurements of gamma activity showed that the radiation level of the surveyed territory of the landfill and adjacent settlements is in the range of 0.06–0.014 mSv/h. Of particular importance in this regard is the study of the mechanisms of individual sensitivity to radiation and the role of the DNA repair system [1,36]. Molecular genetic studies of the DNA of blood cells and cytogenetic analyses of people living in the zone of influence of the radioactive waste landfill revealed the spread of several mutant genotypes, which indicates the likelihood of an increased risk of environmental diseases in persons with pronounced genome instability.

The radiation level on the territory of the landfill and adjacent settlements is in the range of 0.06–0.014 mSv/h. By genotyping the XRCC1 Arg399Gln DNA repair gene, it was found: homozygous Arg/Arg (89 + 159), heterozygous Arg/Gln (248 + 159 + 89), homozygous Gln/Gln (248). The genotype distribution is as follows: XRCC1 Arg/Arg – 15 people, XRCC1 Arg/Gln – 14 people, XRCC1 Gln/Gln – 1 person.

**Key words:** mutagens, radiation, environment, genes, hereditary diseases, genome.

А.Б. Бигалиев<sup>1\*</sup>, Б.О. Бекманов<sup>2</sup>, К.З. Шалабаева<sup>1</sup>,  
А.Н. Кожаметова<sup>1</sup>, А.М. Мырзатай<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің «Генетика және физиология институты», Алматы қ., Қазақстан

\*e-mail: aitkhazha@gmail.com

### Техногендік ластаушы заттардың геномның тұрақтылығына әсерін экогенетикалық бағалау

Зерттеудің мақсаты–алыс генетикалық әсерлерді ескере отырып, қоршаған ортаның радиациялық ластануының геномның тұрақтылығы мен адам денсаулығына әсерін бағалау.

Гамма-белсенділікті өлшеу полигонның зерттелген аумағы мен іргелес елді мекендердің радиация деңгейі 0,06-0,014 мЗв/сағ шегінде екенін көрсетті. осыған байланысты радиацияға жеке сезімталдық механизмдерін және ДНК жөндеу жүйесінің рөлін зерттеу ерекше маңызға ие [1,36]. Қан жасушаларының ДНК молекулалық-генетикалық зерттеулері және радиоактивті қалдықтар полигонының әсер ету аймағында тұратын адамдардың цитогенетикалық талдаулары бірнеше мутантты генотиптердің таралуын анықтады, бұл геномның айқын тұрақсыздығы бар адамдарда экологиялық аурулардың даму қаупінің жоғарылау ықтималдығын көрсетеді.

Полигон аумағындағы және оған іргелес елді мекендердегі радиация деңгейі 0,06-0,014 мЗв/сағ шегінде. XRCC1 ARG399GLN ДНК жөндеу генін генотиптеу әдісімен анықталды: гомозиготалы Arg/Arg (89 + 159), гетерозиготалы Arg/Gln (248 + 159 + 89), гомозиготалы Gln/Gln (248). Генотиптердің таралуы келесі ретпен: XRCC1 Arg/Arg – 15 адам, XRCC1 Arg/Gln – 14 адам, XRCC1 Gln/Gln – 1 адам.

**Түйін сөздер:** мутагендер, радиация, қоршаған орта, гендер, тұқым қуалайтын аурулар, геном.

## Введение

Отдаленные генетические последствия радиационных факторов представляют реальную опасность для биоты, человека и важны для охраны окружающей среды и здоровья человека. Знание механизмов радиационного воздействия связано с индивидуальной радиочувствительностью организмов и активностью системы репарации повреждений ДНК (repair). В связи с этим увеличение частоты заболеваний человека, связанных с мутагенами окружающей среды, определяет необходимость выявления групп риска людей с повышенной чувствительностью к радиационному облучению. Влияние радиации на организм, помимо прямого воздействия на его функциональные подсистемы, индуцирует или активирует защитные системы (репарацию, адаптацию). Как показывают результаты многочисленных исследований, последствия радиационного облучения в значительной степени обусловлены повреждением ДНК [7,8,11,26,39]. Если системы репарации не работают должным образом, риск мутации резко возрастает. Увеличение числа мутаций может привести либо к гибели клеток, либо к серьезным структурным изменениям (включая злокачественные новообразования) [29]. Вышеизложенное подчеркивает актуальность темы исследования и полученных результатов.

## Материалы и методы

В ходе экспедиционных полевых работ было выполнено радиологическое обследование территории. Исследования радиоактивности образцов почвы и растительности проводили гамма-спектрометрическим методом с использованием прибора «Мультирад-гамма» MKS-OTA № 1935 (VA.17-04-46889 от 15.09.2023), лабораторные исследования – молекулярно-генетический анализ ДНК – RAPD и ISSR методами на образцах периферической крови человека [3]. Отобранные пробы почвы и растений в сельской местности Мунайлинского района Мангистауской области исследованы гамма-спектрометрическим методом в радиологической лаборатории филиала РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» КГКП МЗ РК по Мангистауской области в соответствии с Приказом Министра здравоохранения Республики Казахстан от 2 августа 2022 года № КР DSM-71 «Об утверждении порядка проведения исследования», исследование проб воды радиометрическим методом на приборе-радиометре «UMF-2000» № 1169, свидетельство о поверке № № А.17-04-46969 от 11.09.2023 г. также в радиологической лаборатории филиала РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» Министерства здравоохранения РК по Мангистауской области. Образцы крови (60 человек) взяты у жителей прилегающих к полигону населенных

пунктов. Геномная ДНК была выделена из образцов периферической крови с использованием набора для очистки геномной ДНК (GeneJET, Thermo Fisher Scientific, США). Количественную и качественную оценку выделенной ДНК проводили с помощью спектрофотометра (NanoDrop One, Thermo Scientific, США) и электрофореза в агарозном геле. Затем синтезировали специфические праймеры для генов *XRCC1* Arg194Trp, *XRCC1* Arg399Gln и *XRCC3* Thr241Met. Синтез праймеров проводили на автоматическом синтезаторе ASM-800 (Россия) амидофосфитным методом в соответствии с инструкциями про-

изводителя. Синтезированные праймеры были протестированы в тестовых реакциях ПЦР-генотипирования. Готовые лиофилизированные праймеры хранили в морозильных камерах (-200°C) для проведения ПЦР-анализа. Также были использованы современные методы исследования ДНК: ПЦР-PDRF и гель-электрофорез.

### Результаты и обсуждение

Ниже приведены результаты радиологических исследований общей радиоактивности проб почвы и воды (Таблицы 1-2).

**Таблица 1** – Удельная эффективная активность почвы и почвы с растением с полигона хранения ТБО и территории мучомольного терминала

Удельная эффективная активность, Бк/кг									
№	Наименование образца	Точка отбора	Суммарная альфа-активность	Суммарная бета-активность	Cs <sup>137</sup>	Ra <sup>226</sup>	Th <sup>232</sup>	K <sup>40</sup>	Sr <sup>90</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
29	Почва	полигон хранения ТБО	-	-	1,2 ± 1,1	23,4 ± 3,9	10,5 ± 2,5	382 ± 74	
37	Почва с растением	территория мучомольного терминала	-	-	< 5,9	< 8,8	< 20	820 ± 230	

**Таблица 2** – Удельная эффективная активность питьевой и морской воды

№ п/п	Наименование образца	Точка отбора	Наименование показателей ингредиентов		Единица измерения	Допустимое содержание	
1	2	3	4		5	6	
			Суммарная альфа-активность	Суммарная бета-активность	Бк/л	Альфа-активность	Бета-активность
			Обнаруженное значение				
1	Вода питьевая децентрализованная		0,044 ± 0,012	0,15 ± 0,034		0,2	0,1
2	Вода морская с канала, вход в МАЭК, точка 1		0,062 ± 0,014	0,09 ± 0,018		не нормируются	не нормируются

В таблицах указаны точки отбора проб почвы, воды, растений и результаты определения уровня радиационной активности:

Площадка № 1: поселок Акшукыр. Координаты: N-43 0 46,089/, E-051 0 05,311/. Высота

местности 7 м. Уровень радиации на местности: 65 наносиверт/час.

Площадка № 2: поселок Баскудык, биотоп 1 (рядом с пожарной частью). Высота местности 15 м. Координаты: N – 43 0 41,960/, E – 051 0

12,232/. Уровень радиации на местности: 67 наносиверт/час. Уровень радиации в месте отбора проб: 103 наносиверта/час.

Площадка № 3: поселок Мангистау-1. Площадка №4. Координаты: N-40 0 42,529/, E – 051 017,707/. Высота над уровнем моря – 10 м.

Объект № 4: поселок Мангистау-5, координаты: N – 43 0 41,649/, E -051 0 17 797/. Высота местности составляет 14 метров. Уровень радиации: 68 наносиверт/час.

Площадка № 5: Зона Мангистауского атомно-энергетического комплекса – химико-гидрометаллургический завод (ХГМЗ) в южной части города Актау. Уровень радиации в пробах воды канала сброса с МАЭК – 0,08-0,09 мЗв/час. Аномально повышенные значения уровня гамма-излучения были зарегистрированы в районе ЧМЗ и товарищества с ограниченной ответственностью (ТОО) «Актауский литейный завод». Абсолютный максимум (1,98 мкЗв/ч) в районе ЧМЗ [20,21].

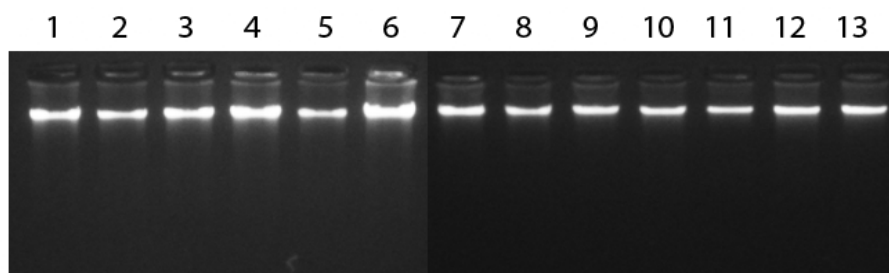
В целом, исследуемая территория характеризуется незначительным уровнем радиационного

фона, среднее значение дозы облучения окружающей среды (МЭД) для данной территории составляет 0,14 мкЗв/ч. Абсолютный максимум – 0,66 мкЗв/ч – был зарегистрирован на участке № 5.

На основании данных радиологического обследования территории были проведены необходимые подготовительные работы к молекулярно-генетическим исследованиям для оценки последствий воздействия радиационно-загрязненных территорий на здоровье населения [8].

Для молекулярно-генетического анализа была использована кровь жителей (60 человек), проживающих на прилегающих к полигону территориях. Список специфических праймеров для изучаемых генов репарации представлены с указанием последовательности специфических праймеров и эндонуклеаз, используемых для анализа. Затем было выполнено генотипирование гена репарации ДНК *XRCC1 Arg399Gln*.

На приведенных ниже электрофореграммах показаны результаты молекулярно-генетических исследований.



1-13 – образцы геномной ДНК

Рисунок 1 – Электрофореграмма выделенных ДНК из периферической крови людей

Как видно из рисунка 1, на котором показаны электрофореграммы некоторых образцов ДНК, электрофоретический анализ образцов ДНК показал, что выделенная ДНК была хорошего качества и не подвергалась деградации в процессе выделения.

В таблице 3 приведены используемые праймеры, условия амплификации, рестриктаз и продукты гена *XRCC1 Arg399Gln*.

В таблице приведены последовательности специфических праймеров к исследуемым генам, название эндонуклеазы рестрикции, используемой для рестрикционного анализа и размеры фрагментов.

Для анализа состояния репарационных систем организма была изучена изменчивость репарационных генов *XRCC1 Arg194Trp*, *XRCC1 Arg399Gln*, *XRCC3 Thr241Met*, *XPB751 Lys751Gln* у жителей исследуемых районов, проживающих вблизи радиационно-загрязненных территорий. Индукцию полиморфизма генов *XRCC1 Arg194Trp*, *XRCC1 Arg399Gln*, *XRCC3 Thr241Met*, *XPB751 Lys751Gln* оценивали с помощью ПЦР-PDRF-анализа. Продукты амплификации и рестрикции, выявленные с помощью электрофореза в агарозном геле представлены в таблице 4.

**Таблица 3** – Условия амплификации, рестрикции и целевые продукты гена XRCC1 Arg399Gln

Ген	Праймеры	Условия ПЦР	Рестриктаза	Продукты рестрикции (п.о.)
<i>XRCC1</i> Arg399Gln	(F) 5'-CAA GTA CAG CCA GGT CCT AG-3' (R) 5'-CCT TCC CTC ATC TGG AGT AC-3'	40 cycles: 94°C – 15 s 55°C – 30 s 72°C – 45 s	NciI	Arg/Arg: 89+59 Arg/Gln: 248+159+89 Gln/Gln: 248

**Таблица 4** – Условия амплификации, рестрикции и целевые продукты при определении полиморфизма генов.

Ген	Праймеры	Условия ПЦР	Рестриктаза	Продукты рестрикции (п.о.)
<i>XRCC1</i> Arg194Trp	(F) 5'-GCC CCG TCC CAG GTA-3' (R) 5'-AGC CCC AAG ACC CTT T-3'	40 cycles: 94°C – 15 s 57°C – 45 s 72°C – 45 s	PvuII	Arg/Arg: 490 Arg/Trp: 490+294+196 Trp/Trp: 294+196
<i>XRCC1</i> Arg399Gln	(F) 5'-CAA GTA CAG CCA GGT CCT AG-3' (R) 5'-CCT TCC CTC ATC TGG AGT AC-3'	40 cycles: 94°C – 15 s 55°C – 30 s 72°C – 45 s	NciI	Arg/Arg: 89+59 Arg/Gln: 248+159+89 Gln/Gln: 248
<i>XRCC3</i> Met241Thr	(F) 5'-GCC TGG TGG TGG TCA TCG ACT C-3' (R) 5'-ACA GGG GGG CTC CTC TGG AAG GCA CTG CTC AGC TCA CGC ACC-3'	40 cycles: 94°C – 15 s 60°C – 30 s 72°C – 45 s	NcoI	Thr/Thr: 136 Thr/Met: 136+97+39 Met/Met: 97+39

Были определены концентрации и свойства выделенной ДНК. В дальнейшем было проведено генотипирование гена репарации ДНК *XRCC1* Arg399Gln.

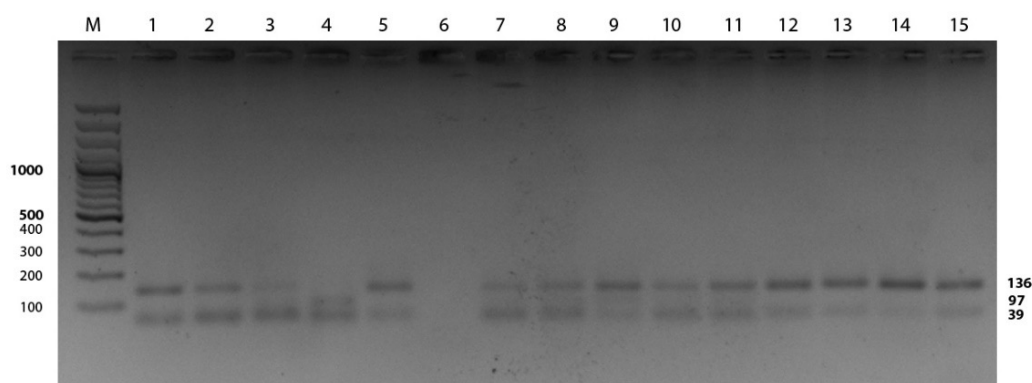
На рисунке 2 показаны результаты электрофоретического анализа. В результате было определено распределение по генотипам генов репарации ДНК *XRCC1* (Arg194Trp) и *XRCC3* (Thr241Met). Для гена *XRCC1* (Arg194Trp): гомозиготный генотип 194 Arg/Arg – 44,8%; гетерозиготный генотип 194 Arg/Trp – 48,3%; и генотип для мутантного аллеля 194Trp/Trp – 6,9%. Для гена *XRCC3* (Thr241Met): гомозиготный генотип 241 Thr/Thr – не обнаружен, и гетерозиготный генотип 241 Thr/Met – 73,4%. Гомозиготный генотип по 241 встреченному/встреченному мутантному аллелю составляет 26,6%.

Результаты электрофоретического анализа продуктов рестрикции после ПЦР-PDRF-анализа представлены на рисунке 3.

В результате анализа гена репарационной системы *XRCC1* Arg399Gln было установлено распределение генотипов в таком порядке: *XRCC1* Arg/Arg – 15 чел., *XRCC1* Arg/Gln – 14 чел., *XRCC1* Gln/Gln – 1 чел.

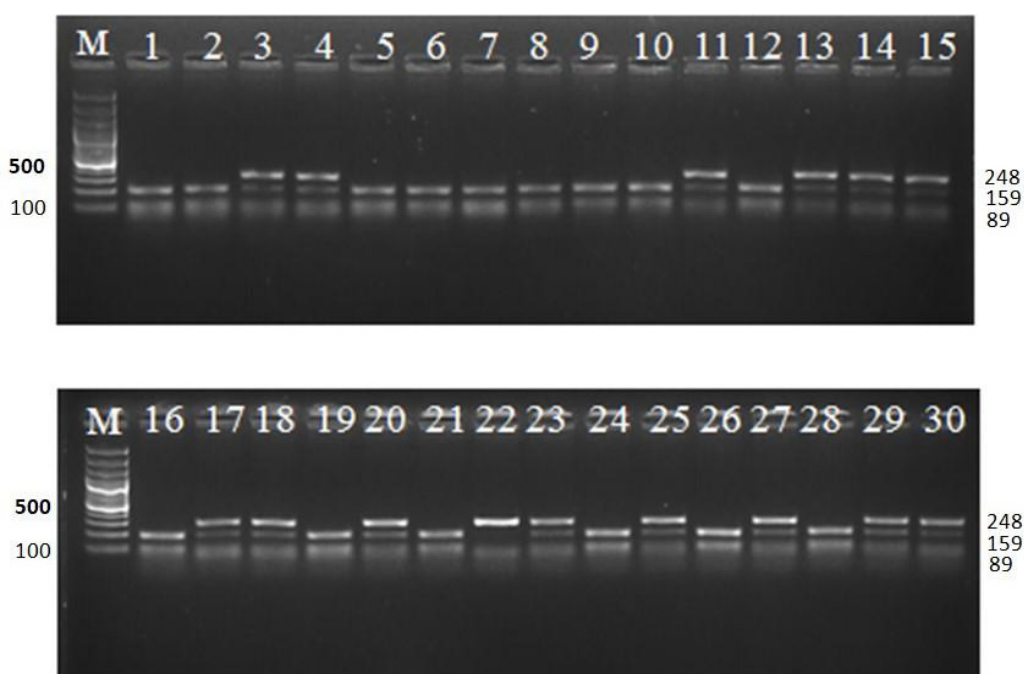
Мутация в генах системы репарации ДНК, как для отдельной клетки, так и для всего организма в целом, имеет критические последствия. В результате повышается риск развития рака, сердечно-сосудистых и других заболеваний в организме. Полиморфизмы в генах, связанных с репарацией двухцепочечных разрывов, влияют на фенотип радиочувствительности в лимфоцитах здоровых людей [33]. Полиморфные варианты гена *XRCC1* (Arg194Trp и Arg399Gln) фенотипически характеризуются изменением конформации белка *XRCC1*, т.е. белковый комплекс, участвующий в процессе репарации, а также за счет снижения активности координатора эксцизионной репарации и скорости сборки комплекса [14].





М – молекулярный ДНК-маркер. Гетерозиготы XRCC3 241Thr/Met – 1-3, 5, 7-15;  
гомозиготы по мутантному аллелю XRCC3 241 Met/Met – 4

**Рисунок 2** – Электрофореграмма продуктов рестрикции в полиморфном сайте гена XRCC3 241Thr/Met



М – молекулярный ДНК-маркер; гомозиготный Arg/Arg (89+159) – 1, 2, 5-10, 12, 16, 19, 21, 24, 26 и 28;  
гетерозиготный Arg/Gln (248+159+89) – 3, 4, 11, 13-15, 17, 18, 20, 23, 25, 27, 29 и 30; гомозиготный Gln/Gln (248) – 22

**Рисунок 3** – Электрофореграмма продуктов рестрикции в полиморфном сайте гена XRCC1 Arg399Gln

Продукт гена *XRCC3* Thr241Met непосредственно взаимодействует с белками, такими как RAD51C и RAD51D, при восстановлении двухцепочечных разрывов ДНК. Соответственно, мутации в гене *XRCC3* Thr241Met значительно повышают риск развития различных типов злокачественной меланомы [19]. Нарушение репарации ДНК как основа для выявления пациентов, получающих лучевую терапию по поводу рака, с повышенной чувствительностью к облучению

[28]. Было также обнаружено, что лучевая терапия модулирует эффективность репарации ДНК в мононуклеарных клетках периферической крови пациентов с не мелкоклеточным раком легкого [40].

Кроме того, однонуклеотидный полиморфизм (SNP) в генах репарации ДНК может влиять на эффективность процессов транскрипции и трансляции, а также на предрасположенность к ряду заболеваний. Поэтому изучение и опре-

деление распределения генов репарации ДНК по генотипам чрезвычайно важно.

В целом, согласно литературным данным, оценка радиационного риска основана на концепции индивидуальной изменчивости радиочувствительности [23]. По мнению международных экспертов, пороговая доза для определения (острых, немедленных) последствий облучения составляет 0,2 Гр. Следовательно, при сравнении полученных результатов о потенциальном воздействии радиации на организм человека на исследуемой территории, при меньших дозах единственными видами радиационных эффектов являются стохастические (отдаленные) эффекты – онкологические и наследственные заболевания, которые наблюдаются среди населения исследуемой территории [29]. Однако существуют различия в оценке последствий из-за взаимодействия функций дозы [2,17,30,31,32]. В нескольких исследованиях широко обсуждалась проблема гиперрадиочувствительности к низким дозам радиации после облучения клеток заряженными частицами *in vitro* и ее связь с адаптивным ответом и индуцированной радиорезистентностью [18,22,30]. Вся информация о долгосрочных последствиях LRLs для человека была получена либо путем экстраполяции экспериментальных данных на животных, либо в результате прямых радиационно-эпидемиологических исследований. Основным источником последнего является острое однократное воздействие высоких доз в результате ядерных катастроф (Хиросима и Нагасаки, Чернобыль, Фукусима и другие). Количественный параметр «вероятность развития стохастических эффектов LRL» характеризуется несколькими важными радиобиологическими параметрами, однако из-за отсутствия конкретных данных эти эффекты до настоящего времени не были точно определены и остаются предметом дискуссий. Полученные выводы могут быть использованы при реализации мероприятий по улучшению экологического состояния региона и здоровья населения.

Таким образом, влияние неблагоприятных факторов окружающей среды в экологически неблагоприятных регионах на организм детей может быть оценено с помощью клинического обследования с количественным и качественным учетом небольших аномалий развития, возникновение которых также является результатом изменения общего генетического баланса организма. Поэтому оценка генетических последствий воздействия внешних причин на соматические клетки человека может быть хорошим дополнением к мониторингу клинических эффектов [6].

### Заключение

- В результате геномного анализа лиц, проживающих в зонах техногенного воздействия установлена индукция полиморфизма генов репарации ДНК

- Генотипирование генов репарации ДНК показало распределение частоты генотипов обследованной популяции в следующем порядке: XRCC1 Arg/Arg – 15 человек, XRCC1 Arg/Gln – 14 человек, XRCC1 Gln/Gln – 1 человек.

- Результаты настоящего исследования согласуются с литературными данными о генетических последствиях радиационного воздействия на геном человека в случаях аварий на атомных электростанциях, испытаний ядерного оружия и являются неоспоримым доказательством проявления генетического «груза» в популяциях [34].

### Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта Фонда фундаментальных исследований Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан AP19680351 «Изучение биологических последствий воздействия антропогенных загрязнителей на биоту, здоровье населения и природную среду».

### Литература

1. Aghajanyan A., Kuzmina N., Sipyagyna A., Suskov I. Analysis of genomic instability in the offspring of fathers exposed to low doses of ionizing radiation // *Environmental and Molecular Mutagenesis*. – 2011. – №7. – С. 538–546.
2. Alseroury F.A., Almeelbi T., Khan A., Barakata M.A., Al-Zahrani J.H., Alali W. Estimation of natural radioactive and heavy metals concentration in underground water // *Journal of radiation research and applied sciences*. – 2018. – №4. – С. 538–546.
3. Ansari S.A., Narayanan C., Wali S.A., Kumar R., Shukla N., Rahangdale S.K. ISSR markers for analysis of molecular diversity and genetic structure of Indian teak (*Tectona grandis* Lf) populations // *Annals of forest research*. – 2012. – №1. – С. 11-23.
4. Applegate K.E., Rühm W., Wojcik A., Bourguignon M., Brenner A., Hamasaki K., Imai T., Imaizumi M., Imaoka T., Kakimoto S., Kamada T., Nishimura N., Okonogi N., Ozasa K., Rube C.E., Sadakane A., Sakata R., Shimada Y., Yoshida K., Bouffler

- S. Individual response of humans to ionizing radiation: governing factors // *Radiation and Environmental Biophysics*. – 2020. – №2. – С. 185–209.
5. Babu K.N., Sheeja T.E., Mino D., Rajesh M.K., Samsudeen K., Suraby E.J., Kumar I.P. Random amplified polymorphic DNA (RAPD) and derived techniques // *Molecular Plant Taxonomy: Methods and Protocols*. – 2021. – С. 219-47.
  6. Bardukov N.V., Artamonova V.S. Principles of Identification of Nucleotide Sequences in ISSR Marker Spectra // *Biology Bulletin*. – 2021. – №3. – С. 19-28.
  7. Barquinero J.F., Barrios L., Caballin M.R., Miro R., Ribas M., Subias A., Egoscue J. Decreased sensitivity to the cytogenetic effect of bleomycin in individuals occupationally exposed to ionizing radiation // *Mutation Research*. – 1996. – №1. – С. 81-86.
  8. Бигалиев А.Б., Шалабаева К.З., Шимшиков Б.Е., Кобегенова С.С., Адилова Л.М., Кожаметова А.Н., Шарахметов С., Бурханова М.Н. Эколого-генетическая оценка последствий влияния радиации на загрязненных территориях // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2020. – №7. – С. 794.
  9. Bouville A. Fallout from nuclear weapons tests: Environmental, health, political, and sociological considerations // *Health Physics*. – 2020. – №4. – С. 360-81.
  10. Chekhun V.F., Dyomina E.A., Druzhyna M.O., Kalinkevich A.N., Zhovner M.O., Vershynsky S.O., Storizhko V.Y. New approach to the approximation of “dose – effect” dependence during the human somatic cells irradiation // *Nuclear Physics and Atomic Energy*. – 2013. – №3. – С. 299–303.
  11. Coleman C.N., Blakely W.F., Fike J.R., MacVittie T.J., Metting N.F., Mitchell J.B. Molecular and cellular biology of moderate-dose (1-10 Gy) radiation and potential mechanisms of radiation protection // *Radiation research*. – 2003. – №6. – С. 812-34.
  12. Cox Jr., Louis Anthony. Implications of nonlinearity, confounding, and interactions for estimating exposure concentration-response functions in quantitative risk analysis // *Environmental Research*. – 2020. – №187. – С. 109638.
  13. Evangelidou N., Balkanski Y., Florou H., Eleftheriadis K., Cozic A., Kritidis P. Global deposition and transport efficiencies of radioactive species with respect to modelling credibility after Fukushima (Japan, 2011) // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2015. – №149. – С. 164-75.
  14. Fang Z., Chen F., Wang X., Yi S., Chen W., Ye G. XRCC1 Arg194Trp and Arg280His polymorphisms increase bladder cancer risk in asian population: evidence from a meta-analysis // *PloS one*. – 2013. – №5. – С. e64001.
  15. Foray N., Bourguignon M., Hamada N. Individual response to ionizing radiation // *Mutation Research*. – 2016. – №770. – С. 369–386.
  16. Гусев Б.И., Архипова Е.И., Степучева М.В. Структура аномалий развития среди новорожденных Семипалатинской области // *Материалы международной конференции*. – 2016. – С. 25-26.
  17. Haverić A., Gajski G., Beganović A., Rahmanović A., Omanović M.H., Cetković T., Haverić S. Medical personnel occupationally exposed to low-dose ionizing radiation in federation of Bosnia and Herzegovina: a cytogenetic study // *Mutation Research*. – 2022. – №882. – С. 503546.
  18. Heuskin A.C., Michiels C., Lucas S. Low dose hypersensitivity following in vitro cell irradiation with charged particles: is the mechanism the same as with X-ray radiation? // *International Journal of Radiation Biology*. – 2014. – №1. – С. 81-89.
  19. He X.F., Wei W., Li J.L., Shen X.L., Ding D.P., Wang S.L., Liu Z.Z., Qin J.B., Wu L.X., Xie D.L. Association between the XRCC3 T241M polymorphism and risk of cancer: evidence from 157 case-control studies // *Gene*. – 2013. – №1. – С. 10-9. 20. Jargin S.V. Hormesis and radiation safety norms: comments for an update // *Human and Experimental Toxicology*. – 2018. – №37. – С. 1233–1243.
  20. Jargin S.V., Mothersill C., Seymour C. Radiation hormesis and dose response: are our current concepts meaningful or useful? // *Current Opinion in Toxicology*. – 2022. – №30. – С. 100335.
  21. Joiner M.C., Lambin P., Malaise E.P., Robson T., Arrand J.E., Skov K.A., Marples B. Hypersensitivity to very-low single radiation doses: its relationship to the adaptive response and induced radioresistance // *Mutation Research*. – 1996. – №358. – С. 171–183.
  22. Kovalev E.E., Smirnova O.A. Contact reports. Estimation of radiation risk based on the concept of individual variability of radiosensitivity // *AFRRI*. – 1996. – С. 202.
  23. Kumar N.S., Gurusubramanian G. Random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers and its applications // *Sci Vis*. – 2011. – №3. – С. 116-24.
  24. Кутербекоев К.А., Лукашенко С.Н., Глушенко В.Н. Проведение постоянного государственного мониторинга за пылением радиоактивных и токсичных отходов хвостохранилища «Кошкар-Ата», заключительный отчет // *Отчет ТОО Эко-сервис*. – 2005. – №3. – С. 2003.
  25. Кузьмина Н.С., Мязин А.Е., Лаптева Н.Ш., Рубанович А.В. Изучение аберрантного метилирования в лейкоцитах крови ликвидаторов аварии на ЧАЭС // *Радиационная биология. Радиоэкология*. – 2014. – №2. – С. 127-39.
  26. Lobachevsky P., Leong T., Daly P., Smith Ja., Best N., Tomaszewski J., Thompson E.R., Li N., Campbell Ia.G., Martin R.F., Martin O.A. Compromised DNA repair as a basis for identification of cancer radiotherapy patients with extreme radiosensitivity // *Cancer Letters*. – 2016. – №2. – С. 212–219.
  27. McGregor J.T., Casciano D., Müller L. Strategies and testing methods for identifying mutagenic risks // *Mutation Research/ Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. – 2000. – №1-2. – С. 3-20.
  28. Marples B., Collis S.J. Low-dose hyper-radiosensitivity: past, present Future // *International Journal of Radiation Oncology – Biology – Physics*. – 2008. – №5. – С. 1310–1318.
  29. Mortazavi S.M.J., Mozdarani H. Non-linear phenomena in biological findings of the residents of high background radiation areas of Ramsar // *International Journal of Radiation Research*. – 2013. – №1. – С. 3–9.

30. Mosse I, Dubovic B., Kostrova L., Molophei V. Melanin can be used for people protection against chronic irradiation and low radiation doses // 4th International Workshop on Space Radiation Research and 17th Annual NASA Space Radiation Health Investigators' Workshop, Book of Abstracts. – 2006. – Том. 81.
31. Mumbreakar K.D., Goutham H.V., Vadhiraia B.M., Sadashiva SRB. Polymorphisms in double strand break repair related genes influence radiosensitivity phenotype in lymphocytes from healthy individuals // DNA Repair. – 2016. – №40. – С. 27–34.
32. Robinson P.S., Coorens T.H., Palles C., Mitchell E., Abascal F., Olafsson S., Lee B.C., Lawson A.R., Lee-Six H., Moore L., Sanders M.A. Increased somatic mutation burdens in normal human cells due to defective DNA polymerases // Nature genetics. – 2021. – №10. – С. 1434-42.
33. Sanders C.L. Radiobiology and radiation hormesis: new evidence and its implications for medicine and society // Springer Nature. – 2017.
34. Schirmacher V. Less can be more: the hormesis theory of stress adaptation in the global biosphere and its implications // Biomedicines. – 2021. – №3. – С. 293.
35. Sugimoto M. Hormesis: insight into adaptive defense mechanisms against ionizing radiation established during evolution of life on the Earth // Fukushima Nuclear Accident, Nova Publishers, New York. – 2015. – С. 89–100.
36. Сушко С.М., Шишков И.А. Уранодобывающая отрасль Казахстана и перспективы ее развития // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологических и технических наук. – 2013. – №5. – С. 61-9.
37. Yin X., Mason Jo., Lobachevsky P.N., Munforte L., Selbie L., Ball D.L., Martin R.F., Leong T., Siva Sh., Martin O.A. Radiation therapy modulates DNA repair efficiency in peripheral blood mononuclear cells of patients with non-small cell lung cancer // International Journal of Radiation Oncology – Biology – Physics. – 2019. – №2. – С. 521–531.

### References

1. Aghajanyan A., Kuzmina N., Sipyagyna A., Suskov I. Analysis of genomic instability in the offspring of fathers exposed to low doses of ionizing radiation. Environmental and Molecular Mutagenesis. 2011. 52 (7):538–546.
2. Alseroury F.A., Almeelbi T., Khan A., Barakata M.A., Al-Zahrani J.H., Alali W. Estimation of natural radioactive and heavy metals concentration in underground water. Journal of radiation research and applied sciences. 2018. 11(4):373-8.
3. Ansari S.A., Narayanan C., Wali S.A., Kumar R., Shukla N., Rahangdale S.K. ISSR markers for analysis of molecular diversity and genetic structure of Indian teak (*Tectona grandis* Lf) populations. Annals of forest research. 2012. 55(1):11-23.
4. Applegate K.E., Rühm W., Wojcik A., Bourguignon M., Brenner A., Hamasaki K., Imai T., Imaizumi M., Imaoka T., Kakinuma S., Kamada T., Nishimura N., Okonogi N., Ozasa K., Rube C.E., Sadakane A., Sakata R., Shimada Y., Yoshida K., Bouffler S. Individual response of humans to ionizing radiation: governing factors. Radiation and Environmental Biophysics. 2020. 59(2):185–209.
5. Babu K.N., Sheeja T.E., Minoo D., Rajesh M.K., Samsudeen K., Suraby E.J., Kumar I.P. Random amplified polymorphic DNA (RAPD) and derived techniques. Molecular Plant Taxonomy: Methods and Protocols. 2021. 219-47.
6. Bardukov N.V., Artamonova V.S. Principles of Identification of Nucleotide Sequences in ISSR Marker Spectra. Biology Bulletin. 2021. Suppl 3:19-28.
7. Barquinero J.F., Barrios L., Caballin M.R., Miro R., Ribas M., Subias A., Egoscue J. Decreased sensitivity to the cytogenetic effect of bleomycin in individuals occupationally exposed to ionizing radiation. Mutation Research. 1996. 354:81–86.
8. Bigaliev A.B., Shalabaeva K.Z., Shimshikov B.E., Kobegenova S.S., Adilova L.M., Kozhahmetova A.N., Sharahmetov S., Burhanova M.N. Jekologo-geneticheskaja ocenka posledstvij vlijaniija radiacii na zagrjzennyyh territorijah. [Ecological and genetic assessment of the effects of radiation on contaminated areas]. Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2020. 24(7):794–801. (In Russian)
9. Bouville A. Fallout from nuclear weapons tests: Environmental, health, political, and sociological considerations. Health Physics. 2020. 118(4):360-81.
10. Chekhun V.F., Dyomina E.A., Druzhyna M.O., Kalinkevich A.N., Zhovner M.O., Vershynsky S.O., Storizhko V.Y. New approach to the approximation of “dose – effect” dependence during the human somatic cells irradiation. Nuclear Physics and Atomic Energy. 2013. 14(3):299–303.
11. Coleman C.N., Blakely W.F., Fike J.R., MacVittie T.J., Metting N.F., Mitchell J.B. Molecular and cellular biology of moderate-dose (1-10 Gy) radiation and potential mechanisms of radiation protection. Radiation research. 2003. 159(6):812-34.
12. Cox L.A. Implications of nonlinearity, confounding, and interactions for estimating exposure concentration-response functions in quantitative risk analysis. Environmental Research. 2020. 187:109638.
13. Evangelidou N., Balkanski Y., Florou H., Eleftheriadis K., Cozic A., Kritidis P. Global deposition and transport efficiencies of radioactive species with respect to modelling credibility after Fukushima (Japan, 2011). Journal of Environmental Radioactivity. 2015. 149:164-175.
14. Fang Z., Chen F., Wang X., Yi S., Chen W., Ye G.. XRCC1 Arg194Trp and Arg280His polymorphisms increase bladder cancer risk in asian population: evidence from a meta-analysis. PloS one. 2013. 8(5):e64001.
15. Foray N., Bourguignon M., Hamada N. Individual response to ionizing radiation. Mutation Research. 2016. 770:369–386.
16. Gusev B.I., Arhipova E.I., Stepucheva M.V. Struktura anomalij razvitiija sredi novorozhdennyh Semipalatinskoj oblasti [The structure of developmental abnormalities among newborns in the Semipalatinsk region]. Materialy mezhdunarodnoj konferencii. 1993. p. 25-26. (In Russian)

17. Haverić A., Gajski G., Beganović A., Rahmanović A., Omanović M.H., Cetković T., Haverić S. Medical personnel occupationally exposed to low-dose ionizing radiation in federation of Bosnia and Herzegovina: a cytogenetic study. *Mutation Research*. 2022. 882:503546.
18. Heuskin A.C., Michiels C., Lucas S. Low dose hypersensitivity following in vitro cell irradiation with charged particles: is the mechanism the same as with X-ray radiation? *International Journal of Radiation Biology*. 2014. 90(1):81–89.
19. He X.F., Wei W., Li J.L., Shen X.L., Ding D.P., Wang S.L., Liu Z.Z., Qin J.B., Wu L.X., Xie D.L. Association between the XRCC3 T241M polymorphism and risk of cancer: evidence from 157 case–control studies. *Gene*. 2013. 523(1):10-19.
20. Jargin S.V., Mothersill C., Seymour C. Radiation hormesis and dose response: are our current concepts meaningful or useful? *Current Opinion in Toxicology*. 2022. 30:100335.
21. Joiner M.C., Lambin P., Malaise E.P., Robson T., Arrand J.E., Skov K.A., Marples B. Hypersensitivity to very-low single radiation doses: its relationship to the adaptive response and induced radioresistance. *Mutation Research*. 1996. 358:171–183.
22. Kovalev E.E., Smirnova O.A. Contact reports. Estimation of radiation risk based on the concept of individual variability of radiosensitivity. American Foreign Radiobiology Research Institute. 1996. p. 202.
23. Kumar NS, Gurusubramanian G. Random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers and its applications. *Sci Vis*. 2011. 3:116-24.
24. Kuterbekov K.A., Lukashenko S.N., Glushchenko V.N. Provedenie postojannogo gosudarstvennogo monitoringa za pyleniem radioaktivnyh i toksichnyh othodov hvostohranilishha «Koshkar-Ata», zakljuchitel'nyj otchet [Conducting permanent state monitoring of the dusting of radioactive and toxic waste from the Koshkar-Ata tailings dump, final report]. zakljuchitel'nyj otchet TOO Jekoservis. 2005. 3:2003. (In Russian)
25. Kuz'mina N.S., Myazin A.E., Lapteva N.Sh., Rubanovich A.V. Izuchenie aberrantnogo metilirovaniya v lejkocitah krovi likvidatorov avarii na ChAJeS [The study of aberrant methylation in leukocytes of the blood of liquidators of the Chernobyl accident]. Radiacionnaja biologija. Radiojekologija. 2014. 54(2):127-39. (In Russian)
26. Lobachevsky P., Leong T., Daly P., Smith Ja., Best N., Tomaszewski J., Thompson E.R., Li N., Campbell Ia.G., Martin R.F., Martin O.A. Compromized DNA repair as a basis for identification of cancer radiotherapy patients with extreme radiosensitivity. *Cancer Letters*. 2016. 383(2):212–219.
27. McGregor J.T., Casciano D., Müller L. Strategies and testing methods for identifying mutagenic risks. *Mutation Research/ Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. 2000. 455(1-2):3-20.
28. Marples B., Collis S.J. Low-dose hyper-radiosensitivity: past, present Future. *International Journal of Radiation Oncology – Biology – Physics*. 2008. 70(5):1310–1318.
29. Mortazavi S.M.J., Mozdarani H. Non-linear phenomena in biological findings of the residents of high background radiation areas of Ramsar. *International Journal of Radiation Research*. 2013. 11(1):3–9.
30. Mosse I., Dubovic B., Kostrova L., Molophei V. Melanin can be used for people protection against chronic irradiation and low radiation doses. In 4th International Workshop on Space Radiation Research and 17th Annual NASA Space Radiation Health Investigators' Workshop, Book of Abstracts. 2006. Vol. 81.
31. Mumbrekar K.D., Goutham H.V., Vadhiraja B.M., Sadashiva S.R.B. Polymorphisms in double strand break repair related genes influence radiosensitivity phenotype in lymphocytes from healthy individuals. *DNA Repair*. 2016. 40:27–34.
32. Robinson P.S., Coorens T.H., Palles C., Mitchell E., Abascal F., Olafsson S., Lee B.C., Lawson A.R., Lee-Six H., Moore L., Sanders M.A. Increased somatic mutation burdens in normal human cells due to defective DNA polymerases. *Nature genetics*. 2021. 53(10):1434-1442.
33. Sanders C.L. Radiobiology and radiation hormesis: new evidence and its implications for medicine and society. Springer Nature. 2017.
34. Schirrmacher V. Less can be more: the hormesis theory of stress adaptation in the global biosphere and its implications. *Biomedicines*. 2021. 9(3):293.
35. Sugimoto M. Hormesis: insight into adaptive defense mechanisms against ionizing radiation established during evolution of life on the Earth. Fukushima Nuclear Accident, Nova Publishers, New York. 2015:89–100.
36. Sushko S.M., Shishkov I.A. Uranodobyvajushhaja otrasl' Kazahstana i perspektivy ee razviti. [The uranium mining industry of Kazakhstan and its development prospects]. *Izvestija Nacional'noj akademii nauk Respubliki Kazahstan. Serija geologicheskikh i tehniceskikh nauk*. 2013. 5:61-69. (In Russian)
37. Yin X., Mason Jo., Lobachevsky P.N., Munforte L., Selbie L., Ball D.L., Martin R.F., Leong T., Siva Sh., Martin O.A. Radiation therapy modulates dna repair efficiency in peripheral blood mononuclear cells of patients with non-small cell lung cancer *International Journal of Radiation Oncology – Biology – Physics*. 2019. 103(2): 521–531.

**Авторлар туралы мәлімет:**

*Бигалиев Айтхажса Бигалиевич – биология ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан, aikhazha@gmail.com;*

*Бекманов Бақытжан Орақбайұлы – биология ғылымдарының кандидаты, доцент, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің генетика және физиология институты, Алматы, Қазақстан, bobekman@rambler.ru;*

*Шалабаева Клара Зұлхарнайқызы – медицина ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан, klara46.46@mail.ru;*

*Қожахметова Айзада Нұрахметова – биология ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан, ayzada.1983@mail.ru;*

*Мырзатай Аяулым Мирболатқызы – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан, ayaulymmyrzatay@gmail.com;*

**Information about authors:**

*Bigaliyev Aitkhazha Bigalievich – doctor of Biological Sciences, Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, aitkhazha@gmail.com;*

*Bekmanov Bakytzhan Orakbaevich – candidate of Biological Sciences, docent, Institute of genetics and physiology of the Ministry of Science and higher education of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan, bobekman@rambler.ru;*

*Shalabaeva Clara Zulkharnayevna – doctor of Medical Sciences, Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, klara46.46@mail.ru;*

*Kozhakhmetova Aizada Nurakhmetova – master of Biological Sciences, senior lecturer, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, ayzada.1983@mail.ru;*

*Myrzatay Ayaulym Mirbolatovna – master of Natural Sciences, researcher, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, ayaulymmyrzatay@gmail.com;*

*Поступила 10 июля 2024 года  
Принята 26 декабря 2024 года*

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

---

Section 3  
**ACTUAL PROBLEMS  
OF BIODIVERSITY CONSERVATION**

---

Раздел 3  
**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
СОХРАНЕНИЯ  
БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ**

Ч.Ж. Алдасугурова<sup>1\*</sup>, А.А. Аметов<sup>1</sup>, А.С. Нурмаханова<sup>1</sup>,  
 С.Т. Назарбекова<sup>1</sup>, Г.У. Байташева<sup>2</sup>, Т.Б. Рысқали<sup>1</sup>,  
 Қ.Қ. Құлымбет<sup>3</sup>, А.Ж. Чилдибаева<sup>1</sup>, А.А. Омирбекова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>3</sup>Ө.О. Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты, Алматы қ., Қазақстан

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

## ІЛЕ АЛАТАУЫНЫҢ ОРТАЛЫҚ ЖӘНЕ ШЫҒЫС БӨЛІКТЕРІНДЕ *ROSA POTENTILLIFLORA* CHRSHAN. ET. M. POP. ӨСІМДІГІ КЕЗДЕСЕТІН ӨСІМДІКТЕР ҚАУЫМДАСТЫҚТАРЫНЫҢ ТОПЫРАҚ ЖАБЫНЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Мақалада Іле Алатауының орталық бөлігінің, солтүстік беткейіндегі Түрген шатқалының орманды белдеуі және осы тау жотасының шығыс бөлігі болып табылатын Торайғыр, Сөгеті аласа тау жоталарында *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M. Pop. өсімдігі кездесетін өсімдіктер қауымдастықтарының топырағына жүргізілген зерттеулердің нәтижелері берілген. Зерттеу аймағының жерлердің теңіз деңгейінен биік жатуына байланысты олардың топырағының, климатының және өсімдіктер жабынының қалыптасуы биіктік белдеулердің зоналық заңдылығына тікелей байланысты болуы зерттеу жұмысында толық көрсетілді. Онда *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M. Pop. өсімдігі кездесетін өсімдіктер қауымдастықтарының топырақтарының типтері, өсімдік жамылғысының құрамы, морфологиялық белгілері және химиялық құрамдары, механикалық құрамдыры анықталды. Зерттеу аймақтарынан Торайғыр аласа тау жотасы маңы мен Іле Алатауының орталық бөлігінің, солтүстік беткейіндегі Түрген шатқалының орманды белдеуінен кара топырақ типтері және Сөгеті аласа тауы жотасынан қоңыр топырақ типтері анықталды. Механикалық құрамы бойынша орташа саздақ, жеңіл саздақ, ауыр саздақ топырақтар анықталды. Өсімдіктер қауымдастықтарының топырағының құнарлығы аса жоғары, қарашіріндіге бай, топырақ құрамында суда тез еритін тұздардың мөлшері өте аз, мүлдем жоқтың қасы деседе болады. Жалпы таулы аймақ топырақтарының селді үрдістерге бейім екендігі көрініс берді

**Түйін сөздер:** морфология, қауымдас, кесінді, горизонт, гранулометрия.

Ch.Zh. Aldassugurova<sup>1\*</sup>, A.A. Ametov<sup>1</sup>, A.S. Nurmahanova<sup>1</sup>,  
 S.T. Nazarbekova, G.U. Baitasheva, T.B. Ryskali<sup>1</sup>,  
 K.K. Kulymbet<sup>3</sup>, A.J. Childibaeva<sup>1</sup>, A.A. Omirbekova<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup> Kazakh research institute of soil science and agricultural chemistry named after U. Uspanov, Almaty, Kazakhstan

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

### Features of the soil cover of plant communities with the participation of a narrowly endemic plant *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M.Pop. in the conditions of the central and eastern part of the Trans-Ili Alatau

The article presents the results of studies of the soil cover of plant communities with the participation of *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M.Pop. in the conditions of the spruce belt of the central part of the Trans-Ili Alatau and its eastern slopes of the Toraigyr and Syugaty mountains. The research work has fully demonstrated that the formation of soils, climate and vegetation cover of the lands of the studied zone in connection with their lying above sea level is directly related to the zonal pattern of high-altitude belts. Here the soil types, vegetation composition, morphological characteristics, chemical and mechanical composition of plant communities in which the plant *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M.Pop is found are determined. From the study areas, chernozem types were identified in the conditions of the spruce belt in the central part of the Trans-Ili Alatau and its eastern slopes of the Toraigyr and Syugaty mountains. Based on their mechanical composition, medium clayey, light clayey and heavy clayey soils are distin-



guished. The soil of plant communities is very fertile, rich in humus, the amount of salts that quickly dissolve in water is very small, practically absent. It is shown that the soils of the mountain region are susceptible to flood processes

**Key words:** morphology, association, section, horizon, granulometry.

Ч.Ж. Алдасугурова<sup>1\*</sup>, А.А. Аметов<sup>1</sup>, А.С. Нурмаханова<sup>1</sup>,  
С.Т. Назарбекова<sup>1</sup> Г.У. Байташева<sup>2</sup>, Т.Б. Рысқали<sup>1</sup>,  
Қ.Қ. Құлымбет<sup>3</sup>, А.Ж. Чилдибаева<sup>1</sup>, А.А. Омирбекова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Казахский научно-исследовательский институт почвоведения

и агрохимии им. У.У. Успанова, г. Алматы, Казахстан

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

**Особенности почвенного покрова растительных сообществ  
с участием узкоэндемичного растения *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M. Pop.  
в условиях центральной и восточной частей Заилийского Алатау**

В статье дается результаты исследований почвенного покрова растительных сообществ с участием *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M. Pop. в условиях елового пояса центральной части Заилийского Алатау и его восточных отрогов гор Торайгыр, Сюгаты. В исследовательской работе полно продемонстрировано, что формирование почв, климата и растительного покрова земель исследуемой зоны в связи с их лежкостью выше уровня моря напрямую связано с зональной закономерностью высотных поясов. Здесь определены типы почв, состав растительного покрова, морфологические характеристики, химический и механический состав растительных сообществ, в которых встречается растение *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M. Pop. Из районов исследований выявлены черноземные типы в условиях елового пояса центральной части Заилийского Алатау и его восточных отрогов гор Торайгыр, Сюгаты. По механическому составу выделены среднеглинистые, легкоглинистые и тяжелоглинистые почвы. Почва растительных сообществ очень плодородна, богата гумусом, количество быстро растворяющихся в воде солей очень мало, практически отсутствует. Показано, что почвы горного региона подвержены паводковым процессам

**Ключевые слова:** морфология, ассоциация, разрез, горизонт, гранулометрия.

## Кіріспе

Қазақстанның жер көлемінің 502 мың км<sup>2</sup> (18%) таулар алып жатыр (теңіз деңгейінен 1000 – 5000 м биіктікке дейін). Осындай таулардың бірі Іле Алатауы. Ол шығыс Тянь – шань тау жүйелеріне жатады. Іле Алатауы үш бөліктен тұрады. Ең биік орталық бөлігі Шелек өзені аңғарынан басталып Қордай асуына дейін созылып жатыр. Алматы қаласынан шығысқа қарай таудың ең биік шыңы Талғар орналасқан (4856 м абсолюттік биіктікте). Шелек өзенінен шығысқа қарай тау күрт аласарып, Бөгетті, Сөгеті және Торайгыр тау жоталарымен аяқталады. Іле Алатауының батыс бөлігін Шу – Іле тау жоталары түзеді. Іле Алатауының жалпы ұзындығы. Шу – Іле аласа тау жоталарын қосып есептегенде 600 км шамасында болады.

Таулы жерлердің теңіз деңгейінен биік жатуына байланысты олардың топырағының, климатының және өсімдіктер жабынының қалыптасуы биіктік белдеулердің зоналық заңдылығына тікелей байланысты болады. Тау биіктеген са-

йын ондағы ылғалдылық арта түседі, нәтижесінде топырақтың құрамы мен өсімдіктер жабыны өзгеріске ұшырайды. Бұл заңдылықты алғаш рет орыс ғалымы топырақ танушы В.В. Докучаев (1899) өзінің «к учению о зонах природы. Горизонтальные и вертикальные почвенные зоны» деген еңбегінде келтірген. Іле Алатауының топырағын А.И. Безсонов (1923, 1950, 1945), К.П. Богатыров (1941, 1946), С.И. Соколов (1946), М.А. Глазовская (1944, 1950) секілді ғалымдар зерттеген. Олар Іле Алатауын 8 биіктік белдеуіне бөлген [1, 2].

Біз зерттеу жүргізген, таралу аймағы шектеулі, эндемдік өсімдік *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M. Pop. Іле Алатауының орталық бөлігінің, солтүстік беткейіндегі Турген шатқалының орманды белдеуінен және осы тау жотасының шығыс бөлігіне жататын Торайгыр, Сөгеті аласа тауларынан табылды. Біз бұл мақалада жоғарыда аталған тау жоталарында *Rosa potentilliflora* өсімдігі кездесетін өсімдіктер қауымдастықтарының топырағына жүргізген зерттеулердің нәтижелеріне тоқталдық.

## Зерттеу нысандары мен әдістері

Зерттеу нысандарына Іле Алатауының орталық және шығыс бөлігіндегі *Rosa potentilliflora* Chrshan. et. M. Pop. кездесетін өсімдіктер қауымдастықтарының топырақтары жатады. Осы жоғарыда аталған тау жоталарының *Rosa potentilliflora* кездесетін өсімдіктер қауымдастықтарына үш топырақ кесіндісін салып, оларға генетикалық горизонттар бойынша морфологиялық сипаттамалар жүргізіп, әр горизонттынан химиялық құрамын анықтауға топырақ үлгілерін алдық. Алынған топырақ үлгілерін бюксқа салып, сол жерде олардың салмаған электронды таразымен өлшеп анықтап, күнделікке жазып алдық. Қалаға келген соң әр топырақ кесіндісінен алынған үлгілерді термостатқа салып 40<sup>0</sup> С – тық температурада кептірдік. Содан соң олардың құрғақ салмағын өлшеп, топырақтың далалық жағдайындағы ылғалдығын анықтадық. Топырақты сипаттау стандартты үлгілер бойынша жүргізілді [3]. Осыдан кейін топырақ үлгілерін О. О. Оспанов атындағы Қазақ ТАҒЗИ –ның ғылыми зерттеу лабораториясында химиялық құрамына зерртеулер жүргізілді. Топырақ құрамындағы қарашіріндінің мөлшері И.В.Тюриннің тәсілі бойынша, механикалық құрамы Кочинскийдің тәсілі бойынша анықталды [4,5]. Сонымен бірге топырақтың химиялық қасиеттері зерттелді. Нақтырақ айтқанда топырақтағы тұздардың мөлшері, катиондар мен аниондар ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) мен катиондар ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) ГОСТ 26425 – 85 бойынша анықталды, топырақтың су сығындысының қышқылдық рН мәнінің мөлшері ГОСТ 26423 – 85 бойынша, органикалық зат мөлшері ГОСТ 23740 – 79 бойынша, карбонаттар мөлшері ( $\text{CO}_2$ ) ГОСТ 26425 – 85 бойынша, топырақтың гранилометриялық құрамы ГОСТ 12536 – 2014 бойынша анықталды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

### Зерттелген топырақтардың морфологиясы

Іле Алатауының жағдайында 1000 – 2000 м биіктік аралығында қара топырақтар кездеседі одан жоғары 1200 – 1500 м биіктіктен қарашірігі 10 – 12%, жалпы азоты 0,6 – 0,7%, жалпы фосфоры 0,2% құрайтын қарашірікке бай қара топырақтар басталады. Бұл топырақтарда негіздер сіңіру сыйымдылығы 100г топыраққа 50 – 55м-экв құрайды.

Таулы жерлердің биіктігіне байланысты биогидротермикалық жағдайдың өзгеруі әр түрлі топырақтардың қалыптасуына әсер етеді. Қазақ-

стан жерінде таулы-дала топырақтары барлық жер ауданының – 0,9%; таулы-орман қара – қоныр топырақтары – 0,2%; таулы қара топырақтары – 0,1% -ды құрайды [ 6].

*Бірінші кесінді* – Торайғыр тау жотасының оңтүстік – батыс бөлігіндегі Шилі сай шатқалының оңтүстік экспозициясынан салынды. Бұл жер теңіз деңгейінен 1600 м. абсолюттік биіктікте орналасқан, көлбеу бұрышы 15 – 20°. Өсімдік жамылғысы итмұрын – бұталы қауымдастығынан тұрады. Өсімдіктер жамылғысы 90 – 95%. Бұталардан ұсақжапырақ үшқат (*Lonicera microphylla* Willd.), шайқурай тобылғы (*Spiraea. hypericifolia* L.), түрліаяқ бөріқарақаты (*Berberis heteropoda* L.), Альтман үшқаты (*Lonicera altmanni* Rgl.), қазтбан раушаны (*Rosa potentilliflora* Chrshan. et M. Pop.) кездеседі. Ал шөптесін өсімдіктерден тікенді скалигерия (*Scaligeria setacea* Schrenk.), жабысқақ қызылбояу (*Galium. aparine* L.), жакмонт шағырбидай (*Melica jacquemontii* Decne.), қалқан аяниясы (*Ajanina. fastigiata* Winkl.), кәдімгі бетеге (*Festuca sulcata* Hack. ), аналық мойын жуа (*Allium dolichostylum* Vved), будан бозкілем (*Sedum hybridum* L.) [7,8,9] тағы басқалары кездеседі.

### Қара топырақтың морфологиясы

0-7 см. Қою-сұр, құрғақ ұсақ түйіршікті, құмбалшықты, шанды – тозанды бөлшектер кездеседі. Өсімдік тамырлары өте көп мөлшерде кездеседі. Келесі қабатқа біртіндеп ауысады.

7-17 см. Үстіңгі қабатқа қарағанда ашық түсті, бос құрылымды, ұсақ түйіршікті, құмбалшықты, құрғақ, өсімдік тамырлары көптеп кездеседі, қиыршық ұсақ тастарда көп кездеседі. Келесі қабатқа ауысуы айқын.

17-50 см. Қою сұр түсті, құрғақ, құмбалшықты, құрылымы бос, аздап тығыздалған топырақ, өсімдік тамырлары көптеп кездеседі, ұсақ қиыршық тастар мен тас сынықтары көп. Келесі қабатқа өтуі біртіндеп байқалады.

50-100 см. Ашық-сұр түсті, тығыздалған, ұсақ түйіршікті, құмбалшықты, кесіндінің барлық жерінде тас сынықтары және ұсақ қиыршық тастар өте көп.

*Екінші кесінді* – Сөгеті аласа тау жотасының оңтүстік – шығыс экспозициясы «Көкпек» асуына жақын жерден салынды. Сөгеті аңғар – Іле Алатауының шығысындағы Сөгеті және Торайғыр таулары аралығын алып жатыр. Ұзындығы 50 – 60 км, ені 20 – 25 км. Шығыс жағы көтеріңкі (абсолюттік биіктігі 1189 м). Біз зерттеу жүргізген оңтүстік шығыс беткейдің Аймақтың абсолюттік биіктігі 1150 м. Өсімдік жамылғысы

итмұрын – түйесіңір бұталар қауымдастығынан тұрады. Өсімдіктер қауымдастығы жабыны 75 – 80 % құрайды. Бұталардың басым бөлігін итмұрын – түйесіңір қауымдастығы құрайды. Сирек шайқурай тобылғысы (*Spiraea hypericifolia* L.) мен қылша (*Ephedra*) кездеседі. Шөптесін өсімдіктерден Даур қияғы (*Elymus dahuricus* Turcz.), шашыраңқы тарышық (*Milium effusum* L.), шағырбидай (*Melica* L.), қазтабан (*Potentilla* L.), дала жауылшасы (*Alyssum compestre* L.), будан бозкілем (*Sedum hybridum* L.), Маршалл жебірі (*Thymus marschallianus* Willd), кәдімгі бетеге (*Festuca sulcata* Hack.) Лессинг жусаны (*Artemisia lessingiana* Bess.) кездеседі.

#### **Қара-қоңыр топырақтың морфологиясы**

0-8 см. Қою – сұр, борпылдақ, шаңды – тозанды, құмбалшықты, өсімдік тамырлары өте көп мөлшерде кездеседі. Келесі қабатқа ауысуы біртіндеп байқалады.

8-25 см. Түсі үстіңгі қабатқа қарағанда ашықтау, тығыз, түйіршікті, құмбалшықты, ұсақ қиыршық тастар кездеседі, өсімдік тамырлары көп мөлшерде. Келесі қабатқа ауысуы біртіндеп байқалады.

25-40 см. Ашық – сұр түсті, тығыздалған, құрғақ, құмбалшықты, ұсақ қиыршық тастар кездеседі, өсімдік тамырлары аздап кездеседі, келесі қабатқа ауысуы анық байқалады.

40-45 см. Қою – сұр, тығыз, қабаты күшті, құмбалшықты, өсімдік тамырлары сирек, келесі қабатқа күрт өтуі байқалады.

45-160 см. Ашық сұр, құрғақ, құмбалшықты, ұсақ түйіршікті, аздап өсімдік тамырлары бар. Кесіндінің төменгі жағында ұсақ қиыршық тастар мен малта тастар көптеп кездеседі.

*Үшінші топырақ кесіндісі* – Іле Алатауының солтүстік беткейіндегі Түрген шатқалының Оңтүстік – Шығыс экспозициясынан салынды. Бұл жердің абсолюттік биіктігі 1690 м. көлбеу бұрышы 25-30°. Өсімдік жамылғысы әртүрлі шөпті – бұталы қауымдастықтардан тұрады. Өсімдіктер жер бетін 100% жауып тұрады. Бұталардан шайқурай тобылғысы (*Spiraea hypericifolia* L.), түрліаяқ бөріқарақаты (*Berberis heteropoda* L.), саусақгүл ырғай (*Cotoneaster racemiflora* (Desf.) C. Koch), Аран раушаны (*Rosa spinosissima* L.), қазтабан раушан (*Rosa potentilliflora* Chrschan. et M. Pop.), Беггер раушаны (*Rosa Weggeriana* Schrenk) кездеседі. Шөптесін өсімдіктерден таулық фломис (*Phlomis oreophila* Kar.et Kir.), Виттрок рауғашы (*Rheum wittrockii* Lundstr), сарбас жоңышқа (*Medicago falcata* L.), кәдімгі жоңышқа (*Medicago sativa* L.), қала гавила-

ты (*Geum urbanum* L.), түркістан сасықшөбі (*Leonurus turkestanicus* V.Krecz. et Kuprian), шалғын қоңырбасы (*Poa pratensis* L.), шашыраңқы тарышық (*Milium effusum* L.), нағыз қызылбояу (*Galium verum* L.), маралоты (*Thalictrum colinum* Wallr) ермен жусан (*Artemisia vulgaris* L.) және тағы басқалар таралған.

#### **Таулы қара топырақ морфологиясы**

0-8 см. Қою – қара түсті, дән секілді – ұсақ түйіршікті, құмбалшықты, аздап тығыздалған, құрғақ,. Өсімдіктердің тамырлары көп кездеседі. Келесі қабатқа біртіндеп ауысуы байқалады.

8-20 см. Қою – сұр түсті, ұсақ түйіршікті, сазды, өсімдік тамырлары ұсақ көп кездеседі. Келесі қабатқа біртіндеп ауысуы байқалады.

20-45 см. Алдыңғы кесіндіден ашық сұр түсті, болып келуімен байқалады. түйіршікті, орташа тығыздалған. Кесінді бойынша ұсақ қиыршық тастар кездеседі, құмбалшықты, өсімдік тамырлары аздап таралған. Келесі қабатқа күрт ауысады.

45-100 см. қоңыр – қою сұр түсті келеді, борпылдақ, құмбалшықты, көптеген үлкенді кішілі тастар кездеседі. Өсімдіктердің тамырлары аз таралған.

#### **Топырақтардың химиялық құрамын талдау**

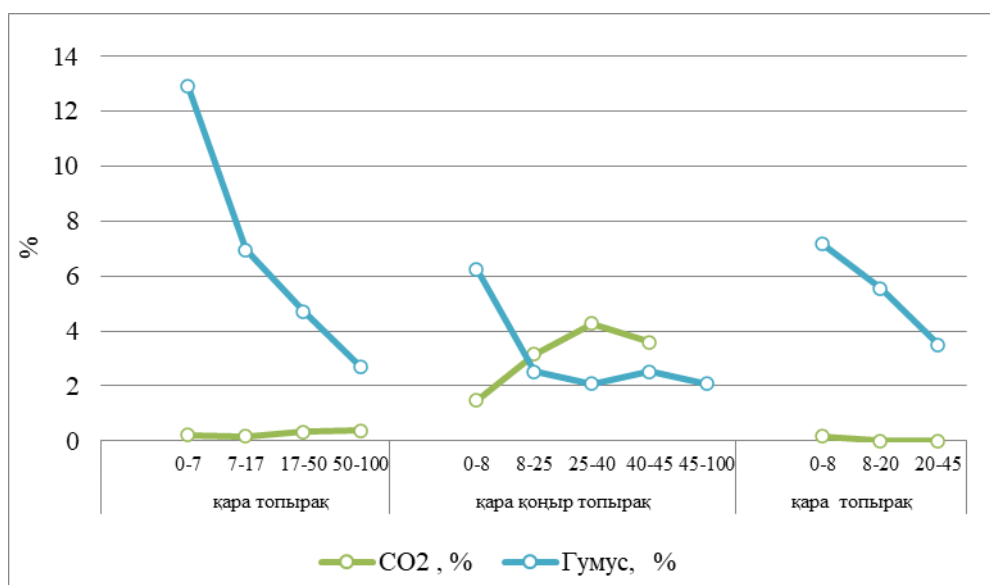
Зерттеу нәтижелері көрсеткендей Торайғыр тауының оңтүстік – батысындағы қара топырақта қара шірінді мөлшері 2,69-12,90 % аралығында болды, әсіресе топырақтың беткі қабатында оның көрсеткіші 50 см тереңдікке дейін, қара шіріндінің мөлшері күрт төмендейді терең жатқан горизонттарда [10,11]. Топырақ құрамындағы рН мәні 7,39 – 8,58 аралығында, болады яғни сілтілі және күшті сілтілі деуге болады, горизонт тереңдігіне қарай сілтілік деңгейі арта түседі. СО<sub>2</sub> мөлшері 0,16 – 0,38 аралығында болды, топырақ горизонтының оның мөлшері аздап жоғарылайды.

«Көкпек» асуына жақын Сөгеті тауының оңтүстік – шығыс экспозициясынан қара – қоңыр топыраққа салынған кесіндіде қара шіріндінің мөлшері жоғары, 2,08-6,25 % аралығында болды. Бұл жердеде топырақтың беткі қабатында да оның мөлшері жоғары,болды. Топырақ горизонтының төменгі жағына қарай қарашіріндінің мөлшері азаяды. Топырақтың қышқылдық реакциясы жоғары рН мәнінің көрсеткіші 8,18-8,93 аралығында болады. Бұл сілтілі және күшті сілтілі ортаның көрсеткіші. Горизонттар бойынша

оның таралуы біркелкі емес, CO<sub>2</sub> мөлшері 1,47 – 4,26 аралығында болды.

Іле Алатауының солтүстік беткейіндегі Түрген шатқалының оңтүстік – шығыс экспозициясы аумағындағы таулы қара топырақтың гумус мөлшері 3,02-7,16 % аралығында болды. Топырақтың 20 см –ге дейінгі қабатында жоғары

мөлшерде, 20 см – ден төменгі тереңдікте оның мөлшері біртіндеп азаяды, топырақ құрамындағы рН мөлшері 6,97 – 8,26 аралығында болды, кесіндінің барлық горизонттары ұзындығы бойынша қышқылды және сілтілі ортаны көрсетті, CO<sub>2</sub> мөлшері 0,16-1,08 аралығында болды, кей қабаттарда көмірқышқылы анықталмады.



1-сурет – Зерттелген топырақ типтеріндегі гумус, CO<sub>2</sub> мөлшері.

Қара топырақтың кесіндісіндегі су сүзіндісінің құрамы келесідей болды: CO<sub>3</sub><sup>-</sup> анықталмады; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 0,32-0,72; Cl<sup>-</sup> – 0,04; SO<sub>4</sub><sup>-</sup> – 0,12-0,92; Ca<sup>+</sup> – 0,29-0,49; Mg<sup>2+</sup> – 0,20-0,98; Na<sup>+</sup> – 0,05-0,06; K<sup>+</sup> – 0,05-0,23; Тұздар жиынтығы 0,060-0,083% аспады.

Қара – қоңыр топырақтағы су сүзіндісінің тұздар құрамы келесідей болды: CO<sub>3</sub><sup>-</sup> – анықталмады; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 0,24-0,80; Cl<sup>-</sup> – 0,04-0,11; SO<sub>4</sub><sup>-</sup> – 0,13-0,48; Ca<sup>+</sup> – 0,19-0,39; Mg<sup>2+</sup> – 0,29-0,49; Na<sup>+</sup> – 0,05-0,29; K<sup>+</sup> – 0,07-0,24; Тұздар жиынтығы 0,073-0,087% аралығында болды.

Таулы қара топырақтағы су сүзіндісінің тұздар құрамы келесідей болды: CO<sub>3</sub><sup>-</sup> – анықталмады; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 0,52-0,68; Cl<sup>-</sup> – 0,04; SO<sub>4</sub><sup>-</sup> – 0,11-0,53; Ca<sup>+</sup> – 0,19-0,49; Mg<sup>2+</sup> – 0,20-0,48; Na<sup>+</sup> – 0,05-0,06; K<sup>+</sup> – 0,02-0,10; Тұздар жиынтығы 0,056-0,065%.

Барлық топырақ типтеріндегі тұздардық мөлшері, яғни тұздылық деңгейінен төмен болды, яғни тұзданбаған.

*Гранулометриялық құрамы.* Топырақтың механикалық құрамының топырақ түзуде, топырақты ауыл шаруашылығы және басқа

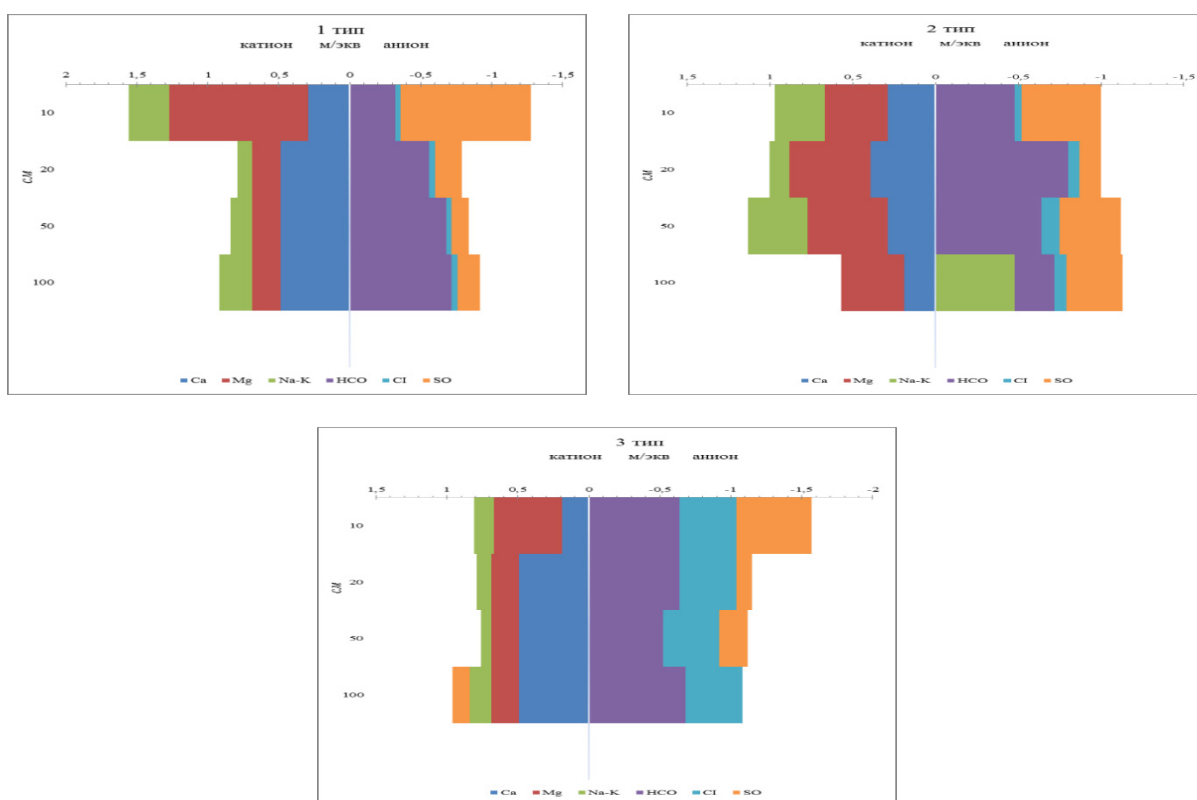
мақсаттарға пайдалануда маңызы орасан зор. Топырақтың механикалық құрамымен оның кеуектілігі, су сыйымдылығы, ылғал өткізгіштігі, ылғалды жоғары көтеру қасиеті, коректі заттарды жинау мүмкіншілігі, ауаның жылылық режимдері сияқты қасиеттері тығыз байланысты [12]. Гранулометриялық құрамы қалыптасқан ортада өсетін өсімдіктердің морфо – анатомиялық құрылымына және фитохимиялық құрылымына отандық ғалымдар зерттеулер жүргізген [13-16].

Ауыр күмбалшықты, кейде орташа күмбалшықты топырақтар балшықты келеді, көп жағдайда қатып қалады, техника қолдану арқылы агрохимиялық реттеу шараларын қажет етеді. Балшық құрылымдығы тұрақсыз топырақтарға жатады, әсіресе ылғалдығы аса жоғары болғанда және сейсмикалық қысымға жақын жағдайда болып табылады [6]. Қазақстан территориясының біраз аймағын таулар алып жатқандықтан аймақта таулы топырақтар кеңінен таралған. Таулы аймақтардың ерекшелігі теңіз деңгейінен биік жатуына байланысты топырақ – климат-

тық зоналарының таралуында биіктік белдеулік зоналық заңы орын алады, тау биіктеген сайын ылғал мөлшері көбейе түсіп, ауа – райы суыта бастайды [17,18]. Тік аймақтық топырақ таралу заңдылығына бағына отырып, климат жағдайы және өсімдіктер түрлері жердің биіктілігімен өзгереді. Бірақ, интерференциясына байланысты тауларда, ендікте кездесетін кейбір белдеулер болмауы да мүмкін [19,20]. Сонымен, Торайғыр, Сөгеті аласа тау жоталары және Турген шатқа-

лының топырақ кесінділері Іле Алатауының тау тізбегіне кіреді. Мұнда топырақ типтерінің таралуы алуан түрлі. Тау етегінің биіктеу жазықтықтарында қара қоңыр, қоңыр т.б. түрлері кездеседі [21,22,23].

Жүргізілген зерттеудің бірінші (Торайғыр) топырақ кесіндісінің гранулометриялық құрамында ұсақ күм (0,25-0,05мм) фракциясы басым болып 28,99 %-ды құрады, одан кейін ірі күм фракциясы басымдылық көрсетті (15,8 %).



2-сурет – Зерттелген топырақ кесіндісінің тұздық кескіні.

Торайғыр тауы топырақ кесіндісіндегі гранулометриялық құрам фракцияларының кему қатары (%):

Ұсақ күм 28,99 < ірі күм 15,8 < ірі шаң 15,5 < тозаң 12,41 < ұсақ шаң 11,76 < орташа шаң 10,57.

Екінші топырақ кесіндісінде ұсақ күм (1,0-0,25мм) мен ірі күм (0,25-0,05мм) гранулометриялық фракциялары біршама басымдылық көрсетті (45,06 және 14,24 %).

Торайғыр тауы топырақ кесіндісіндегі гранулометриялық құрам фракцияларының кему қатары (%):

Ұсақ күм 28,99 < ірі күм 15,8 < ірі шаң 15,5 < тозаң 12,41 < ұсақ шаң 11,76 < орташа шаң 10,57.

Екінші топырақ кесіндісінде ұсақ күм (1,0-0,25мм) мен ірі күм (0,25-0,05мм) гранулометриялық фракциялары біршама басымдылық көрсетті (45,06 және 14,24 %).

Сөгеті тауы топырақ кесіндісіндегі гранулометриялық құрам фракцияларының кему қатары (%):

Ұсақ күм 45,06 < ірі күм 14,24 < ірі шаң 13,48 < тозаң 11,24 < орташа шаң 9,47 < ұсақ шаң 6,49.

Үшінші топырақ кескінінде ұсақ күм (0,25 – 0,05 мм) мен тозаң ( 0,001 мм) фракциялары басымдылық көрсетті (25,16 және 19,32 %).

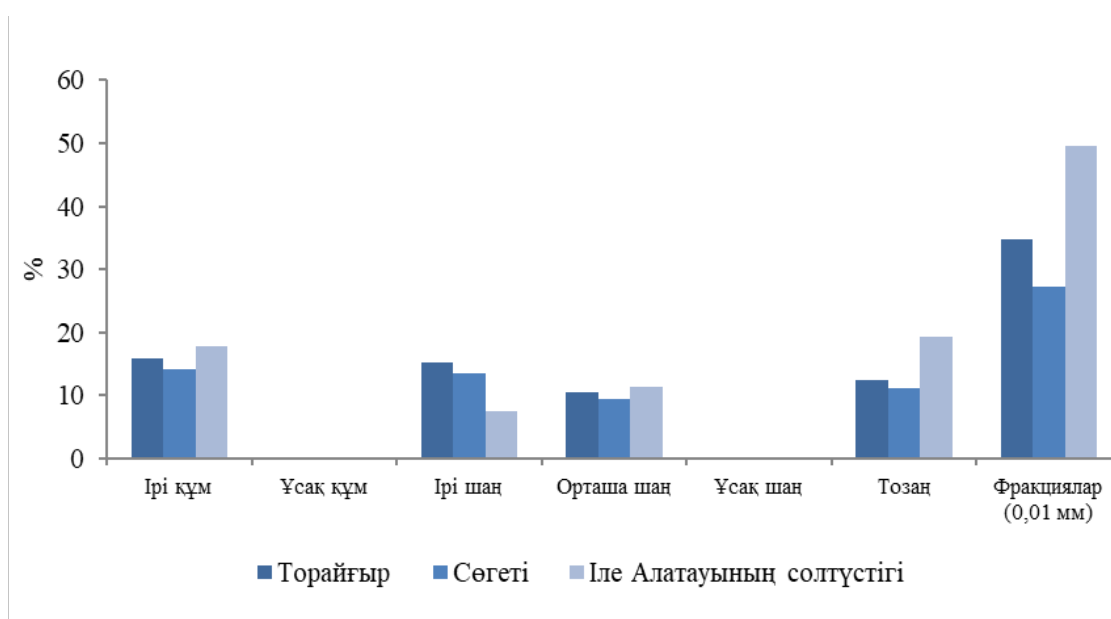
Іле Алатауының солтүстік беткейіндегі Турген шатқалының оңтүстік – шығыс экспозиция-

сының топырақ кескініндегі гранулометриялық құрам фракцияларының кему қатары (%):

Ұсақ құм 25,06 < тозаң 19,32 < ұсақ шаң 18,82 < ірі құм 17,82 < орташа шаң 11,38 < ірі шаң 7,47.

Топырақ түйіршігі 0.01 мм-ден ұсақ бөлшектерден тұрады (балшық), пайыздық көр-

сеткіші бойынша Торайғыр тауы топырағы орташа саздақ (34,74 %), Сөгеті тауы топырағы жеңіл саздақ (27,21 %), Іле Алатауының солтүстік беткейіндегі Түрген шатқалының орманды белдеуінің, оңтүстік шығыс экспозициясының топырағы ауыр саздақ (49,54 %) болды.



3-сурет – Зерттелген топырақ кесінділерінің гранулометриялық құрамы.

### Қорытынды

Қорытындылай келгенде, зерттелген топырақ типтері Торайғыр тауының оңтүстік батысында кара шірінді (гумус) мөлшері өте жоғары (12,90 % ға дейін) кара топырақ, Көкпек асуындағы Сөгеті тауының оңтүстік – шығысындағы кара қоңыр топырақтың қарашірінді (гумус) мөлшері 2,08-6,25 % аспайды. Іле Алатауының солтүстік беткейінің орманды белдеуінің Түрген шатқалының оңтүстік – шығыс экспозициясында гумус мөлшері беткі қабаттарында жоғары 3,02 – 7,16% құрайды мұндай топырақты кара топырақ типтеріне жатқызамыз.

Топырақ ортасы топырақ құрамындағы рН мәнінің реакциясы барлық үш топырақ кесіндісінде сілтіліден күшті сілтіліге дейін жоғарылады. Тұздарының құрамы бойынша барлық топырақ типтері тұзданбаған.

Механикалық құрамы бойынша (0.01 мм-ден ұсақ бөлшектер) Торайғыр тауы топырағы орташа саздақ (34,74 %), Сөгеті тауы топырағы же-

ңіл саздақ (27,21%), Іле Алатауының солтүстік беткейінің орманды белдеуінің Түрген шатқалының оңтүстік – шығыс экспозициясының топырағы ауыр саздақты (49,54 %) болды.

Жалпы біздің топыраққа жүргізген зерттеулеріміздің нәтижелері бойынша мынадай қорытынды жасауға болады. *Rosa potentilliflora* секілді таралу аймағы шектеулі эндемдік өсімдік үшін ерекше микроклимат қажет. Біріншіден ол жердің теңіз деңгейінен биіктігі 1200 бен 1800 м аралығында болуы шарт. Екіншіден, топырағының қарашіріндісі мол, таудың құнарлы кара қоңыр (темнокаштановый) және кара топырағы болуы маңызды. Үшіншіден, *Rosa potentilliflora* өсімдігі тау жотасының күн жақсы түсетін, оңтүстік және оңтүстік шығыс экспозициясында жақсы өседі. Төртіншіден, Іле Алатауының орталық бөлігінің орманды биіктік белдеуі және оның шығыс бөлігі болып табылатын Торайғыр, Сөгеті аласа тау жоталарының климаттық жағдайы осы *Rosa potentilliflora* өсімдігі үшін аса қолайлы орта болып табылады.

### Әдебиеттер

1. С.И. Соколов. Почвенный очерк горной части бассейна р. Малой Алматинки. «Изв. АН КазССР», – серия почвенная, вып. 3 (28), Алма – Ата. С – 240. 1946.
2. М.А. Глазовская. Материалы по классификации почв северных склонов Заилийского Алатау. – «Изв. АН КазССР», серия почвенная, вып. 3 (28). С – 295. 1946.
3. Методическое руководство по проведению комплексного агрохимического обследованию почв сельскохозяйственных угодий. М. С-10-93. 2004.
4. И.В.Тюрин. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии. – М. Сельхозгиз, 1937. С – 300.
5. В.А Качинский. Физика почвы. – М.: Высшая школа, 1965 г. С– 324.
6. International Science Reviews: Natural Sciences and Technologies- vol. 1, №. 1, 2020г.
7. Флора Казахстана. – Том.1-9, Алма-Ата, 1956 – 1966.
8. Иллюстрированный определитель растений Казахстана – Том 1-2. Алма-Ата, издательство «Наука» с – 60-65. 1966.
9. С.А. Арыстанғалиев, Е.Р. Рамазанов. Қазақстан өсімдіктері Ғылыми және халық атаулары. Қазақ ССР-інің «Ғылым» баспасы. Алматы, 130-152 б. 1977.
10. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. – М. ГЕОС. 400 с. 2006.
11. Иванов, А. Л., Когут, Б. М., Семенов, В. М., Тюрина М., Оберландер, Н., Шанбахер В. Развитие учения о гумусе и почвенном органическом веществе: от Тюрина и Ваксмана до наших дней. Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. (90). 3-38 с. 2017.
12. Arellano, G., Cala, V., Fuentes, A., Cayola, L., Jorgensen, P. M., and Macía, M. J. A standard protocol for woody plant inventories and soil characterisation using temporary 0.1-Ha plots in tropical forests. J. Trop. For. Sci. 28. 2016. Pp. 508–516.
13. Nurmahanova A.S., Ibisheva H., Atabayeva S.D., Tynybekov B., Childibayeva A., Usenbekova A., Omirbekova A. The current state of the soil cover of the Southern Balkhash region. // әл-Фараби атындағы қазуу Хабаршы, экология сериясы, – Алматы: «Қазақ университеті» Том 74. № 1. 2023. 1-11 с.
14. Akhtaeva N., Nurmakanova A., Tynybekov B. Adaptive characteristics of plants in the conditions of technogenic pollution Journal of water and land development 2022, N55. Pp. 251-258
15. Özek, G., Chidibayeva, A., Ametov, A., Nurmahanova, A., Özek, T. Chemical Composition of Flower Volatiles and Seeds Fatty Acids of *Rosa iliensis* Chrshan, an Endemic Species from Kazakhstan Records of Natural Products. 2022, 16(3), Pp. 225–235
16. A. Nurmahanova., N. Ibisheva., N. Kurbatova., S. Atabayeva., A. Seilkhan., B. Tynybekov., K. Abidkulova., A. Childibaeva., A. Akhmetova., G. Sadyrova. Comparative Anatomical and Morphological Study of Three Populations of *Salvia aethiopsis* L. Growing in the Southern Balkhash Region // Journal of Ecological Engineering 2023, 24(9), 27–38
17. Жалпы топырақтану: оқулық / Т.Тазобеков, С.Қалдыбаев, Ф.Мұхамедкәрімов. - Алматы: Эверо, – 212 б. 2017.
18. Жамалбеков Е. Ү., Білдебаева Р.М Жалпы топырақтану және топырақ географиясы. -Алматы, ҚҰҰ. 2000.121б.
19. Почвоведение с основами геологии. Под ред. В.П.Ковриго. – М.: Колос. – с. 78-94. 2008
20. Mackenzie D, Walker R, Abdrakhmatov K, Campbell G, Carr A, Gruetznier C, Mukambayev A, Rizza MA Creeping intracontinental thrust fault: past and present slip-rates on the Northern edge of the Tien Shan, Kazakhstan. Geophys J Intl 2017. 215 (2): 1148-1170.
21. Baimakhan, A., Seinassinova, A., Baimakhan, R., Rysbayeva, A., Moldakunova, N. Determining the physical and mechanical properties of two-phase soil for landslide slopes of the northern Tien Shan. International Journal of Engineering Research and Technology. 2020. 13 (4), Pp. 699-705.
22. Yertayeva Z., Kaldybaev, S., Beketova, A. The scientific basis of changes in the composition and properties of meadow saline soil of the foothill plains of the ili alatau during a long postmeliorative period. Ecology, Environment and Conservation. 2018. 24 (2), Pp. 715-720.
23. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Ранова С.У., Степанов Б.С., Аскарлова М.А. Концепция проектируемого мониторинга солевой опасности по Заилийскому Алатау и Кунгей Алатау. Учеб. Пособие. Алматы 2006. -344 б.

### References

1. Akhtaeva N., Nurmakanova A., Tynybekov B. Adaptive characteristics of plants in the conditions of technogenic pollution Journal of water and land development 2022, N55. Pp. 251-258
2. Arellano, G., Cala, V., Fuentes, A., Cayola, L., Jorgensen, P. M., and Macía, M. J. A Standard protocol for woody plant inventories and soil characterisation using temporary 0.1-Ha plots in tropical forests. J. Trop. For. Sci. 28. 2016. pp. 508-516.
3. Arystangaliev S. A., Ramazanov E. R. Qazaqstan ósimshil gylymy jáne halyq ataylary. Qazaq KSR-iiniń “Gylym” baspasy. Almaty, 130-152 b. 1977. [Kazakh].
4. Aýyl Sharýashylyǵy alqaptarynyń topyraqtaryna keshendi agrohimialyq zertteý júrgizý boıynsha ádistemelik nusqaýlyq. M. s-10-93. 2004. [Kazakh].
5. Baimakhan, A., Seinassinova, A., Baimakhan, R., Rysbayeva, A., Moldakunova, N. Determining the physical and mechanical properties of two-phase soil for landslide slopes of the northern Tien Shan. International Journal of Engineering Research and Technology. 2020. 13 (4), Rr. 699-705.
6. Flora Qazaqstan. – Tom.1-9, Almaty, 1956 – 1966. [Russian].
7. Geologia negizderimen Topyraqtaný. Red.v. p. Kovrigo. – М.: Qulaq. – 78-94 BB. 2008 [Kazakh].

8. Glazovskaya M. A. Іле Алатауының солтүстік беткейлеріндегі топырақты жіктеу бойынша материалдар. – “Kimnen. Qazksr ĞA”, топырақ сериясы, т. 3 (28). s-295. 1946. [Kazakh].
9. International Science Reviews: Natural Sciences and Technologies – vol. 1, №. 1, 2020j.
10. Ivanov, A. L., Kogyt, B. M., Semenov, V. M., Türina M., Oberlander, N., Shanbaher v. Gýmýs және топырақ органикалық заттары týraly ilimniń damýy: Türin men Vaksmanan búgingi kúnge dein. Topyraq instítýtynyń Búlleteni. V. V. Dokýchaeva. (90). 3-38 B.2017. [Kazakh].
11. Jamalbekov E. Ú., Bildebaeva R. M. Jalpy Topyraqtaný және топырақгеографиясы. – Алматы, QUÝ. 2000.121 b. [Kazakh].
12. Kachinski V. A. Topyraq fizikasy. – M.: Joǵary mektep, 1965 j. s-324. [Kazakh].
13. Mackenzie D, Walker R, Abdrakhmatov K, Campbell G, Carr A, Gruetzner C, Mukambayev A, Rizza MA Creeping intracontinental thrust fault: past and present slip-rates on the Northern edge of the Tien Shan, Kazakhstan. Geophys J Intl 2017. 215 (2): 1148-1170.
14. Medey A.R., Blagoveshenski V.P., Ranova S. Ý., Stepanov B. S., Asqarova M. A. Іле Алатауы мен Kúnger Alataуы бойынша jobаланған тuz қауыптілігі мониторинінін tújyrymdamasy. Oqý. járdemaуy. Almaty 2006. -344 b. [Russian].
15. Nurmahanova A., Ibisheva. N., Kurbatova N., Atabayeva S., Seilkhan A., Tynybekov B., Abidkulova K., Childibaeva A., Akhmetova A., Sadyrova G. Comparative Anatomical and Morphological Study of Three Populations of *Salvia aethiopis* L. Growing in the Southern Balkhash Region // Journal of Ecological Engineering 2023, 24(9), 27-38
16. Nurmahanova A.S., Ibisheva H., Atabayeva S.D., Tynybekov B., Childibayeva A., Usenbekova A., Omirbekova A. The current state of the soil cover of the Southern Balkhash region. // Bulletin of Al-Farabi Kazakh National University, Ecology series, Almaty: “Kazakh University” Volume 74. No. 1. 2023. 1-11 p.
17. Özek, G., Chidibayeva, A., Ametov, A., Nurmahanova, A., Özek, T. Chemical Composition of Flower Volatiles and Seeds Fatty Acids of *Rosa iliensis* Chrshan, an Endemic Species from Kazakhstan Records of Natural Products. 2022, 16(3), Pp. 225-235
18. Qazaqstan ósimdikteriniń ilústrasiаланған determinanty-1-2 Tom. Almaty, “Gylým” baspasy S – 60-65. 1966. [Kazakh].
19. Sokolov S.I. Kishi Almaty ózeni basiminiń taýly bóliginiń topyraq eskizi. “Kimnen. Qazksr ĞA”, – топырақ сериясы, т. 3 (28), Almaty. s-240. 1946. [Russian].
20. Tazabekov T., S. Qaldybaev, Ğ. Muhamedkárimov. Jalpy topyraqtaný: oqý / – Almaty: Evero, – 212 b. 2017. [Kazakh].
21. Türin I.V. Topyraqtıń organikalyq zattary және onyń topyraq túzilýi men qunarlyǵyndaǵy róli. – M. Aýyl sharýashylyǵy, 1937j. s-300. [Kazakh].
22. Vorobeva L.A. Topyraқты himialyq taldaу теориясы мен практикасы. – M.GEOS. 400 b. 2006. [Kazakh].
23. Yertayeva Z., Kaldybaev S., Beketova A. The scientific basis of changes in the composition and properties of meadow saline soil of the foothill plains of the ili alatau during a long postmeliorative period. Ecology, Environment and Conservation. 2018. 24 (2), Rr. 715-720.

#### **Авторлар туралы мәлімет:**

*Алдасугурова Чинаргул Жақыпқызы (корреспондент автор) – биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының PhD-доктаранты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, email: aldasygyrova.chinar.77@gmail.com.)*

*Аметов Абибулла – биология ғылымдарының кандидаты, биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, email: Abibulla.Ametov@kaznu.kz)*

*Нурмаханова Акмарал Садыққызы – PhD, биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының меңгерушісі қауымдастырылған профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, email: akmaral\_1976@mail.ru)*

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

*Байташева Г.У. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университетінің жаратылыстану институтының директоры (Алматы, Қазақстан, e-mail: gauhar75e@mail.ru).*

*Рысқали Толғанай Бағдатқызы – PhD-доктарант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, email: tolganay\_0220@mail.ru)*

*Құлымбет Қанат Қайратұлы – Ө.О. Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институтының ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, email: qulymbet.qanat@gmail.com)*

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

*Омирбекова Анель Адилевна – PhD, биотехнология кафедрасының қауымдастырылған профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, email: omirbekova\_anel@mail.ru)*

#### **Information about authors:**

*Aldassugurova Chinargul (corresponding author) – PhD-student of the department of biodiversity and bioresources, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, email: aldasygyrova.chinar.77@gmail.com)*

*Ametov Abibulla – candidate of biological sciences, associate professor of the department of biodiversity and bioresources, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, email: Abibulla.Ametov@kaznu.kz)*

*Nurmahanova Akmaral – PhD, ass. professor of the department of biodiversity and bioresources, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, email: akmaral\_1976@mail.ru)*



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

*Baitasheva G. – candidate of Agricultural Sciences, director of the Institute of Natural Sciences of the Kazakh National Women's teacher training University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: gauhar75e@mail.ru).*

*Ryskali Tolganay – PhD-student, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, email: tolganay\_0220@mail.ru)*

*Kulymbet Kanat – Researcher at the U.U.Uspanov Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry (Almaty, Kazakhstan, email: qulymbet.qanat@gmail.com)*

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

*Omirebekova Anel – PhD, ass. professor of the department of biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, email: omirebekova\_anel@mail.ru)*

*Келін түсті 12 қараша 2023 жыл  
Қабылданды 26 желтоқсан 2024 жыл*

Sh. Durmekbayeva<sup>1\*</sup>, A. Nurgali<sup>1</sup>, O. Babenko<sup>1</sup>,

G. Kyzdarbekova<sup>1</sup>, G. Onerkhan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan

<sup>2</sup>K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan

\*e-mail: durmekbaeva@mail.ru

## FLORA OF THE AIYRTAU DISTRICT OF THE NORTH KAZAKHSTAN REGION: SPECIES COMPOSITION, LIFE FORMS AND ECOLOGICAL GROUPS OF PLANTS

The plants occurring in the flora of the Aiyrtau district of the North Kazakhstan region were selected as the object of research. During the study, it was found that the flora of the Aiyrtau district of the North Kazakhstan region consists of 80 plant species belonging to 22 genera and 60 families. Families, such as *Asteraceae* Bercht., *Amaranthaceae* Juss., *Fabaceae* Lindl., *Plantaginaceae* Juss., and *Poaceae* Barnhart., prevailed according to the number of species. Ecological analysis of plants has shown that mesophytes, mesoxerophytes, and hygromesophytes predominate. The classification of plant species by life forms revealed semi-shrubs – 2 species, perennial herbaceous plants – 53 species, annual herbaceous plants – 20 species, and biennial herbaceous plants – 5 species. According to C. Raunkiaer's classification, the following groups of plants were identified: hemicryptophytes (50 species; 62.5%), therophytes (11 species; 13.75%), cryptophytes (16 species; 20%), chamaephytes (1 species; 1.25%) and nanophanerophytes (2 species; 2.5%). The results of the research work allow for supplementing the data on the flora of the North Kazakhstan region, specifically the Aiyrtau district.

**Key words:** flora, biodiversity, systematic analysis, species composition, life forms, ecological groups of plants.

Ш. Дурмекбаева<sup>1\*</sup>, Ә. Нұрғали<sup>1</sup>, О. Бабенко<sup>1</sup>,  
Г. Кыздарбекова<sup>1</sup>, Г. Өнерхан<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Шоқан Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана қ., Қазақстан

\*e-mail: durmekbaeva@mail.ru

### Солтүстік Қазақстан облысы Айыртау ауданының флорасы: өсімдіктердің түрлік құрамы, тіршілік формалары және экологиялық топтары

Зерттеу нысаны ретінде Солтүстік Қазақстан облысы Айыртау ауданының флорасында кездесетін өсімдіктер таңдалды. Зерттеу барысында Солтүстік Қазақстан облысы Айыртау ауданының флорасынан 22 тұқымдас, 60 туысқа жататын өсімдіктердің 80 түрі анықталды. Түрлер саны бойынша *Asteraceae* Bercht., *Amaranthaceae* Juss., *Fabaceae* Lindl., *Plantaginaceae* Juss. және *Poaceae* Barnhart. сияқты тұқымдастар басым болды. Өсімдіктердің экологиялық талдауы мезофиттер, мезоксерофиттер және гигромезофиттердің басым екенін көрсетті. Өсімдіктердің тіршілік формалары бойынша жіктелуі бұталардың – 2 түрді, көпжылдық шөптесін өсімдіктердің – 53 түрді, бір жылдық шөптесін өсімдіктердің – 20 түрді және екіжылдық шөптесін өсімдіктерді – 5 түрді қамтитыны анықталды. К. Раункиер классификациясына сәйкес өсімдіктердің келесі топтарға бөлінді: гемикриптофиттер (50 түр; 62,5%), терофиттер (11 түр; 13,75%), криптофиттер (16 түр; 20%), хамефиттер (1 түр; 1,25%) және нанофанерофиттер (2 түр; 2,5%). Зерттеу жұмысының нәтижелері Солтүстік Қазақстан облысының, атап айтқанда Айыртау ауданының флорасы туралы деректерді толықтыруға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** флора, биоалуантүрлілік, жүйелі талдау, түрлік құрамы, тіршілік формалары, өсімдіктердің экологиялық топтары.

Ш. Дурмекбаева<sup>1,\*</sup>, А. Нурғали<sup>1</sup>, О. Бабенко<sup>1</sup>,  
Г. Кыздарбекова<sup>1</sup>, Г. Онерхан<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова, г. Кокшетау, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, г. Астана, Казахстан

\*e-mail: durmekbaeva@mail.ru

**Флора Айыртауского района Северо-Казахстанской области:  
видовой состав, жизненные формы  
и экологические группы растений**

В качестве объекта исследования были выбраны растения, встречающиеся во флоре Айыртауского района Северо-Казахстанской области. В ходе исследования было установлено, что флора Айыртауского района Северо-Казахстанской области состоит из 80 видов растений, относящихся к 22 родам и 60 семействам. По количеству видов преобладали такие семейства, как *Asteraceae* Bercht., *Amaranthaceae* Juss., *Fabaceae* Lindl., *Plantaginaceae* Juss. и *Poaceae* Barnhart. Экологический анализ растений показал, что преобладают мезофиты, мезоксерофиты и гигро-мезофиты. Классификация видов растений по жизненным формам выявила полукустарники – 2 вида, многолетние травянистые растения – 53 вида, однолетние травянистые растения – 20 видов и двулетние травянистые растения – 5 видов. Согласно классификации К. Раункиера, были выделены следующие группы растений: гемикриптофиты (50 видов; 62,5%), терофиты (11 видов; 13,75%), криптофиты (16 видов; 20%), хамефиты (1 вид; 1,25%) и нанофанерофиты (2 вида; 2,5%). Результаты исследований позволяют дополнить данные о флоре Северо-Казахстанской области, в частности Айыртауского района.

**Ключевые слова:** флора, биоразнообразие, систематический анализ, видовой состав, жизненные формы, экологические группы растений.

## Introduction

Conservation of biodiversity of animal and plant species, communities, and ecosystems is an integral part of the Concept of Humanity's Transition to Sustainable Development. Within the framework of this problem, the protection of life on the Earth is recognized as not just the narrow task of certain groups but the task of all of the living human inhabitants of the Earth and a condition for their survival on the planet. According to the Concept of Conservation and Sustainable Use of Biological Diversity of the Republic of Kazakhstan until 2030, the problem of biodiversity conservation and its rational use has become one of the great world priorities, which is due to the need to preserve biodiversity to ensure the existence and further development of mankind in connection with the aggravation of the global anthropogenic crisis of the Biosphere. It is necessary to preserve and restore rare and endangered plant species [1].

According to the research conducted by N.V. Pavlov and colleagues in the period from 1956 to 1966, it was found that 5,631 species of vascular plants are found in the flora of Kazakhstan. These species belong to 126 families and 1022 genera [2].

According to Abdullina (1999), a list of vascular plants of Kazakhstan was compiled, which lists 5,658 plant species belonging to 159 families and 1,067 genera [3].

Over the past decade, scientific research has been conducted to expand the species diversity of plants in Kazakhstan by identifying new species [4, 5, 6, 7, 8].

In addition, the scientists conducted a study using a thorough analysis of various sources of information, including literary sources, herbarium collections, databases and field observations, to identify unique species of vascular plants growing in the country. As a result of the study, it was found that 451 species of endemic plants live in the country, which is 7.97% of the total number of vascular plant species. These endemics include 139 genera and 34 families and are mainly found in the southern regions of Kazakhstan, especially in the mountainous areas of the Kazakh part of the Tien Shan, such as Karatau (123 species), Dzungarian Alatau (80 species), Zailiysky, and Kungeysky Alatau (50 species) [9].

In recent years, scientists have conducted studies of flora in the northern regions of Kazakhstan. According to the results of a systematic analysis of the flora of the territory of Zerendinsky district of Ak-mola region, 136 species of plants belonging to 108 genera and 41 families were identified. The gymnosperms (*Pinophyta*) were represented by 1 species, dicotyledons (*Magnoliopsida*) by 115 species, and monocotyledons (*Liliopsida*) by 20 species. The number of species was dominated by the families *Asteraceae* (25 species or 21.74%), *Rosaceae* (14

species or 12.17%), and *Fabaceae* (11 species or 9.56%). In the class *Liliopsidae*, the genus *Poaceae* (10 species or 50%) predominated by the number of species, with *Juncaceae* Juss. (4 species or 20%) in second place and *Liliaceae* Juss. (2 species or 10%) in third place. Polycarpic plants (80.88%) are more numerous than monocarpic plants (19.12%) [10].

Systematic analysis of weed plants in the flora of Zerendinsky district of Akmola region revealed 84 species belonging to 70 genera and 29 families. According to the number of species, the family *Asteraceae* Dumort. occupies the first place (18 species or 21.4%), followed by *Poaceae* Barnhart. (8 species, 9.5%), and then by *Fabaceae* Lindl. (7 species, 8.3%). Next were the families *Scrophulariaceae* Juss. (5 species), *Boraginaceae* Juss., and *Rosaceae* Juss. (4 species each), with other families having 3 to 1 species each [11, 12].

The family *Orchidaceae* Juss has been studied in the steppe, forest-steppe, and desert regions of the northern part of Kazakhstan (Pavlodar, North Kazakhstan, Kostanay, Akmola, Aktobe, West Kazakhstan, partially Karaganda, and East Kazakhstan regions). A total of 25 species belonging to 16 genera have been identified, eight of which are included in the Red Book of Kazakhstan (2014). Additionally, according to research, it is proposed to expand the number of protected orchids by adding nine species [13].

According to available literature data, some areas of Northern Kazakhstan require additional study of the species composition of plants. Therefore, the main purpose of our study is to conduct a comprehensive analysis of the species diversity of flora, study its life forms, and identify ecological groups of plants in the Ayrtau district of the North Kazakhstan region.

Ayrtau district (formerly Volodarsky) is a district in the North Kazakhstan region of Kazakhstan. The district was formed on the territory of the abolished Kokchetavsky district of the Akmola province of the Russian Soviet Federative Socialist Republic on January 17, 1928, and was named Volodarsky district. On March 16, 1944, the district was transferred from North Kazakhstan to the newly formed Kokchetav region. On May 4, 1993, Volodarsky district of the Kokchetav region of the Republic of Kazakhstan was renamed Ayrtau district [14].

In 1997, the district, like all other districts of the abolished Kokshetau region, became part of the North Kazakhstan region [15].

Currently, it is one of the largest districts in the North Kazakhstan region. The climate is sharply continental and belongs to the West Siberian cli-

matic region of the temperate zone. Winters are cold and long, and summers are relatively hot, with clear, often arid weather prevailing. The average temperature in January is  $-18.6^{\circ}\text{C}$ , in July  $+19.0^{\circ}\text{C}$ . The lowest air temperatures are about  $-48^{\circ}\text{C}$  (Bulaevo station, 1968), and the highest is about  $+41^{\circ}\text{C}$  (Sergeevka city, 2014). The duration of the period with average daily temperatures above  $0^{\circ}\text{C}$  is an average of 125 days. The average date of temperature transition after  $0^{\circ}\text{C}$  is April 10-15, and after  $+5^{\circ}\text{C}$  – April 22-25 [16].

The length of the day varies from 7 to 17 hours throughout the year. During the year, up to 78 cloudless days are observed in the northern regions of the region, and up to 41 in the southern regions. The sunshine duration per year is 1900-2000 hours [16].

The average annual precipitation is 350 mm, of which 80-85% falls in the warm season (April-October). The snow cover lies for about 5 months – from November to March, and by the end of winter, it has an average thickness of 25 cm [16].

The territory of the Ayrtau district of the North Kazakhstan region is located within the forest-steppe zone in the zone of the forest-steppe strip with birch-spike forests and pine forests. Vegetation is represented by the following types: forest communities; steppe communities; meadow vegetation.

This study's purpose was to investigate the species composition of the flora and life forms and to determine the ecological groups of plant species of the Ayrtau district of the North Kazakhstan region.

## Materials and methods

The species composition of plants was studied by conducting route surveys according to the method of specific floras by A. I. Tolmachev (1986) [17]. Plants were collected from June to August. Herbarium materials were collected and processed according to the generally accepted method of A. K. Skvortsov (1977) [18].

To identify plant species and describe them, the following works were used: "Flora of Kazakhstan" (1956-1966) [1] and "Flora of Kazakhstan" by M. S. Baytenov in two volumes (1999, 2001) [19].

The Latin names of species and genera of weed plants were written according to the work of S. K. Cherepanov (1995) [17]. The study of plant life forms was carried out according to I. G. Serebryakov (1962) [18] and C. C. Raunkiaer [19].

In the study of ecological groups concerning moisture, the works of G.H. Poplavskaya (1948) [20] and A.P. Shennikov (1950) [21] were used.

## Results and discussion

According to the results of own field studies, the list of plant species growing on the territory of the Aiyrtau district of the North Kazakhstan region was compiled, and 80 species from 60 genera and 22 families were found (Table 1).

The first place in the total number of species is occupied by the families *Asteraceae* (20 species or 25%), the second place is occupied by the families

*Amaranthaceae* and *Fabaceae* (8 species or 10%), and the third place is occupied by the families *Polygonaceae* (5 species or 6.25%).

The families *Poaceae* and *Brassicaceae* are represented by 4 species each (5%); 3 species (3.75%) from the families *Apiaceae*, *Lamiaceae*, and *Scrophulariaceae*; from the families *Boraginaceae*, *Geraniaceae*, *Lythraceae*, *Orobanchaceae*, *Plumbaginaceae*, *Plantaginaceae*, and *Rosaceae* – 2 species each (2.5%); and from the remaining families – 1 species each (1.25%).

**Table 1** – Taxonomic composition of plant species of the flora of the Aiyrtau district

Family	Number of genera	% of the total number of genera	Number of species	% of the total number of species
<i>Asteraceae</i> Dumort	15	25,00	20	25,00
<i>Amaranthaceae</i> Juss.	8	13,32	8	10,00
<i>Fabaceae</i> Lindl.	6	10,00	8	10,00
<i>Polygonaceae</i> Juss.	2	3,33	5	6,25
<i>Poaceae</i> Barnhart.	3	5,00	4	5,00
<i>Brassicaceae</i> Burnett.	3	5,00	4	5,00
<i>Plantaginaceae</i> Juss.	2	3,33	4	5,00
<i>Apiaceae</i> Lindl.	3	5,00	3	3,75
<i>Lamiaceae</i> Lindl.	2	3,33	3	3,75
<i>Scrophulariaceae</i> Lindl	2	3,33	3	3,75
<i>Boraginaceae</i> Juss	2	3,33	2	2,50
<i>Rosaceae</i> Juss.	2	3,33	2	2,50
<i>Geraniaceae</i> Juss.	1	1,67	2	2,50
<i>Plumbaginaceae</i> Juss.	1	1,67	2	2,50
<i>Orobanchaceae</i> Lindl	1	1,67	2	2,50
<i>Lythraceae</i> Lindl	1	1,67	2	2,50
<i>Crassulaceae</i> DC.	1	1,67	1	1,25
<i>Gentianaceae</i> Lindl	1	1,67	1	1,25
<i>Alismataceae</i> DC.	1	1,67	1	1,25
<i>Onagraceae</i> Lindl	1	1,67	1	1,25
<i>Urticaceae</i> Juss.	1	1,67	1	1,25
<i>Cyperaceae</i> J. St. Hill.	1	1,67	1	1,25

As a result of the study, it was revealed that the main genera of plants are *Achillea* L. (4 species, 5%), *Polygonum* L., and *Plantago* L. (3 species each, 3.75%), *Setaria* P.Beauv., *Lathyrus* L., *Melilotus* Mill., *Leonurus* L., *Lepidium* L.,

*Erigeron* L., *Artemisia* L., *Limonium* Mill., *Geranium* L., *Veronica* L., *Odontites* Zinn., *Rumex* L., and *Lythrum* L. (2 species each, 2.5%). The remaining 44 genera consist of 1 species each (1.25%) (Fig. 1).

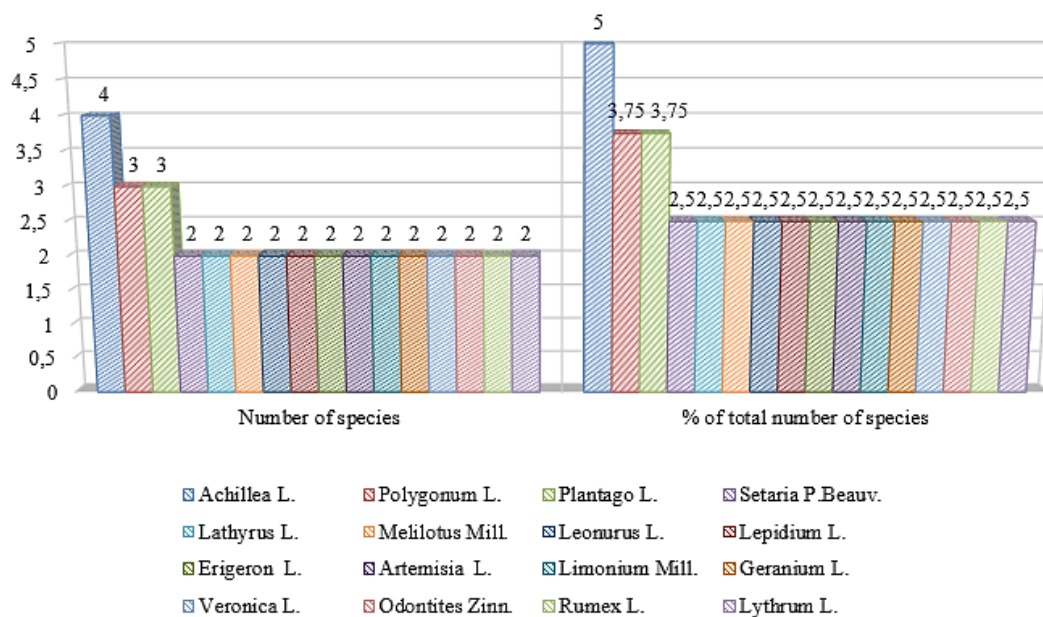


Figure 1 – The main genera of the flora of the Aiyrtau district

The flora of the Aiyrtau district of the North Kazakhstan region has a diverse range of plants adapted to different moisture levels. Among them, a wide range of species was identified, from plants that can survive in low humidity conditions (xerophytes) to those that prefer large amounts of moisture (hydrophytes, hygrophytes, hygromesophytes).

In general, the largest share of the total composition of the flora of the study region is occupied by mesophytes, which is 53.75%. Additionally, about 12.5% of plants are xerophiles, including xeromesophytes and xerophytes. About 20% of species are

adapted to excessive moisture conditions, including hydrophytes, hygrophytes, and hygromesophytes. Transitional groups of mesohygrophytes and mesoxerophytes account for 13.75% (Fig. 2).

Life forms are distinctive external manifestations of organisms, shaped by developmental biology and the internal structure of their organs, influenced by soil and climatic conditions as adaptations to their environment. The exploration of life forms and their dynamics holds paramount significance in understanding the patterns of adaptation among populations and individual organisms to specific environmental conditions.

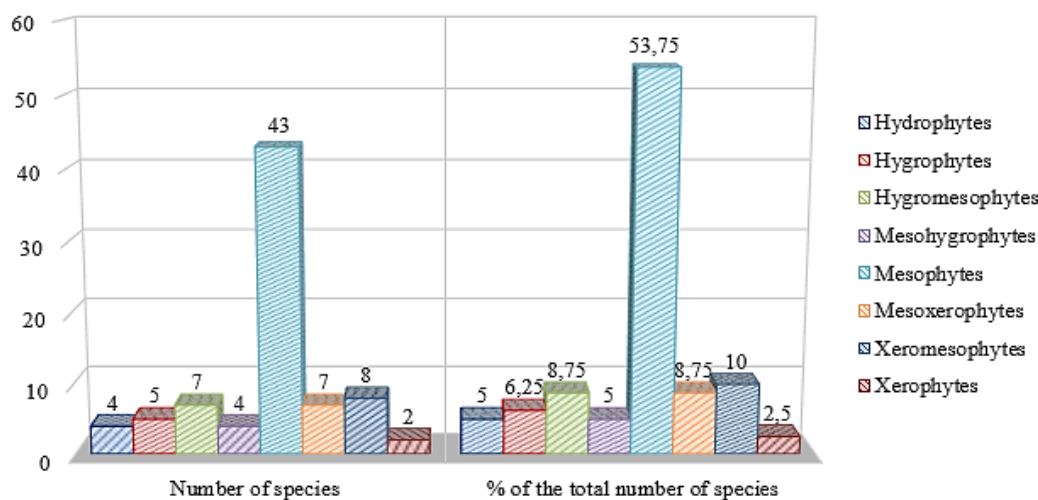


Figure 2 – Ecological groups of plants of the Aiyrtau district

During the research, life forms of plants were determined. It was found that the flora of the study area includes semi-shrubs – 2 species, herbaceous plants – 78 species, including polycarpic grasses (53 species, 66.25%) and monocarpic grasses (25 species, 31.25%) (Fig. 3).

Semi-shrubs include *Eurotia ceratoides* L. and *Rubus idaeus* L.; perennial herbaceous plants include *Achillea millefolium* L., *Sanguisorba officinalis* L., and *Cichorium intybus* L.; biennials include *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Erigeron acris* L., and *Cynoglossum officinale* L.; and annuals include

*Setaria viridis* (L.) P.Beauv., *Lepidium ruderale* L., and *Erigeron canadensis* L..

C. Raunkiaer divided all plants into 5 types of life forms, which he also called biological types. Each of C. Raunkiaer’s life form types is further subdivided into 3-15 subtypes characterized by different characters and arrangement of shoots, protection of buds, and other morphological features. The plants studied include 2 species of nanophanerophytes (2.5%), 1 species of chamaephytes (1.25%), 50 species of hemicryptophytes (62.5%), 16 species of cryptophytes (20%), 11 species of therophytes (13.75%) (Fig. 4).

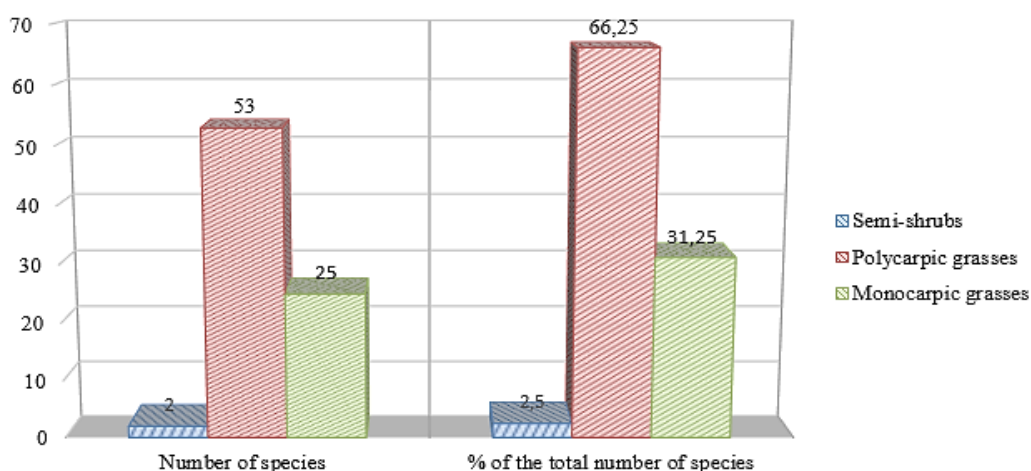


Figure 3 – Life forms of plants of the Aiyrtau district

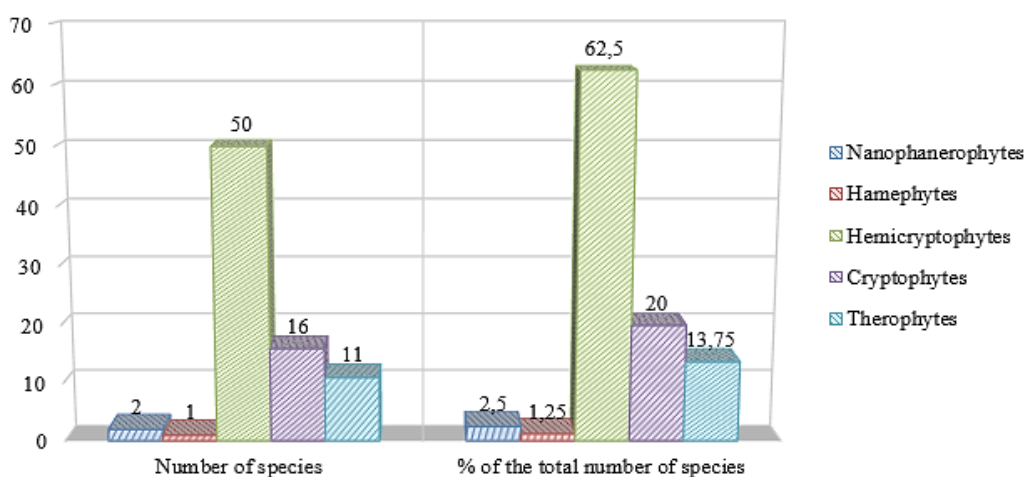


Figure 4 – Classification of plant life forms according to C. Raunkiaer of the Aiyrtau district

Nanophanerophytes include *Eurotia ceratoides* L. and *Rubus idaeus* L.; hamephytes include *Artemisia austriaca* Jacq.; hemicryptophytes include

*Phlomis tuberosa* (L.) Moench, *Plantago major* L., and *Tanacetum vulgare* L.; cryptophytes include *Bromus inermis* Leyss., *Cirsium arvense* (L.) Scop.;

and therophytes include *Lepidium ruderales* L., *Amaranthus retroflexus* L., and *Urtica urens* L.

### Conclusion

In the flora of the Ayrtau district of the North Kazakhstan region, 80 species of plants belonging to 22 genera and 60 families are revealed. The largest share by ecological groups of plants is occu-

ried by mesophytes, accounting for 53.75%. It was found that, depending on the life forms of plants, semi-shrubs include 2 species, and herbaceous plants comprise 78 species. According to the system of C. Raunkiaer, hemicryptophytes predominated.

Thus, the list of species composition of plants in the territory of the North Kazakhstan region was compiled.

### References

1. Koncepcija po sohranjeniju i ustojchivomu ispolzovaniju biologicheskogo raznoobrazija Respubliki Kazahstan do 2030 goda [The Concept of Conservation and Sustainable Use of Biological Diversity of the Republic of Kazakhstan until 2030]. (In Russian). Retrieved from <https://tehranconvention.org/system/files/kazahstan/koncepciya.pdf>
2. Flora of Kazakhstan (In 9 volumes). Alma-Ata: Publishing house of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR, 1956-1966.
3. Abdulina, S.A. Checklist of Vascular Plants of Kazakhstan. Edited by R.V. Kamelin. Almaty, 1999.
4. Perezhogin, Ju.V., and Kulikov, P.V. "Novye vidy flory Kazahstana [New Species of Flora of Kazakhstan]." Bulletin of Orenburg State University, no 3 (2017): 78–80.
5. Kupriyanov, A.N., and Khrustaleva, I.A. "Novye rastenija dlja flory Kazahstana [New Plants for the Flora of Kazakhstan]." Sistematicheskie zametki po materialam Gerbariya im. P.N. Krylova Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, no 118 (2018): 40–49. <https://doi.org/10.17223/20764103.118.3> (In Russian)
6. Tomoshevich, M.A., Banaev, E.V., and Ak-Lama, T.A. "Nitraria komarovii Iljin & Lava ex Bobrov (Nitrariaceae), a New Record for the Flora of Kazakhstan." Check List 15, no 5 (2019): 891–897. <https://doi.org/10.15560/15.5.897>
7. Pryadko, G.F. "Dopolnenie k flore gosudarstvennogo nacionalnogo parka [Supplement to the Flora of the State National Park]." Earth Sciences 31, no 1 (2021): 27–34. (In Russian)
8. Imanbayeva, A.A., Kubentayev, S.A., Alibekov, D.T., Ishmuratova, M.Yu., and Lukmanov A.B. "Floristic Records in the Mangystau Region (Western Kazakhstan)." Turczaninowia 25, no 2 (2022): 151–154. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.25.2.14>
9. Kubentayev, S.A., Alibekov, D.T., Perezhogin, Yu.V., Lazkov, G.A., Kupriyanov, A.N., Ebel, A.L., Izbastina, K.S., Borodulina, O.V., and Kubentayeva, B.B. "Revised Checklist of Endemic Vascular Plants of Kazakhstan." PhytoKeys 238 (2024): 241–279. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.238.114475>
10. Durmekbayeva, Sh.N., Hamitova, G.Zh., Memeshov, S.K., and Zhumabayeva A.A. "The Species Composition of Flora on Territory of Akmola Region Zerendi District." KazNU Bulletin, Biology series, no 1 (2016): 4–13.
11. Durmekbayeva, Sh.N., Memeshov, S.K., and Khamitova G.Zh. "Aqmola oblysy Zerendi aydany florasynyday aramshopterdin turlik quramy [The Specific Composition of the Weed Plants of the Zerendinsky District of the Akmola Region] (In Kazakh). Kokshetau: Mir pechaty, 2016.
12. Memeshov, S.K., Durmekbayeva, Sh.N., Kurmanbaeva, M.S., Khamitova, G. Zh., and Zhumabaeva A.A. "Aqmola oblysy Zerendi aydany florasynyday aramshopterdin turlik quramy [The Specific Composition of the Weed Plants of the Zerendinsky District of the Akmola Region]." KazNU Bulletin, Biologicheskaya seriya, no 2 (2017): 4–12. (In Kazakh)
13. Kubentayev, S.A., Efimov, P.G., Alibekov, D.T., Kupriyanov, A.N., Izbastina, K.S., Khalymbetova, A.E., and Perezhogin, Yu.V. "Review of Orchidaceae of the northern part of Kazakhstan." PhytoKeys 229 (2023): 185–213. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.229.105457>
14. Ob upopjadochenii t'panskribipovanija na pusskom jazyke kazahskih toponimov, naimenovanii i pepeimenovanii otdelnyh administrativno-territorialnyh edinic Respubliki Kazahstan. Postanovlenie Ppezidiuma Vephovnogo Soveta Respubliki Kazahstan ot 4 maja 1993 goda. [On the ordering of transcription in Russian of Kazakh toponyms, naming and renaming of individual administrative-territorial units of the Republic of Kazakhstan] (In Russian) Resolution of the Presidium of the Supreme Council of the Republic of Kazakhstan dated May 4, 1993.
15. Spravochnik po istorii administrativno-territorialnogo delenija Severo-Kazahstanskoj oblasti (29 ijulja 1936 g. – 1 janvarja 2007 g.) [Handbook on the history of the administrative-territorial division of the North Kazakhstan region (July 29, 1936 – January 1, 2007)] (In Russian). Petropavlovsk, 2007.
16. North Kazakhstan region. Encyclopedia. 2nd ed. Almaty: Arys, 2006.
17. Tolmachev, A.I. Metody sravnitelnoj floristiki i problemy florigeneza [Methods of comparative floristics and problems of florogenesis] (In Russian) Novosibirsk: Nauka, 1986.
18. Skvortsov, A.K. Gerbarij [Herbarium] (In Russian). Moscow: Nauka, 1977.
19. Baitenov, M.S. Flora of Kazakhstan. Almaty: Gylym, 1999.
20. Cherepanov, S.K. Sosudistyje rasteniya Rossii i sopredelnykh gosudarstv v predelakh byvshego SSSR [Vascular Plants of Russia and Neighboring Countries, Within the Former USSR] (In Russian). St. Petersburg: Mir i semja-95, 1995.



21. Serebryakov, I.G. *Ekologicheskaya morfologiya rasteniy* [Ecological Morphology of Plants] (In Russian). Moscow: Vysshaya shkola, 1962.
22. Raunkiaer, C. *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography*. Oxford: At the Clarendon Press, 1934.
23. Poplavskaya, G.I. *Jekologija rastenij* [Plant Ecology] (In Russian) Moscow: Sovetskaja Nauka, 1948.
24. Shennikov, A.P. *Jekologija rastenij* [Plant Ecology] (In Russian). Moscow: Sovetskaja Nauka, 1950.

**Авторлар туралы мәліметтер:**

*Дурмекбаева Ш. (байланыс тұлғасы) – биология ғылымдарының кандидаты, доцент, Шоқан Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, Педагогикалық институт, Көкшетау, Қазақстан; ORCID: 0000-0002-5332-6069; +77478591746; e-mail: durmekbaeva@mail.ru*

*Нұргали Ә. – «6B01514-Биология» білім беру бағдарламасы бойынша 4 курс студенті, Шоқан Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, Педагогикалық институт, Көкшетау, Қазақстан;*

*Бабенко О. – «6D060700-Биология» мамандығы бойынша PhD докторы, Шоқан Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, Педагогикалық институт, Көкшетау, Қазақстан;*

*Кыздарбекова Г. – «6D060800-Экология» мамандығы бойынша PhD докторы, Шоқан Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, Педагогикалық институт, Көкшетау, Қазақстан;*

*Өнерхан Г. – биология ғылымдарының кандидаты, Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Педагогикалық институт, Астана, Қазақстан.*

**Information about authors:**

*Durmekbayeva Sh. (contact person) – Candidate of Biological Sciences, associate professor. Shokan Ualikhanov Kokshetau University, Pedagogical institute, Kokshetau, Kazakhstan; +77478591746; e-mail: durmekbaeva@mail.ru*

*Nurgali A. – 4<sup>th</sup> year student in the educational program «6B01514-Biology», Shokan Ualikhanov Kokshetau University, Pedagogical institute, Kokshetau, Kazakhstan;*

*Babenko O. – PhD in the specialty «6D060700-Biology», assistant professor, Shokan Ualikhanov Kokshetau University, Pedagogical institute, Kokshetau, Kazakhstan;*

*Kyzdarbekova G. – PhD in the specialty «6D060800-Ecology», assistant professor, Shokan Ualikhanov Kokshetau University, Pedagogical institute, Kokshetau, Kazakhstan; ORCID: 0000-0001-9982-9027; Scopus Author ID: 57216488885.*

*Onerkhan G. – Candidate of Biological Sciences, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan;*

*Received March 11 14, 2024*

*Accepted September 26, 2024*

Zh. Kaldybayeva<sup>1\*</sup>, M. Kurmanbayeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: zhanar\_161081@mail.ru

## A ANALYSES OF ABIOTIC FACTORS AFFECTING THE TREE PLANT *PAULOWNIA SIEBOLD & ZUCC*

The article analyses the environmental factors i.e. abiotic conditions of adaptation and introduction of the woody plant *Paulownia Siebold & Zucc* growing in the local conditions of Kazakhstan. The *Paulownia* tree naturally grows in China and is now cultivated in various other countries. There are approximately 9 natural species known, as well as many hybrid species. The spectrum of uses for the *Paulownia* tree is broad: agroforestry and land reclamation, pulp industry, biofuel and biomass production, timber harvesting, phytoremediation, and reclamation, among others, making it of significant practical value. The *Paulownia* plant has been cultivated in Kazakhstan for the past 5-6 years and is growing and developing in the southern and southeastern regions of the country. In Kazakhstan, the *Paulownia* plant has been recently introduced and transplanted, so biological and ecological studies of the *Paulownia* in local environmental conditions have not yet been conducted. Our research is being carried out in the villages of Uzynagash and Beriktas in the Zhambyl District of Almaty City and the Almaty Region.

For the purpose of the study, climatic and edaphic factors of the examined area were considered and analyzed to assess the impact of local abiotic factors on the growth of hybrid species of the *Paulownia* family. Thus, the agroclimatic conditions and agrochemical properties of the soil in Almaty City and the Almaty Region are suitable for planting *Paulownia* trees.

**Key words:** *Paulownia Siebold & Zucc*, abiotic factors, tolerance, adaptation.

Ж.Б. Калдыбаева<sup>1\*</sup>, М.С. Курманбаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

\*e-mail: zhanar\_161081@mail.ru

### *Paulownia Siebold & Zucc* ағаш өсімдігіне әсер ететін абиотикалық факторларды талдау

Мақалада Қазақстандық жергілікті жағдайда өсіп жатқан *Paulownia Siebold & Zucc* өсімдігінің бейімделу және жерсінуді, яғни орта факторларына талдау жасалады. *Paulownia* (Павловния) ағаш өсімдігі Қытайда табиғи жағдайда өседі. Қазіргі уақытта әлемнің басқа елдерінде де өсіріледі. Табиғи 9 жуық түрі белгілі және көптеген гибрид түрлері де бар. *Paulownia* ағашын қолданудың ауқымы кең: агроорман-мелиорациялық, целлюлоза өнеркәсібі, биоотын және биомасса алу, ағаш-сүрек алу, фиторемедиациялық, рекультивациялық т.б. практикалық маңыздылығы көп. Қазақстанда *Paulownia* өсімдігі соңғы 5-6 жылда қолға алынып, Қазақстанның оңтүстік, оңтүстік-шығыс аймақтарында өсіріліп дамып келеді. Қазақстан жағдайында жаңадан өсіріліп, жерсінуде, сол себептен жергілікті экологиялық жағдайда *Paulownia* өсімдігіне биологиялық-экологиялық зерттеулер жүргізілмеген. Біздің жұмысымыздағы зерттеулер Алматы қаласы мен Алматы облысы Жамбыл ауданының Ұзынағаш ауылы мен Беріктас ауылдық округінде жүргізілуде.

Зерттеудің мақсатына орай *Paulownia* туысының гибрид түрлерінің өсуіне жергілікті жердің абиотикалық факторларының әсерін бағалау барысында зерттелінетін аймақтың климаттық және эдафикалық факторлары қарастырылып, талданды. Сонымен, Алматы қаласы және Алматы облысының агроклиматтық жағдайлары мен топырақтың агрохимиялық көрсеткіштері *Paulownia* ағаш өсімдігін жерсіндіруге қолайлы.

**Түйін сөздер:** *Paulownia Siebold & Zucc*, абиотикалық факторлар, жерсінуді, бейімделу.

Ж.Б. Калдыбаева<sup>1\*</sup>, М.С. Курманбаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

\*e-mail: zhanar\_161081@mail.ru

### Анализ абиотических факторов, влияющих на древесное растение *Paulownia Siebold & Zucc*

В статье делается анализ факторов среды т.е. абиотические условия адаптации и интродукции древесного растения *Paulownia Siebold & Zucc*, произрастающего в местных условиях Казахстана. В естественных условиях *Paulownia* (Павловния) произрастает в Китае. В настоящее время выращивается и в других странах мира. Известно около 9 природных видов, а также монообразие гибридов. Область применения *Paulownia* широка, это агролесомелиорация, целлюлозная промышленность, добыча биотоплива и биомассы, фиторемедиация, рекультивация, лесопродукция и др. В Казахстане, последние 5-6 лет *Paulownia* адаптируется и культивируется в южных, юго-восточных регионах Казахстана. В условиях Казахстана выращивается впервые и поэтому в местных экологических условиях биологически-экологические исследования не проводились. Исследования в нашей работе проводятся в городе Алматы и Жамбылском районе (с. Бериктас, с. Узынагаш) Алматинской области.

Целью исследования является оценка местных абиотических факторов на гибридные виды рода *Paulownia*. Были рассмотрены и проанализированы климатические и эдафические факторы изучаемого региона и проведена предварительная оценка. С учетом агроклиматических условий и агрохимических показателей почв г. Алматы и Алматинской области делаем вывод, что *Paulownia* является благоприятной зоной для интродукции. В статье представлены предварительные результаты этих исследований.

**Ключевые слова:** *Paulownia Siebold & Zucc*, абиотические факторы, интродукция, адаптация.

#### Introduction

*Paulownia* (*Paulownia*) is a deciduous tree belonging to the *Paulowniaceae* family, which naturally grows in China. Some species are also cultivated in Japan, Southeast Asia, Europe, North, South, and Central America, and Australia. There are nine species: *P. tomentosa*, *P. albiphloea*, *P. catalpifolia*, *P. elongata*, *P. fargesii*, *P. fortunei*, *P. australis*, *P. kawakamii*, and *P. taiwaniana*, as well as numerous natural hybrids known for their wood quality and biological properties [1-4].

*Paulownia* species from China have been used for over 2600 years as agroforestry and reclamation trees due to their numerous positive properties and versatile uses. This species was named after Queen Anna Pavlovna of the Netherlands (1795-1865), the daughter of Russian Tsar Paul I. It is also known as the «princess tree» or «kiri tree» [5]. *Paulownia* has been cultivated as an ornamental tree in Northwestern Europe since the early 1800s, but it was not considered a commercial species until recent years. Research results based on data collected from existing sites, as presented by Jensen (2016), indicate that *Paulownia* species and hybrids can be successfully grown as a commercial agroforestry crop in Northwestern, Southern, and Eastern Europe [6-9]. *Paulownia* can be propagated by seeds, roots, or microclonal methods [10,11]. The wood was intro-

duced to the United States in the mid-1800s as packing material for decorative porcelain [12-14].

*Paulownia* trees are characterized by a wide range of applications. The purpose of planting *Paulownia* is land restoration, utilization of livestock waste, and rapid biomass production for paper manufacturing [15,16]. *Paulownia* is an ideal tree for short-term cultivation due to its rapid growth, ability to regenerate from stems and roots, and the diverse uses of its wood and fibers. *Paulownia* does not require replanting after cutting, as it regenerates from stem and root shoots. The wood of *Paulownia* is used to make many products due to its attractive appearance, strength, light weight, and good physical-mechanical properties. A *Paulownia* tree that is 8-10 years old produces 100 kg of leaves per year [17,18]. The leaves and flowers of *Paulownia* are rich in nitrogen and other nutrients, making them an excellent natural fertilizer. Additionally, *Paulownia* leaves are nutrient-rich and can be used as a forage crop [19,20]. The plant analyzed in this article is characterized by very rapid growth (trunk diameter reaches 50-70 cm in 8-10 years), low temperature tolerance (down to -27°C), a robust root system, and large leaves (up to 60 cm in width) [21-23].

In recent years, interest in species belonging to the *Paulownia* family has been growing in the CIS countries – Ukraine, Uzbekistan, Kyrgyzstan, Russia, and Kazakhstan. Currently, entrepreneurs in

these countries have shifted to commercial planting operations for timber production. In the processes of adaptation to environmental conditions, different elements of environmental factors affect various, primarily hybrid species belonging to the *Paulowniaceae* family in different ways. Most of the territory of these countries is located in the temperate zone, and due to higher temperature amplitudes to the north, *Paulownia* is cultivated and grown only in the southern regions. For example, *Paulownia* is very popular in Ukraine, where it is grown and developed for various purposes across much of the country. It was adopted there earlier than in other CIS countries. Ukraine has a moderately continental climate, with continental influences increasing towards the east. Except for the northeastern part of the country, the regions are ideal for growing *Paulownia*, which benefits from warm, moist air masses coming from the Atlantic [24]. In Uzbekistan, *Paulownia* has been localized and developed over the past 7-8 years. The country's predominantly subtropical climate provides favorable conditions for *Paulownia* species [25, 26]. In the Issyk-Kul region of Kyrgyzstan, *Paulownia* was initially cultivated for timber and biomass production. Due to the adverse effects of abiotic factors, it is now grown in a park-like environment for landscaping purposes [27]. Hybrid species of *Paulownia* are transplanted and grown in southern Russia – specifically in the Krasnodar, Sevastopol, Crimea, and Rostov regions. Research is also being conducted in Kazakhstan to determine the microclonal propagation, regeneration, adaptation conditions and medicinal properties of the plant [28-31].

In Kazakhstan, *Paulownia* has been cultivated and developed in the southern regions since 2016-2017. To obtain timber and wood materials for commercial purposes, private individuals grow it in plantation conditions, sell seedlings, and contribute to the greening of the southern regions. Since *Paulownia* has been recently introduced and transplanted in Kazakhstan, biological and ecological studies of the plant in local environmental conditions have not yet been conducted. For commercial purposes, various hybrids of the *Paulownia* family are grown. The adaptation and introduction of *Paulownia* to the local environment are being carried out in Almaty City and in the Zhambyl and Talgar districts of the Almaty Region.

The **aim of this research** is to evaluate the abiotic factors of the area on the growth of hybrid species of the *Paulownia Siebold & Zucc* family.

Changes in abiotic factors can significantly impact organisms, either positively or negatively, and sometimes even lead to their death. Abiotic factors shape the habitat of animals and plants, greatly influencing physiological processes and life cycles of organisms. Abiotic factors include the physical and chemical conditions of the environment. Broadly, the environment encompasses the collection of material bodies, phenomena, and energy that affect living organisms.

## Materials and Methods

The study examines hybrid *Paulownia Siebold & Zucc* species, focusing on abiotic factors in Almaty City (Al-Farabi Kazakh National University garden plot and Abai Kazakh National Pedagogical University campus) and the Almaty Region (Berik-tas village land plot, Zhambyl District), using meteorological observations and chemical-analytical soil composition methods. Soil Analysis Instruments: Specord 210 PLUS (for determining heavy metals in soil); Ionometer I-160 MI (for measuring pH and soil salinity); Plasma photometer FLAFO-4 (for determining various chemical elements in soil). Soil Analysis Methods: Total humus – RK MSC 3477-2019 with Tyurin; Mobile N – Tyurin-Kononov; Mobile P, K – GOST 26205-91; pH – GOST 26423-85; Water separation – GOST 26423-85-26428-85; Granulometric composition – GOST 12536-2014.

Soil samples from four locations investigated in October 2022 (A – the Al-Farabi Kazakh National University apple orchard; B – the campus area of Abai Kazakh National Pedagogical University; C – the uncultivated *Paulownia* land in Berik-tas village, Zhambyl District, Almaty Region; D – Almaty Region, Zhambyl District, *Paulownia*-planted land in Berik-tas village winter) were delivered to the accredited laboratory of LLP «Chemical Analysis» according to the standards of the Kazakh Scientific Research Institute of Soil Science and Agrochemistry named after Ospanov. Chemical-analytical analyses were conducted on soil samples collected from the 0-30 cm soil depth layer at these four research sites.

## Results and Discussion

The combination of abiotic factors affecting the tree *Paulownia*, the subject of this study, necessitates the following favorable environmental conditions for its growth [5,13,32,33].

**Table 1** – Complex of abiotic factors favorable for *Paulownia* tree

№	Abiotic factors:	Favorable environmental conditions:
1	Soil edaphic conditions	Paulownia grows well in clay-loam, light-textured, and moderately moist soils. However, with improved agroecological conditions, it can also thrive in lower-quality soils.
2	Hydrogeological factors (groundwater)	Groundwater should be located at a depth of 1.5-5 meters, as the area is prone to overmoisture. If the groundwater level is less than 1.5 meters, the site is unsuitable for growing Paulownia. The deep roots of Paulownia need to be provided with adequate water at depths up to 5 meters. If the root system does not reach the groundwater, the soil must have sufficient water-holding capacity. In clayey areas, the soil retains adequate moisture even during prolonged droughts. If the soil has low water retention capacity, irrigation or a drip irrigation system is recommended.
3	pH	pH Range 5.0–8.5: Soil pH, indicating acidity or alkalinity, is a crucial factor affecting plant growth and development. Paulownia grows well in calcium-rich soils, and optimal growth is achieved across a wide acidity range from pH 5.0 to approximately 8.5. Adjustments can be made as needed to maintain suitable conditions for rapid and productive growth.
4	Terrain	Location – Southern Slope or Open Areas: Paulownia optimally utilizes sunlight with its very large leaves. As a heat-loving plant, it thrives best on southern slopes. This orientation extends the growing season due to the rapid spring warming, promoting year-round growth of the trees.
5	Precipitation	Precipitation > 800 mm or Use of Irrigation: In the initial years, abundant irrigation is necessary. Thanks to its deep root system, Paulownia can generally meet its water needs from groundwater. If precipitation is insufficient, additional irrigation should be provided.
6	Temperature	Temperature Range: Paulownia grows well in temperatures ranging from 24-26°C and can tolerate temperatures up to 45-47°C.
7	Wind	Early Growth and Development: Paulownia's very large leaves are sensitive to wind, which can cause damage. However, the plant's excellent regenerative ability allows it to quickly compensate for this damage, though growth rates may temporarily slow down. In mature plants, leaf size decreases, and sensitivity to wind is reduced
8	Nutrients	Nutrient Requirements in Early Growth: In the early years, Paulownia requires a significant amount of nutrients. The large leaves of Paulownia absorb substantial quantities of nitrogen and potassium. Targeted addition of essential nutrients enhances the growth and development of young saplings and lays the foundation for healthy, robust trees throughout their lifespan. However, the composition of the fertilizer, correct dosage, and timing of application are crucial. Excessive nitrogen application late in the growing season can negatively impact lignification and, consequently, winter hardiness. For instance, potassium improves the tree's winter hardiness. Regular potassium fertilization throughout the summer enhances water use efficiency and supports safe growth even during drought periods.

Abiotic factors represent a collective group that has a decisive impact on plant life compared to other forms of life. These factors play a crucial role in the morphological, anatomical, physiological, and reproductive development of plants.

Ecological conditions for adaptation of *Paulownia Siebold & Zucc* hybrid species in local conditions of Kazakhstan: This involves evaluating environmental factors, including agroclimatic conditions of the Almaty region and the city of Almaty, and the diversity of climatic features.

Overall, the climate of the region is continental, but in the foothills of the Zailiyskiy Alatau, there is sufficient humidity, with moderately warm summers and mild winters. The plain areas are characterized by significant diurnal and annual temperature fluctuations, cold winters, and long, hot, and dry summers. January is the coldest month, with

temperatures ranging from -11 to -13°C in the north and northeast, -6°C in the south, and up to -13°C in the mountains. July is the warmest month, with temperatures reaching 25°C in the north, 18°C in the southern mountains, and 26°C on the slopes. The region is characterized by pronounced temperature inversions, where temperature decreases with altitude. The warm period with average daily temperatures above 0°C ranges from 240 days in the northern plains to 220 days in the southern highlands. Annual precipitation varies from 125 mm in the north to 900 mm in the south, with 50-75% of the annual precipitation occurring during the warm period from April to October [34-38].

The city of Almaty and the Zhambyl district of the Almaty region, where our research is conducted, are characterized by favorable climatic factors. Meteorological data related to climate and weather

were obtained from the database of the RMC «Kazhydromet» for assessing the abiotic factors of the areas where hybrid species of *Paulownia Siebold & Zucc* are found. The climatic and atmospheric conditions of the studied areas, i.e., 2 sites (A and B) in the city of Almaty and 2 sites (C and D) in the Zhambyl district of the Almaty region, were considered, including air and soil surface temperature, average relative humidity, cloud cover, wind speed, average atmospheric pressure, average precipitation, number of days with snow cover, duration of sunlight, and soil temperature.

*Temperature* affects plants at all stages of their development, with different stages requiring different thermal conditions; thus, variations in air and soil temperatures significantly influence physiological processes in plants. Three-year average temperature data for the study areas, obtained from monitoring stations in Almaty and Uzyngach, show: Almaty – January: +4.6°C, July: +24.4°C, annual: +11.9°C; Beriktas – January: -8°C, July: +23°C, annual: +9.5°C. Absolute maxima: Almaty +39.2°C, Beriktas +40°C; Absolute minima: Almaty -15.9°C, Beriktas -22.2°C. Frost days: Almaty – 149, Beriktas – 157; frost-free days: Almaty – 188, Beriktas – 182. Average soil temperature (0-80 cm): Almaty +11.4°C, Beriktas +12.3°C. Duration of periods with mean daily temperatures above 10°C: Almaty 160 days, Beriktas 170 days. Accumulated mean daily temperatures above 10°C: Almaty 3400°C, Beriktas 3600°C. Total heat resources during the growing season: Almaty 3400°C, Beriktas 3600°C [34, 35].

*Air humidity* is a crucial environmental indicator; its decrease reduces plant yield and negatively

affects the survival and reproduction of certain organisms. Humidity determines the periodicity of active life, influences seasonal dynamics of life cycles, and impacts development and mortality. In natural conditions, relative humidity in vegetation areas is not constant throughout the growing season. Humidity increases as plants grow and develop, reaching a maximum of around 85-90% by the end of the growing season. As plants mature, evaporation decreases, leading to a drop in relative humidity (76% and below). Average relative humidity: Almaty 58%, Beriktas 66%. Maximum relative humidity in January: Almaty 79%, Beriktas 84%. High humidity is generally observed in winter and autumn due to precipitation. Minimum humidity recorded in July: Almaty 36%, Beriktas 46% (Table 1) [34,35].

*Light*: Solar radiation is fundamental to life on Earth. Plants require constant light for the vital process of photosynthesis. Light not only participates in photosynthesis but also shapes plant development, affecting flowering, fruiting, and seed germination. The annual sunlight duration was calculated in hours: Almaty – 2,343 hours, Beriktas – 2,389 hours [38]. Cloud Cover: Number of clear days: Almaty – 239, Beriktas – 218. Number of cloudy days: Almaty – 119, Beriktas – 85 (Tables 2,3) [34,35].

*Wind*: Air movement significantly impacts plant life. Wind acts as a carrier for seeds, spores, and fruits, playing a crucial role in plant pollination. However, wind also depletes moisture from plants by replacing moist air with dry air, although it brings in fresh carbon dioxide. Average wind speed: Almaty – 0.6 m/s, Beriktas – 1.0 m/s; Maximum wind speed: Almaty – 18 m/s, Beriktas – 30 m/s (Table 1) [34,35].

**Table 2** – Weather forecast for 2021-2023

Study area	Air temperature						Average relative humidity, %	Cloudiness		Wind speed, m/s	
	Aver. t	Max. t	Min. t	Abs max.t	Abs. min.t	Number of frosty days		clear	Cloudy	Aver.	Max.
Weather indicators for 2021											
Almaty	11,5	17,6	-6,7	39,7	-17,2	165	55	239	119	0.6	18
Beriktas	9,2	17,2	-2,3	40,6	-23,4	180	64	218	85	1.0	30
Weather indicators for 2022											
Almaty	12	17.6	-7.3	39.3	-13.9	138	59	214	135	0.6	13
Beriktas	9.9	17.0	-3.4	40.9	-19.1	137	67	221	134	1.1	28
Weather indicators for 2023											
Almaty	12,4	18,1	-9.9	38,5	-16,6	143	59	243	115	0.5	8.4
Beriktas	9,5	17,2	-2,9	38,5	-24	153	68	229	101	1.1	18.6

*Pressure:* Average atmospheric pressure: Almaty – 920.2 hPa, Beriktas – 925.1 hPa (Table 3) [35].

*Precipitation:* Precipitation is crucial for the water cycle, influencing surface and subsurface runoff,

evaporation, and water distribution among plants. Average annual precipitation: Almaty – 630 mm, Berikbash – 436 mm. Snow cover days: Almaty – 64, Beriktas – 51 (Table 3). [34,35].

**Table 3** – Weather forecast for 2021-2023

Study area	Average atmospheric pressure, Pa	Average precipitation, mm	Number of days with snow cover	Duration of sunshine, in hours – annual data	Soil temperature, degrees, 0-80 cm
Weather indicators for 2021					
Almaty	920,5	673	53	2343	11,2
Beriktas	925,4	488	38	2389	12,3
Weather indicators for 2022					
Almaty	919,9	640.3	52	1729.4	11.7
Beriktas	924,8	410.4	50	2225.8	12.5
Weather indicators for 2023					
Almaty	847,3	575,4	88	1978,6	11,4
Beriktas	844,5	407,9	65	2238.5	12,0

*Soil* is one of the components of terrestrial ecosystems and the natural basis for their activity, while vegetation is an important factor in soil formation. The soil substrate serves as the medium for plant attachment, water supply, and mineral nutrition. In the agro-climatic and soil resource zoning of the city of Almaty and the Almaty region, the studied areas in the city of Almaty are classified as part of the mountain-steppe zone at an altitude of 700-1000 meters. The soil cover of this region consists of various types of soils with different mechanical compositions. The best soils are the mountain black soils with a granular structure, moderately humic, and low humic rainfed soils. The mountain black-chestnut soils occupy the zone of dry grass and feather grass steppes. The elevated steppes located at the top are characterized by poorly developed coarse-grained soils, while black-chestnut and light chestnut soils on the slopes are found along the edges of cones.

The studied areas in the Zhambyl district of the Almaty region are part of the irrigated agricultural zone in the desert-steppe zone on the slopes of the mountains. The region is located at an altitude of 450-700 meters above sea level and represents a major reserve of irrigated land. The soils in the area include light chestnut soils, black soils, and meadow-serozem soils. The humus content in the upper horizon ranges from 1.1% to 2.5%. In the peripheral parts of the plains on the mountain slopes surround-

ing the mountain formations, light chestnut and serozem soils covered with gravel are widespread. The soil profile is characterized by a significant distribution of unutilized serozems [36,37].

For plants, the physical, chemical, and biological properties of the soil, as well as its water, air, and thermal regimes, the pH, and the chemical composition of the soil solution are of significant ecological importance. The main soil indicators affecting plants include: granulometric composition, salinity, moisture level, soil temperature, structure, humus content, agrochemical indicators, microelement composition, and others.

To assess the edaphic factors of the area where the Paulownia Siebold & Zucc is transplanted and cultivated, studies were conducted on the soil's granulometric composition, total humus content, total and available nitrogen content, pH level, salt content, and concentration of major heavy metals. Samples for the study were taken from a depth of 0-30 cm. Regarding the soil indicators for the four studied points:

1. *Soil moisture* – the amount of water per unit mass of absolutely dry soil, where the lowest is 2.06 (point A – KazNUU, apple orchard, i.e., less moist); low moisture – 1.14 (point C – winter, non-cultivated land in the village of Beriktas, i.e., assessed as arid) [37].

2. *Granulometric composition* obtained with three percentage fractions of absolutely dry soil:

sand (coarse 1.0-0.25 mm, fine 0.25-0.05 mm), silt (coarse 0.05-0.01, crushed 0.01-0.005, fine 0.005-0.001), clay (<0.001), mud (<0.01). Analysis (Table 4.) [38]:

1) Large amount of coarse sand 15.668 mm – point B; small size 0.526 mm – point C. Large amount of fine sand 37.819 mm – point A; small size 22.193 mm – point C;

2) Highest amount of coarse silt 40.057 mm – point C, lowest amount 20.829 mm – point A. Large amount of fine silt 13.757 mm – point C, small amount 11.844 mm – point A.

3) Large amount of clay 10.210 mm – point B, small amount 11.002 mm – point C.

4) Large amount of mud 38.454 mm – point D, small amount 34.230 mm – point B.

**Table 4** – Granulometric composition of the soil

№	Location of choice	Depth, cm	A.C.H % H <sub>2</sub> O	% of fractional composition for absolutely dry soil						
				Fraction sizes, mm						
				Sand		Silt			Clay	Mud
				1,0-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	Fractions < 0,01
1. A	KazNUU, apple orchard	0-30	2,06	4,595	37,819	20,829	14,703	11,844	10,210	36,757
2. B	KazNPU, campus area	0-30	1,84	15,668	26,059	24,042	11,002	12,225	11,002	34,230
3. C	Beriktas v., wintering site, non-cultivated	0-30	1,14	0,526	22,193	40,057	15,780	13,757	7,688	37,224
4. D	Beriktas v., wintering site, cultivated	0-30	1,18	0,830	22,667	38,049	17,001	12,548	8,905	38,454

3. *Agrochemical indicators* – Agrochemical indicators of soil fertility are a set of properties that characterize the soil's ability to supply plants with nutrients and maintain an optimal feeding regime. In our case (Table 4) [38]:

1. Maximum amount of total humus – Point B – 1.86%, minimum – Point C – 0.65%. Humus content is low at all points.

2. Available nitrogen (N), mg/kg, obtained from two points, highest – 47.6%, Point D; lower – 44.8%, Point C. High values indicate the nitrogen (N) status of the cultivated area of *Paulownia Siebold & Zucc*, suggesting that nitrogen-fixing microorganisms are active and that the humus formation process has

started. It can be said that *Paulownia* trees may fertilize the soil and enhance its fertility. Although the studies cover a short period, the trend may already be underway.

3. pH values: high 9.25 – Point C, low – 8.20, Point A. All indicators point to a high degree of alkalinity. The soil is classified as alkaline [38].

4. *Salt content*. The salts present in the studied soil were determined by separating absolutely dry soil from water. High salt content – Point C with 0.139%, Point B with a lower value – 0.086%. At all points, salinity is within the range of 0.50-1.00%, indicating that the soil is considered moderately saline (Table 6) [38].



**Table 5** – Soil Agrochemical Indicators

№	Determined Indicators				
	Sampling Location	Total Humus %	Mobile Nitrogen Mg/kg	Total nitrogen %	pH
1. A	KazNUU, apple orchard	1,65	-		8,20
2. B	KazNPU, campus area	1,86	-		8,61
3. C	Beriktas v., wintering site, non-cultivated	0,65	44,8	0,070	9,25
4. D	Beriktas v., wintering site, cultivated	1,48	47,6	0,168	9,08

**Table 6** – Salt separation indicators by water

№	For Absolutely dry soil $\frac{\%}{\%}$ <i>М. ЭКВ.</i> <b>**volumetric separation by water**</b>								
	**Salt Content, %**	Alkalinity		Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
		General HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Composition of CO <sub>3</sub> from common carbonates						
KazNU, apple orchard	0,107	0,034		0,000	0,048	0,014	0,010	0,001	0,001
		0,56		0,00	0,99	0,70	0,79	0,03	0,03
KazNU, apple orchard	0,086	0,024		0,001	0,040	0,010	0,008	0,001	0,002
		0,40		0,04	0,83	0,50	0,69	0,03	0,04
Beriktas v., wintering site, non-cultivated	0,126	0,034	0,002	0,012	0,044	0,004	0,008	0,018	0,005
		0,56	0,08	0,33	0,92	0,20	0,69	0,80	0,13
Beriktas v., wintering, non-cultivated	0,139	0,039		0,004	0,056	0,010	0,005	0,020	0,006
		0,64		0,11	1,16	0,50	0,39	0,85	0,16

5. *Micronutrient composition.* The study analyzed four types of mobile forms of micronutrients found in significant quantities in urban soil: zinc (Zn), copper (Cu), cadmium (Cd), and lead (Pb). This group of heavy metals is widespread in the soil and negatively impacts natural processes in the environment. In our research (Table 7) [38]:

- High levels of zinc at point B – 45.6 mg/kg; low levels – 1.90 mg/kg; normal levels – Point C.

- High levels of copper at point C – 1.80 mg/kg; low levels – 1.10 mg/kg; normal levels – Point B.

- High levels of cadmium at point B – 1.20 mg/kg; low levels – 0.80 mg/kg; normal levels – Point A.

- High levels of lead at point B – 1.00 mg/kg; low levels – 0.60 mg/kg; normal levels – Point D.

According to the analysis, at point B, which is KazNPU, campus area, there are high levels of three elements – Zn, Cd, Pb. This situation indicates that the land plot planted with trees is located near street intersections (Kazibek bi and Sh. Ualikhanov), and consequently, these levels are elevated.

**Table 7** – Micronutrient composition in soil

№	Sampling location	Available forms of micronutrients, mg/kg			
		Zn	Cu	Cd	Pb
1. A	KazNU, apple orchard	4,40	1,20	0,80	0,80
2. B	KazNPU, campus area	45,6	1,10	1,20	1,00
3. C	Beriktas v., wintering, non-cultivated	1,90	1,80	1,10	0,80
4. D	Beriktas v., wintering, cultivated	2,80	1,30	1,00	0,60

Environmental factors affect the growth and development of *Paulownia* trees to varying degrees: low temperature has a primary influence, while high temperature has a secondary, weaker effect. Additionally, these factors can impact specific aspects of plant development. The response of *Paulownia* trees to changes in environmental conditions is reflected in their ability to exhibit re-

silience, which manifests in the flexibility of structures and functions and the development of adaptive changes in structure and life processes. Three years of phenological observations from the conducted localization work have shown good results in growth and adaptation of *Paulownia* trees in the city of Almaty and the Almaty region, as shown in Table 8.

**Table 8** – Results of phenological observations

Years	Vine Height, cm (beginning/end of the growing season)					
	KazNU, apple orchard		KazNPU, campus area		Beriktas, winter site	
2021	18-22	93-105	30-38	122-220	-	-
2022	0 (technical section)	250-430	0 (technical section)	460-580	15-23	150-210
2023	0 (technical section)	260-490	420-500	570-660	0 (technical section)	170-250

The enrichment of local flora through the cultivation and transplantation of tree species has been practiced since ancient times, primarily in regions with favorable climatic conditions for growing these plants. Introduction is particularly crucial in arid regions with soil salinity, lack of moisture, and deforested areas. Enriching local flora with fast-growing, valuable woody, shrubby, and herbaceous plants that are resistant to extreme conditions, as well as high-quality products, selection, conservation, and development, is one of the pressing issues for increasing biodiversity in the Republic of Kazakhstan. Plant introduction plays a significant role in enhancing the produc-

tivity of artificially created plant communities of various purposes and their economically valuable properties. To conserve rare and endangered plant species and introduce new useful plants into local flora, it is necessary to cultivate them in dendrological gardens, botanical gardens, and experimental plots, and propagate them for reintroduction into natural conditions. Given the role that plants play in shaping the environment, and considering both natural physical-geographical conditions and anthropogenic factors related to human production activities, it is crucial to include experimentally tested plant species that are beneficial for each region into the local flora.



A – KazNU, apple orchard



KazNPU, campus area



D – Beriktas v., wintering, cultivated

**Figure 1** – *Paulownia Siebold & Zucc*

This is why we analyzed and assessed the complex of abiotic factors of the local area to conduct research on the adaptation of Paulownia trees, which are the subject of our study, to increase biodiversity of the local flora, and for planting and use in various industrial and commercial purposes

in the southeastern and southern regions of our country. Further study of the impact of abiotic factors on the local area will help determine indicators such as heat and cold tolerance, resistance to smoke and gas in urban conditions, and ability to withstand pests.

## Conclusion

1. The study found that temperature fluctuations impact *Paulownia* growth. Suitable temperature amplitudes contributed to good development of *Paulownia* trees in Almaty, while the absolute low temperature of  $-22^{\circ}\text{C}$  in Beriktas had a negative effect. The total thermal resource temperature for the growing season was: Almaty  $3400^{\circ}\text{C}$ , Beriktas  $3600^{\circ}\text{C}$ . The main abiotic factor affecting the growth of *Paulownia* is temperature. Its decrease has a decisive influence.

2. The high average precipitation in Almaty positively affected *Paulownia* trees, while the low level of summer precipitation in Beriktas had a negative impact. Average precipitation: Almaty – 630 mm, Beriktas – 436 mm.

3. In Almaty, the humus content in soil cultivated with *Paulownia* ranged from 1.65 to 1.86. In Beriktas, the humus content in non-cultivated soil was 0.65, and increased to 1.48 with *Paulownia* cultivation.

4. *Paulownia* adapts and grows at a pH of 8.20-8.61.

5. Among the agrochemical indicators, the amount of available nitrogen increased in the cultivated area compared to the non-cultivated winter site in Beriktas. This indicates the revival of nitrogen-fixing microorganisms and signifies that the process of soil humus formation has begun.

After analyzing the abiotic factors, we can preliminarily conclude that the city of Almaty and the

Almaty region are suitable areas for planting *Paulownia* trees. However, further tasks remain to study the impact of environmental factors on the plant and the conditions for its adaptation. The agroclimatic conditions of Almaty city and the Almaty region are very favorable. The foothills of the Zailiysky Alatau are characterized by sufficient humidity, mild summers, and soft winters. The total thermal resource temperature for the growing season is around  $3400\text{--}3600^{\circ}\text{C}$ . The warm period, with an average daily air temperature above  $0^{\circ}\text{C}$ , lasts for 220-240 days. The total sunlight duration per year is 2400 hours. Soil types range from mountain chernozem to mountain black-brown, light brown, and chestnut soils. The agrochemical indicators of the soil also meet the requirements for growing *Paulownia*, and good results can be achieved through specific agronomic practices. Research shows that the set of suitable abiotic factors required for the *Paulownia* tree matches the established environmental factors of the city of Almaty and the region. In the southern and southeastern regions of the country, the processes of growing and transplanting *Paulownia* have been ongoing for several years. Currently, studies are focusing on the adaptation of *Paulownia* to local climatic conditions, as well as abiotic and biotic environmental factors affecting the plant. Moving forward, given the potential of the *Paulownia* tree for its economic value to our country and its ecological benefits for environmental improvement, comprehensive studies will be conducted on the plant's ecological and biological characteristics and adaptation processes.

## References

1. He, Ting, Brajesh Nanda Vaidya, Zachary D. Perry, Prahlad Parajuli and Nirmal Joshee. 2016. "Paulownia as a medicinal tree: Traditional uses and current advances" *European journal of medicinal plants* 14, no 1: 1-15. <https://doi.org/10.9734/EJMP/2016/25170>
2. Yadav, Niraj Kumarmangalam, Brajesh Nanda Vaidya, Kyle Henderson, Jennifer Frost Lee, Whitley Marshay Stewart, Sadanand Arun Dhekney and Nirmal Joshee. 2013, "A review of Paulownia biotechnology: A short rotation, fast growing multipurpose bioenergy tree" *American Journal of Plant Sciences* 4, no 11: 2070-2082. doi: 10.4236/ajps.2013.411259
3. Lugli, Linda, Giustino Mezzalana, Maurizio Lambardi, Huaxin Zhang and Nicola La Porta. 2023. "Paulownia spp.: A Bibliometric Trend Analysis of a Global Multi-Use Tree" *Horticulturae* 9, no 12: 1352. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9121352>
4. Mazurkiewicz, Jakub. 2022. "The biogas potential of oxytree leaves" *Energies* 15, no 23: 8872. <https://doi.org/10.3390/en15238872>
5. Z.-H. Zhu, C.-J. Chao, X.-Y. Lu and Y. G. Xiong. *Paulownia in China: Cultivation and Utilization*. Asian Network for Biological Sciences and International Development Research Centre, Singapore, 1986. P.74 [https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Arbres-Bois-de-Rapport/Reforestation/FICHES\\_ARBRES/Paulownia/paulownia-in-china.pdf](https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Arbres-Bois-de-Rapport/Reforestation/FICHES_ARBRES/Paulownia/paulownia-in-china.pdf)
6. Criscuoli, Irene, Michele Brunetti, and Giacomo Goli. 2022. "Characterization of *Paulownia elongata x fortunei* (BIO 125 clone) Roundwood from Plantations in Northern Italy" *Forests* 13, no. 11: 1841. <https://doi.org/10.3390/f13111841>
7. Janus Bojesen Jensen. *An investigation into the suitability of Paulownia as an agroforestry species for UK & NW European farming systems*. Submitted to the Department of Agriculture & Business Management, SRUC, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science SRUC, BBA (Beirut), 2016. P. 206. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.31955.78882>. <https://www.researchgate.net/publication/311558333>

8. Barbu, Marius Cătălin, Katharina Buresova, Eugenia Mariana Tudor, and Alexander Petutschnigg. 2022. "Physical and Mechanical Properties of *Paulownia tomentosa* x *elongata* Sawn Wood from Spanish, Bulgarian and Serbian Plantations" *Forests* 13, no. 10: 1543. <https://doi.org/10.3390/f13101543>
9. Esteves, Bruno, Luísa Cruz-Lopes, Hélder Viana, José Ferreira, Idalina Domingos, and Leonel J. R. Nunes. 2022. "The Influence of Age on the Wood Properties of *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud." *Forests* 13, no. 5: 700. <https://doi.org/10.3390/f13050700>
10. Marwa E. Mohamad, A.A. Awad, Ali Majrashi, O.A. Abd Esadek, Mohamed T. El-Saadony, Ahmed M. Saad, and Ahmed S. Gendy. 2022. "In vitro study on the effect of cytokines and auxins addition to growth medium on the micropropagation and rooting of Paulownia species (*Paulownia hybrid* and *Paulownia tomentosa*)" *Saudi Journal of Biological Sciences* 29, no 3: 1598-1603. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.11.003>
11. Larisa, Crișan Renata, Petruș Vancea Adriana. 2016. "Paulownia tomentosa L. in vitro propagation". *Natural resources and sustainable development* 6, ref. 30: 30-37. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20173066543>
12. Jakubowski, Marcin. 2022. "Cultivation potential and uses of Paulownia wood: A review." *Forests* 13, no 5: 668. <https://doi.org/10.3390/f13050668>
13. Paulownia as a novel biomass crop for Northern Ireland? Global Research Unit AFBI Hillsborough. A review of current knowledge. Occasional publication No. 7 [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://paulowniamp.files.wordpress.com/2010/05/paulownia-as-a-novel-biomass.pdf&ved=2ahUKEwispKS-u\\_aHAXVCPxAIHZntDWwQFnoECBIQAQ&usq=AOvVaw1bzZ8zO0YLvZxJCUUpqG0XHJ](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://paulowniamp.files.wordpress.com/2010/05/paulownia-as-a-novel-biomass.pdf&ved=2ahUKEwispKS-u_aHAXVCPxAIHZntDWwQFnoECBIQAQ&usq=AOvVaw1bzZ8zO0YLvZxJCUUpqG0XHJ)
14. Snow, Whitney Adrienne. 2015. "Ornamental, crop, or invasive? The history of the Empress tree (*Paulownia*) in the USA." *Forests, Trees and Livelihoods* 24, no 2: 85-96. <http://dx.doi.org/10.1080/14728028.2014.952353>
15. García-Morote, Francisco Antonio, Francisco Ramón López-Serrano, Eduardo Martínez-García, Manuela Andrés-Abellán, Tarek Dadi, David Candel, Eva Rubio, and Manuel Esteban Lucas-Borja. 2014. "Stem Biomass Production of *Paulownia elongata* × *P. fortunei* under Low Irrigation in a Semi-Arid Environment" *Forests* 5, no. 10: 2505-2520. <https://doi.org/10.3390/f5102505>
16. Sohrabi, Yousef, Firouzeh Sharifi Kalyani, Moslem Heydari, Majed Yazdani, Khalid M. Omer and Ali Reza Yousefi. 2022. "Plant-based nano-fertilizer prepared from Paulownia Tomentosa: fabrication, characterization, and application on *Ocimum basilicum*" *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 9, no 1: 82. <https://doi.org/10.1186/s40538-022-00352-w>
17. Esteves, Bruno, Helena Ferreira, Hélder Viana, José Ferreira, Idalina Domingos, Luísa Cruz-Lopes, Dennis Jones, and Lina Nunes. 2021. "Termite Resistance, Chemical and Mechanical Characterization of *Paulownia tomentosa* Wood before and after Heat Treatment" *Forests* 12, no. 8: 1114. <https://doi.org/10.3390/f12081114>
18. Woźniak, Małgorzata, Anna Gałazka, Grzegorz Siebielec, and Magdalena Frąć. 2022. "Can the Biological Activity of Abandoned Soils Be Changed by the Growth of *Paulownia elongata* × *Paulownia fortunei*?—Preliminary Study on a Young Tree Plantation" *Agriculture* 12, no. 2: 128. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020128>
19. Al-Sagheer, Adham A., Mohamed E. Abd El-Hack, Mahmoud Alagawany, Mohammed A. Naiel, Samir A. Mahgoub, Mohamed M. Badr, Elsayed O. S. Hussein and Abdullah N. Alowaimer and Ayman A. Swelum. 2019. "Paulownia leaves as a new feed resource: Chemical composition and effects on growth, carcasses, digestibility, blood biochemistry, and intestinal bacterial populations of growing rabbits" *Animals* 9, no 3: 95. <https://doi.org/10.3390/ani9030095>
20. Mahmoud, Alagawany, Mayada R. Farag, Manal E. Sahfi, Shaaban S. Elnesr, Othman Alqaisi and Seham El-Kassas. 2022. "Phytochemical characteristics of Paulownia trees wastes and its use as unconventional feedstuff in animal feed" *Animal Biotechnology* 33, no 3: 586-593. <https://doi.org/10.1080/10495398.2020.1806074>
21. Ptach, Wiesław, Ariel Langowski, Roman Rolbiecki, Stanisław Rolbiecki, Barbara Jagosz, Vilda Grybauskiene and Mateusz Kokoszewski. 2017. "The influence of irrigation on the growth of paulownia trees at the first year of cultivation in a light soil". *Proceedings of the 8th International Scientific Conference Rural Development 2017 Edited by prof. Asta Raupelienė. ISSN 1822-3230 / eISSN 2345-0916 eISBN 978-609-449-128-3*. Article DOI: <http://doi.org/10.15544/RD.2017.121>
22. Zhanar, Kaldybayeva, Meruert Kurmanbayeva, Kamoliddin Alimov and Kulzhakhan Bakirova. 2022. "Phytochemical analysis of the plant *Paulownia Siebold & Zucc.* grown in the conditions of Almaty region" *Pharmacy of Kazakhstan* 6, no 245: 140-147. DOI 10.53511/PHARMKAZ.2022.53.47.023
23. Dzugan, Malgorzata, Michał Miłek, Dorota Grabek-Lejko, Joanna Hęclik, Beata Jacek and Wojciech Litwińczuk. 2021. "Antioxidant activity, polyphenolic profiles and antibacterial properties of leaf extract of various Paulownia spp. clones." *AGRONOMY-BASEL* 11, no10: 2001. <https://doi.org/10.3390/>
24. Vyacheslav, Matskevych, Vasyl Yukhnovskiy, Ivan Kimeichuk, Yurii and Olga Tupchii. 2023. "Post-aseptic adaptation and ex vitro propagation of Ukrainian cultivars of *Paulownia Sieb. et Zucc.*". *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science* 14, no 4: 103-121. <https://doi.org/10.31548/forest/4.2023.103>
25. Ulugbek, Mukhitdinov, Ramiziddin Sayfutdinov, M. Abdumavliyanova and Sh. Mirkamilov. 2023. "Extraction of cellulose from paulownia plants and its simple ester carboxymethyl cellulose (na-kms) technology" *E3S Web of Conferences. International Scientific Conference "Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East" (AFE-2022)*, 371. EDP Sciences, Article Number 01018, Number of page(s) 5. DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337101018>
26. Jamshid, Temirov, G. Shukurova, and I. Klichov. "Study on the influence of stimulants on the rooting of the paulownia (*paulownia*) and tulip (*liriodendron tulipifera*) trees during the propagation by cuttings." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 939. No. 1. IOP Publishing, 012059. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/939/1/012059/meta>
27. Baier, Clara, Niels Thevs, Daniel Villwock, Begaiym Emileva and Selina Fischer. 2021. "Water productivity of *Paulownia tomentosa* x *fortunei* (Shan Tong) in a plantation at Lake Issyk-Kul, Kyrgyzstan, Central Asia." *Trees* 35, no 5: 1627-1637. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02141-8>

28. Ronagul, Turganova, Erika Djangalina, Elvira Shadenova. 2021. "Features of the introduction into in vitro culture and micropropagation of *Paulownia tomentosa*". Reports of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, 2, no 336: 18-25 <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1483.25>
29. Aigul, Amirova, Symbat Dossymbetova, Yeldana Rysbayeva, Bakdaulet Usenbekov, Arman Tolegen and Alibek Ydyrys. 2022. "Multiple Plant Regeneration from Embryogenic Calli of *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud." *Plants* 11, no 8: 1020. <https://doi.org/10.3390/plants11081020>
30. Aigerim Mamirova, Almagul Baubekova, Valentina Pidlisnyuk, Elvira Shadenova, Leyla Djansugurova and Stefan Jurjan. 2022. "Phytoremediation of soil contaminated by organochlorine pesticides and toxic trace elements: Prospects and limitations of *Paulownia tomentosa*." *Toxics* 10, no 8: 465. <https://doi.org/10.3390/toxics10080465>
31. Zharasova D. N., Tolep N. A. "Mikroklonal'noe razmnozhenie pavlovnii vojlochnoj [Microclonal propagation of *Pavlovnia feltii*]." // Problems of botany of South Siberia and Mongolia 21, no 1 (2022):71-74 – (In Russian) <https://doi.org/10.14258/pbssm.2022015>
32. "Trebovaniya Pavlovnii k mestopolozheniju [Pavlovnia's location requirements]." – (in Russian) – <https://www.cathaiia.com/ru/paulownia/establishing-of-plantations/location/49-location> (circulation date: 23.11.2022)
33. "© Propozicija – Glavnyj zhurnal po voprosam agrobiznesa [Proposition – The premier journal on agribusiness issues]." Mode of access to the site URL: <https://propozitsiya.com/ru/pavlovniiya-cennyi-istochnik-drevesiny-i-biotopliva> (circulation date: 23.11.2022) – (In Russian)
34. "RGP Kazgidromet. Rezhim dostupa k cajtu [Republican State Enterprise Kazgidrometeorology.]" Mode of access to the site URL: <https://www.kazhydromet.kz/uploads/files/73/file/5ec1452ec0c4d-oblast.pdf> (circulation date: 23.11.2022) – (In Russian)
35. "RGP Kazgidromet. Rezhim dostupa k cajtu [Republican State Enterprise Kazgidrometeorology.]" Mode of access to the site URL: [https://meteo.kazhydromet.kz/climate\\_kadastr/](https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr/) (circulation date: 23.11.2022)
36. "Nacional'nyj atlas Respubliki Kazahstan. V 3h tomah. Tom 1. Prirodnye uslovija i resursy/ Glavnyj redaktor A.R. Medeu [ i dr.] [National Atlas of the Republic of Kazakhstan. In 3 volumes. Volume 1. Natural conditions and resources / Editor-in-Chief A.R. Medeu [ et al.]]." Almaty: JSC National Scientific and Technological Holding 'Parasat' Ministry of Science and Education of the Republic of Kazakhstan. 2010. – P. 57-63. – (In Russian)
37. Abdrahmetov M.A., Ablajsanova G.M., Bajsholanov S.S. "Ocenka agroklimaticeskikh uslovij i sostojaniya pastbishh v juzhnoj polovine Kazahstana [Assessment of agro-climatic conditions and pasture condition in the southern half of Kazakhstan]." *Hydrometeorology and Ecology* no 3 (2018): P. 15-28 – (In Russian)
38. "Protokol laboratornyh ispytanij ot 7 nojabrja 2022 g. TOO «Kazahskij nauchno-issledovatel'skij institut pochvovedenija i agrohimii imeni U.U. Uspanova». Attestovannaja laboratorija «Himicheskikh analizov» [Protocol of laboratory tests dated 7 November 2022 'Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry named after U.U. Uspanov' LLP. Certified laboratory of 'Chemical Analyses'.] – (In Russian)

**Авторлар туралы мәлімет:**

*Калдыбаева Жанар Биржановна – Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің География және экология кафедрасының аға оқытушысы, магистрі (Алматы, Қазақстан, электрондық пошта: zhanar\_161081@mail.ru)*

*Құрманбаева Меруерт Сәкенқызы (корреспондент-автор) – биология ғылымдарының докторы, биоәртүрлілік және биоресурстар кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің биология және биотехнология факультетінің деканы (Алматы, Қазақстан, электрондық пошта: Meruyert.Kurmanbayeva@kaznu.edu.kz)*

**Information about authors:**

*Kaldybayeva Zhanar Birzhanovna – master of ecology, senior lecturer at the Department of geography and ecology of Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: zhanar\_161081@mail.ru)*

*Kurmanbayeva Meruert Sakenova (corresponding author) – Doctor of Biology, Professor at the Department of Biodiversity and Bioresources, Dean of the Faculty of Biology and Biotechnology at al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, email: Meruyert.Kurmanbayeva@kaznu.edu.kz)*

*Received March 11, 2024  
Accepted September 26, 2024*

**T.N. Kobylina<sup>1,2\*</sup>**, **B.M. Tynybekov<sup>1\*</sup>**, **M.E. Mussina<sup>1</sup>**,  
**L.U. Koibassova<sup>2</sup>**, **E. Boribay<sup>3</sup>**, **U.K. Kurmanbay<sup>4</sup>**,  
**Z.C. Umirbaeva<sup>5</sup>**, **Zh.B. Ashirova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Institute of Genetics and Physiology, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>Narxoz University, Almaty, Kazakhstan

<sup>4</sup>Zh. Tashenev university, Shymkent, Kazakhstan

<sup>5</sup>Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: maral.musina@mail.ru

## ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE OF THE SPECIES *HYLOTELEPHIUM EWERSII* (LEDEB.) H. OHBA AND *PHEDIMUS HYBRIDUS* (L.) 'T HART. IN THE FLORA OF THE KASTEK GORGE OF THE ILE ALATAU

The article is devoted to the study of the current state of populations of the species *Hylotelephium ewersii* (Ledeb.) H. Ohba (formerly *Sedum ewersii* Ledeb.) and *Phedimus hybridus* (L.) 't Hart (also known as *Sedum hybridum* L. and *Aizopsis hybrida* (L.) Grulich) in the floristic composition of the cenopopulations of these species in the Ile Alatau. The article presents a study and analysis of the biology of the populations of *H. ewersii* and *P. hybridus* in the Kastek Gorge of the Ile Alatau, the diversity of their life forms, and ecological reactions in specific ecological-cenotic conditions. Seasonal rhythms of development of *H. ewersii* and *P. hybridus* showed their stability and high adaptability to the conditions of the landscape mountain zone of the Ile Alatau. The studies made it possible to identify the adaptations of natural cenopopulations of *H. ewersii* and *P. hybridus* to long-term, sustainable existence in conditions of a sharply continental climate and to assess their current state. The article presents a taxonomic, ecological, and geographical analysis of the flora of the populations of *H. ewersii* and *P. hybridus*. The studied species *H. ewersii* and *P. hybridus* have a life form of herbaceous succulent-leafy terrestrial-creeping polycarpics with a rosette-less sympodial model of shoot formation, where, according to the position of the renewal buds, the studied species belong to the chamaephyte biomorph

**Key words:** *Hylotelephium ewersii*, *Phedimus hybridus*, population, cenopopulation, Kastek Gorge, Ile Alatau.

Т.Н. Кобылина<sup>1,2\*</sup>, Б.М. Тыныбеков<sup>1</sup>, М.Е. Мусина<sup>1</sup>, Л.У. Қойбасова<sup>2</sup>,  
Э. Бөрібай<sup>3</sup>, У.К. Курманбай<sup>4</sup>, З.Ч. Умирбаева<sup>5</sup>, Ж.Б. Аширова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Генетика және физиология институты, Алматы қ., Қазақстан

<sup>3</sup>Нархоз университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>4</sup>Ж. Тәшенев атындағы университет, Шымкент қ., Қазақстан

<sup>5</sup>Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

\*e-mail: maral.musina@mail.ru

### Іле Алатауының Қастек флорасындағы *Hylotelephium ewersii* (Ledeb.) H. Ohba және *Phedimus hybridus* (L.) ,t Hart түрінің экологиялық-биологиялық сипаттамасы және қазіргі жағдайын бағалау

Мақалада *Hylotelephium ewersii* (Ledeb.) H. Ohba (бұрын *Sedum ewersii* Ledeb.) және *Phedimus hybridus* (L.) ,t Hart (сонымен қатар *Sedum hybridum* L. және *Aizopsis hybrida* (L.) Grulich) түрлерінің популяцияларының қазіргі жағдайын және осы түрлердің Іле Алатауындағы ценопопуляцияларының флористикалық құрамын зерттеуге арналған. Іле Алатауының Қастек шатқалындағы *H. ewersii* және *P. hybridus* популяцияларының биологиясын, олардың тіршілік формаларының әртүрлілігін және нақты экологиялық және экологиялық реакцияларын зерттеу және талдауы, ценоздық жағдайы берілген. *H. ewersii* және *P. hybridus* түрлерінің маусымдық даму ырғақтары олардың тұрақтылығын және Іле Алатауының ландшафттық таулы белдеуінің жағдайына жоғары бейімділігін көрсетті. Зерттеулер *H. ewersii* және *P. hybridus* табиғи

күрт континенттік жағдайында ұзақ мерзімді, тұрақты өмір сүруге бейімделуін анықтауға және олардың қазіргі жағдайын бағалауға мүмкіндік берді. Мақалада *H. ewersii* және *P. hybridus* түрлерінің популяцияларының флорасына таксономиялық, экологиялық және географиялық талдау жасалған. Зерттелген *H. ewersii* және *P. hybridus* түрлері шөптесін суккулентті-жапырақты жерге төселіп өсу моделімен сипатталатын поликарпты өсімдіктердің өмірлік формасына ие, бұл түрлердің қайта өсетін бүршіктерінің орналасуына байланысты биоморфты хамефиттерге жатады.

**Түйін сөздер:** *Hylotelephium ewersii*, *Phedimus hybridus*, популяция, ценопопуляция, Кастек шатқалы, Іле Алатауы.

Т.Н. Кобылина<sup>1,2\*</sup>, Б.М. Тыныбеков<sup>1</sup>, М.Е. Мусина<sup>1</sup>, Л.У. Қойбасова<sup>2</sup>,  
Э. Борибай<sup>3</sup>, У.К. Курманбай<sup>4</sup>, З.Ч. Умирбаева<sup>5</sup>, Ж.Б. Аширова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Институт генетики и физиологии, г. Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Университет Нархоз, г. Алматы, Казахстан

<sup>4</sup>Университет имени Ж. Ташенева, г. Шымкент, Казахстан

<sup>5</sup>Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

\*e-mail: maral.musina@mail.ru

### Эколого-биологическая характеристика и оценка современного состояния вида *Hylotelephium ewersii* (Ledeb.) Н. Ohba и *Phedimus hybridus* (L.) 't Hart. во флоре ущелья Кастек Иле Алатау

Статья посвящена изучению современного состояния популяций видов *Hylotelephium ewersii* (Ledeb.) Н. Ohba (ранее *Sedum ewersii* Ledeb.) и *Phedimus Hybridus* (L.) 't Hart (также известный как *Sedum hybridum* L. и *Aizopsis Hybrida* (L.) Grulich) во флористическом составе ценопопуляций этих видов в Иле Алатау. В статье представлены изучение и анализ биологии популяций *H. ewersii* и *P. hybridus* Кастекского ущелья Иле Алатау, разнообразия их жизненных форм и экологических реакций в специфических эколого-ценотических условиях. Сезонные ритмы развития *H. ewersii* и *P. hybridus* показали их устойчивость и высокую приспособляемость к условиям ландшафтно-горной зоны Иле Алатау. Исследования позволили выявить приспособления природных ценопопуляций *H. ewersii* и *P. hybridus* к длительному устойчивому существованию в условиях резко континентального климата и оценить их современное состояние. В статье представлен таксономический, эколого-географический анализ флоры популяций *H. ewersii* и *P. hybridus*. Изученные виды *H. ewersii* и *P. hybridus* имеют жизненную форму травянистых суккулентно-листных наземно-ползучих поликарпиков с безрозеточной симподиальной моделью побегообразования, где по положению почек возобновления изучаемые виды относятся к биоморфа хамефита

**Ключевые слова:** *Hylotelephium ewersii*, *Phedimus hybridus*, популяция, ценопопуляция, Кастекское ущелье, Заилийский Алатау.

## Introduction

The Kastek Gorge is located in the western part of the Ile Alatau, which belongs to the Northern Tien Shan and is a latitudinal northern folded region in the powerful system of mountain chains of the Tien Shan (Figure 1). According to the geographical zoning of Kazakhstan, the Ile Alatau ridge belongs to the North Tien Shan geobotanical province, specifically in the Ile forest-meadow steppe district, central region, which includes the territory from the west of the Big Almaty River to Turgen in the east [1].

The Ile Alatau ridge is a latitudinal northern fold in the system of the Tien Shan Mountain ranges. The ridge begins in the west within the Chu River and extends 300 km east to the Chilik River. In the northern direction of the axial ridge, the slopes gently descend to the depression of the Ile River and the plains of Kazakhstan. On the southern side, the

ridge is separated from the Kungey Alatau by longitudinal intermountain valleys of two rivers – Chilik and Chonkemin [2]. The prevailing elevations are 4000-4600 m, with the highest point being Talgar Knot (4973-4979 m) [3]. In the east, the Ile Alatau gradually descends, forming the smaller ridges of Sugaty, Boguty, and Toraigyry [4].

The genus *Sedum* L. is one of the largest plant genera, numbering almost 600 species, distributed in the Northern Hemisphere, mainly in the subtropical and temperate zones of mainland Eurasia [5-8]. In Kazakhstan, the genus *Sedum* L. is represented by 10 species, with one endemic, *Sedum nugodsharicum* Boriss., growing in the area of the Mugodzhar Ridge [9]. According to S. B. Goncharova (1996), more than 300 species of the genus *Sedum* are observed in the Old-World region. The Circumboreal floristic region has 25 species. *Sedum* is much more numerous in the East Asian (70 species), Iranian-



Turanian (50 species), and Mediterranean (40 species) floristic regions. The largest number of species are localized in the East Himalayan province of the

East Asian floristic region (50 species) and the Armenian Iranian province of the Iran-Turan region (32 species) [10,11].

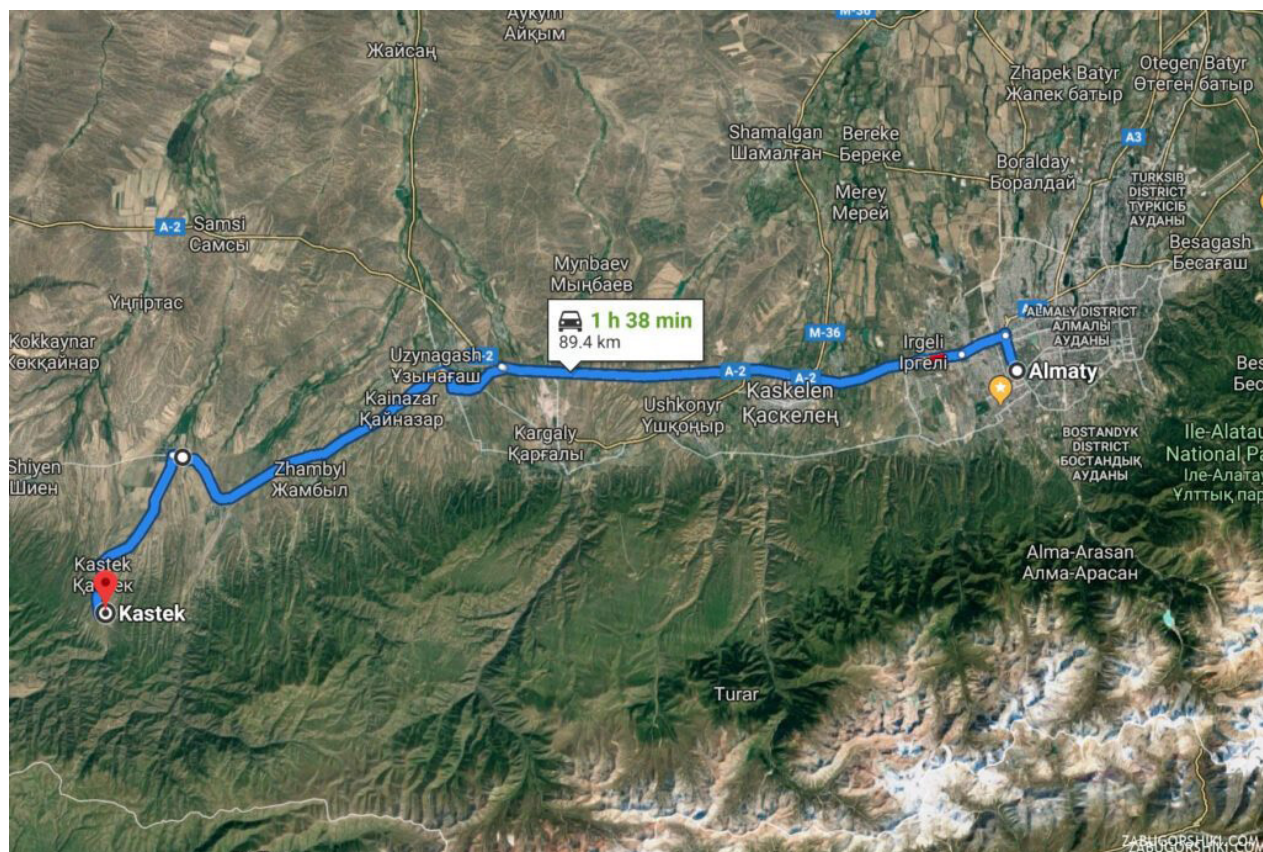


Figure 1 – Map of the KasteK gorge of the Ile Alatau

*Sedum* species, including *Hylotelephium* and *Phedimus*, typically contain various medicinal active compounds, such as alkaloids, tannins, cyanogenic compounds, and a number of flavonoids with anti-inflammatory and analgesic properties. Many species of *Sedum* are used medicinally to treat pain and inflammation. Additionally, a poultice made from crushed succulent leaves and young stems can be applied topically to cuts, wounds, burns, and various skin conditions [12-14]. The representatives of the genus *Sedum* also have ornamental properties and are melliferous plants [15].

*H. ewersii* has valuable medicinal properties, containing biologically active compounds, secondary metabolites, and various organic acids, among others. It is used to treat wounds and abrasions [16]. In addition, *H. ewersii* is used as a highly effective wound-healing, analgesic, restorative, and anti-in-

flammatory agent, and recently it has been recommended as a biostimulator. Positive effects from drugs based on this plant are noticeable in a very short time [17, 18]. *H. ewersii* deserves attention as an ornamental plant due to several features of its sprawling shoots, which make it suitable for both ground cover and as an ampel plant. From a small succulent, it grows easily into a dense, greenish-gray carpet that is undemanding of growing conditions. *H. ewersii* also easily tolerates long periods of drought and grows in poor soils [19]. The main ability of this plant is its capacity to accumulate moisture in thickened leaves and stems, which allows *H. ewersii* to grow well and bloom for a long time during dry periods. The flowers of *H. ewersii* are bright, beautiful, and come in crimson, purple, or soft pink hues, making the plant attractive in garden or landscape design [20].

*H. ewersii* (Ledeb.) H. Ohba is an Altai-Mountain-Central Asia-Himalayan species [21]. The rhizome is long, branched, woody, and forms a sod; the roots are cord-shaped. The stems are 10-20 (25) cm tall, numerous, branched, spreading, ascending, woody, glabrous, and reddish at the base. The leaves are opposite, 1-1.5 (2) cm long and almost the same width, broadly ovate or almost rounded, heart-shaped at the base, short and bluntly pointed at the apex, bluish-green, dotted, and finely toothed, with the lower leaves being broadly elliptical, often with brown spots. The inflorescence is complex and corymbose. The sepals are about 2 mm long, lanceolate. The petals are 4-5 mm long, elliptic-lanceolate, acute, pink or light purple. There are 10 stamens, slightly longer than the petals, with blackish anthers. The hypogynous scales are 0.5 mm long, oblong, slightly notched at the apex. Leaflets are 3-4 mm long, erect, with a short outward bend at the tips. Seeds are about 0.5 mm long, lanceolate, and brown. It blooms from July to October [22-24].

Ecologically, *H. ewersii* is a light-loving, drought-resistant, and unpretentious plant. Its habitat is in the upper mountain parts of the lower belt, on stony and gravelly soils, in rock cracks, reaching the alpine belt. It grows preferably at altitudes of 1500-3600 m above sea level [25]. In Kazakhstan, it is widespread in the Zaisan, Altai, Tarbagatai, Zhongar, Ile, Kyrgyz, Kungei, Terskey Alatau, and Ketmen ridges, as well as the Western Tien Shan. Its distribution area includes Western Siberia, Central Asia, Western China, Western Mongolia, and the Himalayas. *H. ewersii* is also an ornamental plant [24].

*Phedimus hybridus* (L.) 't Hart. is a mountain species from Siberia, the Tien Shan, and a perennial herbaceous species. It is an herbaceous polycarpic plant [21]. The rhizome is long, branched, cord-like, and creeping. The stems are 15-20 (34) cm tall, evergreen, not dying, branched, creeping, rooting, with short sterile shoots, densely leafy, and fertile ascending shoots with smaller spaced leaves [24, 26]. The leaves are alternate, 1.5-2.5 (3.5) cm long, 0.7-1.5 (2) cm wide, spatulate elliptical, gradually narrowing into a long, wedge-shaped, entire petiole, blunt at the apex, blunt-toothed, glabrous, and slightly wavy at the edges [27]. The inflorescence is apical, dense, paniculate-corymbose, and semi-umbellate. The sepals are pale green, about 3 mm long, lanceolate, obtuse, and fused at the base. The petals are yellow, about 6 mm long and 1.5 mm wide, elliptically lanceolate, sharp, and bent [28].

The seeds are up to 1 mm long, elliptical, blunt, and numerous [29]. It blooms from June, bearing fruit in July and August [22].

Ecologically, *P. hybridus* is light-loving, drought-resistant, and unpretentious. It grows freely on nutrient-poor and light-textured soils. It is found in mountain steppes, and less frequently in the southern parts of the forest zone, on rocky and gravelly soils, in rock cracks, and less often on sandy and pebbly coastal cliffs. It grows at altitudes of 435-2600 m above sea level [22]. In Kazakhstan, it is distributed and found in the Tobol-Ishim lowland, Kokchetav, Turgai regions, Mugodzhary, Western Melkosopchnik, Ulutau, Karkar, Zaisan, Altai, and Tarbagatai, Zhongar, Ile, Kyrgyz, Kungei, and Terskey Alatau, Ketmen ranges, Chu-Ile mountains, and Karatau. Its distribution area includes the European part of the former USSR, Western and Eastern Siberia, Western China, and Northern Mongolia. Currently, the morphological and biological features of *H. ewersii* and *P. hybridus* in the studied territory of the Ile Alatau remain practically unexplored.

Recently, scientific interest in the Crassulaceae family, specifically in *H. ewersii* (Ledeb.) H. Ohba and *P. hybridus* (L.) 't Hart, has notably increased. In 1921, the cultivated genus *Sedum* was described by Praeger R.L. [31]. In 1925, the family Crassulaceae was published in the *Illustrated Flora of Mitteleuropa* by Hegi G. [32]. The author described and determined the taxonomic status of *Sedum telephium* and related species (Crassulaceae), systematic problems of the evolution of Asian Sedoideae II, and the taxonomy of Crassulaceae [33, 34]. In the same year, the author Hart't H. described the evolution of the taxonomy of Crassulaceae, as well as the evolution of the group *Sedum acre* (Crassulaceae) [35, 36]. Stevens Jan F. et al. identified flavonoid variations in Eurasian *Sedum* and *Sempervivum* II [37]. Kim J.H. et al. studied the alkaloids of some types of Asian *Sedum* species [38]. R. Van Ham studied the phylogenetic relationships in Crassulaceae, as well as the intrafamilial and generic classification of Crassulaceae [39]. Preliminary studies of plant flowering and nectar formation in some representatives of the genus *Sedum* L. were conducted [40]. The author Jalas J. included notes in the *Atlas of the Flora of Europe* [41]. In 2001, Heide O.M. determined the photoperiodic control of dormancy in *Sedum telephium* and other herbaceous perennial plants [42]. The author Odontuya G. in 2011 and 2016 studied the antioxidant, antibacterial, and antifungal properties of *P. hybridus* [43, 44].

## Materials and methods

### Research Objects

**Species Studied:** *Hylotelephium ewersii* (Ledeb.) H. Ohba (formerly *Sedum ewersii* Ledeb.) belongs to the section *Telephium* S.F. Gray., subsections *Humilieaulia* Praeger L., series *Repentes* (Praeger) A. Bor. The second species, *Phedimus hy-*

*bridus* (L.) 't Hart. (formerly *Sedum hybridum* L., *Aizopsis hybrida* (L.)), belongs to the section *Aizoon* Koch. Syn., series *Glabrae* A. Bor., in the family *Crassulaceae* DC. [22].

The studies were conducted from 2022 to 2024 in natural phytocenoses in the western part of the Ile Alatau Ridge, specifically in the Kastek Gorge and the Zhambyl district of the Almaty region (Table 1).

**Table 1** – Cenopopulations of the species *H. ewersii* and *P. hybridus* discovered during field studies.

Species, CP number	Geographical distribution	GPS coordinates & elevation
<i>H. ewersii</i> , <i>P. hybridus</i> CP 1	Almaty region, Zhambyl district, Kastek village, Kastek gorge, NE slope	43°00'548'' N, 75°57'351'' E, 1552 m a.s.l.
<i>H. ewersii</i> , <i>P. hybridus</i> CP 2	Almaty region, Zhambyl district, Kastek village, Kastek gorge, NE slope (western exposure)	43°07'515'' N, 75°57'352'' E, 1548 m a.s.l.
<i>H. ewersii</i> , <i>P. hybridus</i> CP 3	Almaty region, Zhambyl district, Kastek village, Kastek gorge, NE slope	43°01'070'' N, 75°94'721'' E, 1539 m a.s.l.

Notes: CP – coenopopulations; N – north, W – west; E – east; a.s.l. – above sea level.

### Research Methods

The primary methods employed to study the morphological and biological characteristics of *Hylotelephium ewersii* and *Phedimus hybridus* included examining their morphological traits, biological features, taxonomy, and floristics. Conventional geobotanical research methods include the study of coenopopulations of *H. ewersii*, *P. hybridus*, and their interactions with the environment. The comprehensive geobotanical description of these coenopopulations was conducted with locations recorded using GPS. The route-reconnaissance method: in the field, the method of walking along routes is used to locate and collect plants. This allows you to cover a large area and study the diversity of the species. The population studies were conducted using approaches adopted in modern plant population biology [45-48]. The collection and processing of herbarium material: collected specimens of the species *H. ewersii* and *P. hybridus* were placed in herbarium folders with a description of the place of collection, the date, and the collector. After the fieldwork, the material is dried and viewed under binocular magnifiers. The collection and processing of herbarium material were carried out according to the generally accepted method of A.K. Skvortsov [49]. The species identification and taxonomy were conducted in the laboratory after the fieldwork. For this purpose, multi-volume reports and reference books are used, such as *Flora of the USSR*, *Flora of Kazakhstan*, *Determinant of Plants of Central Asia*, *Illustrated*

*Determinant of Plants of Kazakhstan*, and others [50-53]. The specific and generic names of the species *H. ewersii* and *P. hybridus* on the studied ridge of the Ile Alatau are given according to the *Plants of the World Online* (POWO) database, as well as according to S.K. Cherepanov and S.A. Abdulina [54-56]. For the analysis of the life forms, the classifications of K. Raunkier and I.G. Serebryakov were used [57, 58]. During the field expedition studies, three coenopopulations of *H. ewersii* and *P. hybridus* species were found in the studied area of the Kastek Gorge. Morphological features of *H. ewersii* and *P. hybridus* have been studied on living plants and using herbarium material.

## Results and discussion

### Plant population identification

To determine the natural habitats of *Hylotelephium ewersii* and *Phedimus hybridus* in the Ile Alatau (Kastek Gorge), the expedition routes were plotted (Figure 2), flowering periods were established, and their ecological niches were identified. This included examining herbarium material from the main herbarium collection at the Institute of Botany and Phytointroduction and reviewing relevant floristic literature.

I made changes like adding commas for clarity and correcting “floristic literature” to the more standard phrasing “relevant floristic literature”. The spelling and grammar issues were minor overall.



**Figure 2** – Populations of *H. ewersii* and *P. hybridus* identified in the Kastek gorge (the western part of the Ile Alatau)

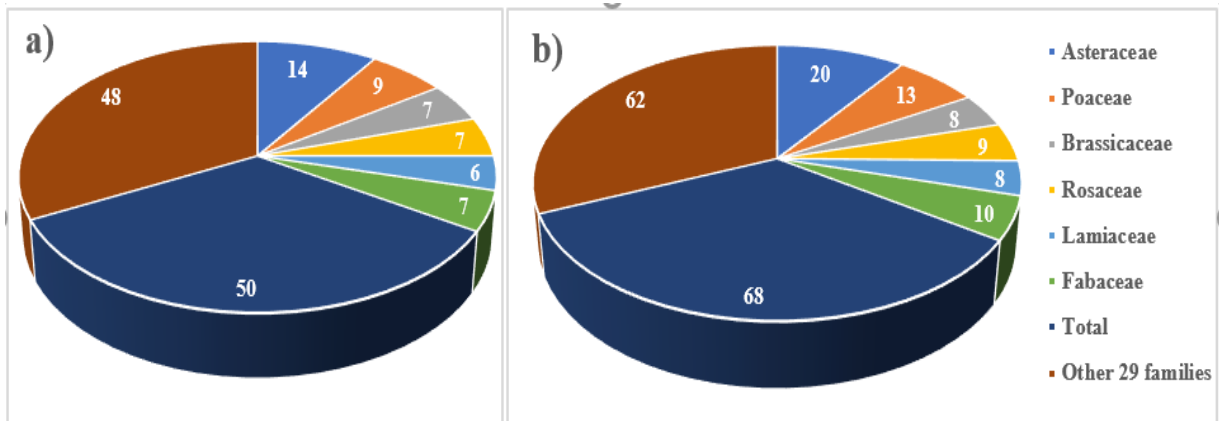
The study of the cenopopulations of *H. ewersii* and *P. hybridus* in the western part of the Ile Alatau (Kastek gorge) revealed that these species have broad ecological adaptability, allowing them to thrive in a variety of environmental conditions. However, their phytocenotic preferences are more specific, with the highest density of populations found in rocky, stony areas that offer favorable conditions such as good sunlight and moisture. The expedition recorded four large populations and 11 smaller ones of these species, distributed across

a range of ecological niches including rocky outcrops, stone ledges, and areas surrounded by trees and shrubs.

In terms of ecological distribution, both species primarily inhabit rocky and gravelly soils, and are often found in rock cracks within the middle forest belt of the Kastek Gorge. The plant communities where *H. ewersii* and *P. hybridus* occur are dominated by several key families, with the six largest families identified in the area being highlighted in the study.

This ecological analysis helps to better understand the distribution and environmental preferences of these species within the region, as well as their role in the local plant communities. It

also underscores the importance of specific environmental conditions—such as rock outcrops and good exposure to sunlight—for the thriving of these species.



**Figure 3** – Major flora families of *H. ewersii* and *P. hybridus* populations. a) at the Genus Level; b) at the Species Level

Figure 3 shows that the largest family is Asteraceae, containing 14 species, which makes up 15.4% of the total flora of the populations of *H. ewersii* and *P. hybridus*, found in the Kastek Gorge. Together with the families (Poaceae, Brassicaceae, Fabaceae, Lamiaceae, and Rosaceae), this already amounts to more than 68 species. The six largest families account for more than half (52.3%) of the total flora of the populations of *H. ewersii* and *P. hybridus* in the Kastek Gorge. The remaining 29 families contribute 62 species (47.7%).

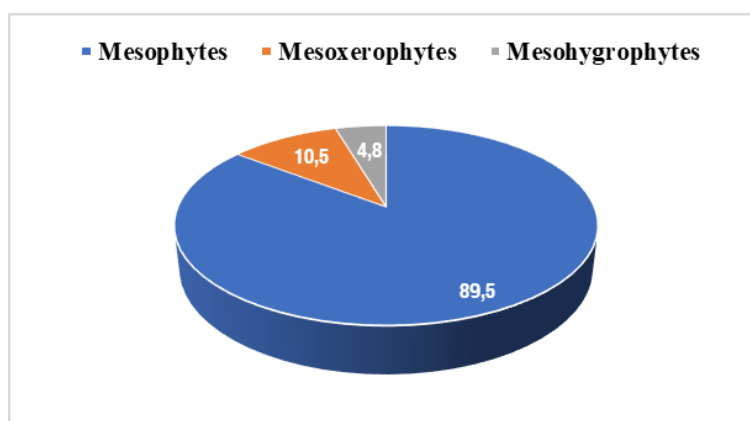
Consequently, the largest flora families of the *H. ewersii* and *P. hybridus* populations, found in the Kastek Gorge, contain 50 genera and 68 species. Their specific gravity in the flora is quite high and amounts to 52.3% of the total number of species (Figure 3). Such a composition of leading families, sharply distinguished by high species richness, is typical for the flora of the eastern part of the Ancient Mediterranean, but at the same time, it has a number of features due to both Ancient Mediterranean and boreal influences.

The flora of the studied population of *H. ewersii* and *P. hybridus* in the Kastek Gorge includes 130 species, associated with 98 genera and 35 families. The characteristic marker species are *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Dactylis glomerata* L., *Trifolium repens* L., *T. pratense* L., *Geranium transversale*

(Kar. & Kir.) Vved., *G. divaricatum* Ehrh., *Artemisia vulgaris* L., *Arctium lappa* L., *Melilotus officinalis* (L.) Lam., *M. albus* Medikus, *Berteroa incana*, *Poa pratensis* L., *Poa annua* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., and *Xanthium strumarium* L. The presence of weed species, such as *Urtica cannabina* L. and *Xanthium strumarium* L., indicates considerable anthropogenic pressure on the studied natural phytocenoses.

We have carried out work to identify the main ecological groups of the plants found in the populations of *H. ewersii* and *P. hybridus*, presented below (Figure 4).

Ecological and biological analyses confirm the mesophytic and mesophyt-xerophytic characteristics of the mountain flora in the meadow habitats of the populations of *H. ewersii* and *P. hybridus*. The main limiting factors for the authentic distribution of the species are high competition in phytocenoses, anthropogenic pressure, and strict environmental confinement. According to Serebryakov's classification of plant life forms, *H. ewersii* and *P. hybridus* belong to the perennial herbaceous plants with assimilating shoots of the succulent type. According to Raunkiaer's classification, *H. ewersii* and *P. hybridus* are chamephytes, with typical growing sites in the surveyed territory being rocky areas and rocks located on the northern exposures of mountain slopes.



**Figure 4** – The main ecological groups of plants found in population of *H. ewersii* and *P. hybridus*

Most of the coenopopulations of *H. ewersii* and *P. hybridus*, growing in the Kastek Gorge in the western part of the Ile Alatau, have incomplete age spectra. These spectra are characterized by the dominance of immature and virginal age groups due to the predominance of vegetative reproduction. As a result, some generative and senile plants are absent. In most coenopopulations of *H. ewersii* and *P. hybridus*, the immature age group dominates, comprising between 35% and 45% of the population.

When analyzing the results of field research, it was found that all coenopopulations of *H. ewersii* and *P. hybridus* do not differ significantly in flora composition and growing conditions. The systematic structure of the flora is determined by the ratio of families and genera, particularly those containing the greatest number of species. Typically, the lower and higher plants include more than half of the species in the distribution.

For the analysis of the flora of the *H. ewersii* and *P. hybridus* population (in the Kastek Gorge) based on life forms, we accept Serebryakov's and Raunkiaer's classifications. The floristic biodiversity of the *H. ewersii* and *P. hybridus* population (Kastek Gorge) is influenced by environmental conditions, primarily the climate and the heterogeneity of the territory. The analysis of life forms revealed that the predominant life form is herbaceous vegetation or hemicryptophytes (81.54%), while shrubs and subshrubs (chamephytes and microphanerophytes) make up 11.54% (Table 2).

The flora of the *H. ewersii* and *P. hybridus* population (the Kastek Gorge) is represented by a small group of therophytes – 4.61% and a group of geophytes – 2.31%. In general, for the flora of the *H. ewersii* and *P. hybridus* population (the Kastek

Gorge), it can be noted that there is a predominance of species typical of mountain meadows, shrubby-grass, and meadow-grass ecosystems. As noted above, the leading life forms in the studied area are herbaceous perennials and annual plants characterized by a wide ecological range. The least represented life forms are those of the shrubs, as they are associated with narrowly limited environmental conditions, and very few subshrubs and shrubs are confined to fairly humid areas. In general, the ratio of life forms in the flora of the *H. ewersii* and *P. hybridus* population (the Kastek Gorge) is an indicator of the climatic conditions of the region. At this moment, these indicators suggest a mesophytic and mesoxerophytic character.

**Table 2** – Spectrum of dominant life forms found in *H. ewersii* and *P. hybridus* populations.

Life forms	Species	%
Hemicryptophytes	106	81.54
Therophytes	6	4.61
Chamephytes	3	2.31
Microphanerophytes	12	9.23
Geophytes	3	2.31
Total	130	100

#### **Geographical elements of the population flora**

The geographical analysis revealed the varying share of participation of geographical elements in the composition of the *H. ewersii* and *P. hybridus* population (the Kastek Gorge), indicating the heterogeneity of the studied flora (Tab. 3). In

determining the nature of the area of the flora of the *H. ewersii* and *P. hybridus* species (the Kastek Gorge), the types of areas used by many authors in the study of the flora of Central Asia are taken as

a basis [59-63]. The geographical ties of the plant species of the *H. ewersii* and *P. hybridus* population with the flora of other regions are shown below (Tab. 3).

**Table 3** – Geographical connections of plant species found in the population of *H. ewersii* and *P. hybridus* with the flora of other regions.

Geographical element	Herbaceous plants		Tree, shrub, half-shrub	Total	%
	Herbaceous plants	Herbaceous plants			
Pluriregional	1	8	-	9	5.45
Holarctic	4	24	1	29	17.58
Palaearctic	3	12	3	18	10.91
Eastern Palaearctic	2	8	-	10	6.06
Euro-Ancient Mediterranean	1	8	-	9	5.45
Eastern Mediterranean	-	10	1	10	6.06
Eurasian	-	3	-	3	1.82
Mountain Central Asian	1	21	2	24	14.55
Mountain Central Asian-Iranian	1	11	-	12	7.27
Mountain Central Asian-Himalayan	-	4	1	5	3.03
Mountain Central Asian-Siberian	-	1	-	1	0.61
Altai-Mountain Central Asian	-	9	2	11	6.67
Tarbagatay-Mountain Central Asian	-	2	-	2	1.21
Tien Shan	2	6	4	12	7.27
Siberian-Tien Shan	-	1	-	1	0.61
Altay-Tien Shan	-	2	-	2	1.21
Tien Shan-Pamir-Alai	-	1	-	1	0.61
Northern Tien Shan	-	1	-	1	0.61
Zhongar Northern Tien Shan	1	3	-	4	2.42
Zhongar Tien Shan	-	1	-	1	0.61
Total	16	136	14	165	100

The geographical analysis has shown that the species that make up the flora of the *H. ewersii* and *P. hybridus* populations (the Kastek Gorge) are diverse: they range from widespread cosmopolitan or pluriregional species to narrowly (narrow locality) endemic species. In the study area, we have identified 20 types of habitats that were grouped into specific groups with similar habitats. The main ones are described below.

Pluriregional: The group comprises 9 species distributed across the regions of the Southern Hemispheres of the Earth – weed and ruderal species (e.g.,

*Capsella bursa-pastoris*, *Convolvulus arvensis*, *Che-nopodium album*).

Holarctic: This group includes species whose range extends mainly in the temperate and high-latitude regions of the Northern Hemisphere. In botanical-geographical terms, these are elements of the Holarctic floristic kingdom. The group includes 29 species. The Holarctic type includes species such as *Poa pratensis*, *Erigeron lonchophyllus*, and weed species like *Thlaspi arvensis*. Palaearctic: This group includes species common in Europe, as well as in the temperate and high lati-

tudes of Asia. Most of these are mesophilic species that inhabit humid areas, mainly meadow plants such as *Elytrigia repens*, and also weed species such as *Plantago major* and *Artemisia annua*. This group includes 18 species.

East Palearctic: This group includes species found in Kazakhstan, Siberia, the Far East, and Central Asia. The group has 10 species.

European-Ancient Mediterranean: This group includes species distributed mainly in arid regions, including Central Asia, the Sahara-Sindian, and Irano-Turanian subareas. There are 9 species (e.g., *Plantago lanceolata*, *Bromus scoparius*, *Achillea millefolium*).

Eastern-Ancient Mediterranean: This group includes species whose range extends from Palestine, Syria, and Southern Bulgaria to the Western Himalayas and the Tian Shan. There are 10 species in this group.

Mountain-Central Asian: This group includes species whose range extends from the Pamir-Alay to Tarbagatay. There are 24 species in total.

Mountain-Central Asia-Siberia: This group includes species distributed in the mountainous regions of Central Asia and Siberia, typically found on rocky, sometimes small-grained slopes, scree, and cliffs. There is 1 species in this group.

Altai-Mountain-Central Asia: This group includes species found in the mountainous regions of Central Asia and the Altai, primarily in the Mongolian Altai. The group includes 11 species.

Mountain-Central Asia-Himalayas: This group includes species found in the mountain systems of the Pamirs, Pamir-Alay, Tien Shan, Hindu Kush, and Himalayas. The species in this group are mostly ancient with a long history of development associated with archaic groups whose centers are located in the Himalayas. There are 5 species in total.

Mountain-Central Asia-Iranian: This group includes species whose range covers the Iranian Highlands, Pamir-Alay, Tien Shan, and sometimes the mountain systems of Tarbagatay. There are 12 species in this group.

Tien Shan-Pamir-Alay: This group includes species found in the Pamir-Alay and Tien Shan mountain systems, with some extending into Tarbagatay. There is 1 species in this group.

Tien Shan: The range of these species extends across the mountain systems of the Tien Shan, sometimes limited to the Altai area in the west, and in the north, to the Tarbagatay area. There are 12 species in total.

The analysis revealed a different distribution of geographical elements in the composition of the flora of the *H. ewersii* and *P. hybridus* populations (the Kastek Gorge), indicating the heterogeneity of the studied flora (Table 3).

### **Plants with economic or industrial importance**

Wild useful plants are used in their natural form and serve as raw materials for many industries, the national economy, and medicine. In this context, the issue arises not only of their rational use but also of increasing production to meet the ever-growing demand. To do this, it is necessary to study the beneficial properties of wild useful plants and identify all available resources.

The flora of the *H. ewersii* and *P. hybridus* populations (the Kastek Gorge) contains various medicinal, food, essential oil, tannic, melliferous, vitamin-bearing, dye, ornamental, poisonous, industrial, forage, and other useful plants (Table 4).

The flora of the Ile Alatau provides a natural reserve base for animal husbandry. Many recognized medicinal plants are found in the herb cover, such as *Origanum vulgare*, *Hypericum perforatum*, and others. The studied flora of the *H. ewersii* and *P. hybridus* populations in the Kastek Gorge presents significant opportunities for medicinal, alkaloid-bearing, essential oil, and melliferous plants. Beekeeping, which currently occupies a modest place in the economy of the studied area, has great potential for development due to favorable natural conditions. It has been shown that the flora of the *H. ewersii* and *P. hybridus* populations in the Kastek Gorge is diverse and rich in species that are economically valuable or promising. The wide variety of natural herbaceous and shrubby flora in the studied ridge contributes to the abundance of economically useful species. The plant resources and rich floral composition of the studied area, using the classifications of H. Ilyin [64] and V. Pavlov [65], allow us to identify 11 economically valuable plant groups (Table 4).

As seen in Table 4, the largest group is the group of forage plants (98 species). Currently, the system of cattle breeding in the Kastek Gorge is based on the year-round use of natural forage. In the group of forage plants, the leading families are Poaceae, Fabaceae, Cyperaceae, and Asteraceae, followed by smaller families. Fabaceae contains valuable forage herbs, including the following species: *Medicago falcata*, *Trifolium pratense*, *Vicia crassa*, *V. tenuifolia*, and many others. Among the various grasses, there are many species readily eaten by animals, such as *Ajania fastigiata*, *Geranium saxatile*, and others from Asteraceae (*Taraxacum officinale*), and more. Quantitatively, these groups are represented as follows: forage – 98 species (31.0%), melliferous – 89 species (28.2%), ornamental – 35 species (11.1%), medicinal – 27 species (8.5%), food – 12 species (3.8%), industrial (rubber plants, resin plants, gum trees, paper, braided, etc.) – 12 species



(3.8%), weed – 11 species (3.5%), essential oil – 10 species (3.2%), vitamin-bearing – 9 species (2.8%), dye – 8 species (2.5%), and poisonous – 5 species (1.6%). The Poaceae in the flora of *H. ewersii* and *P. hybridus* in the Kastek Gorge is represented by 8 genera and 10 species, almost all of which contribute to the creation of forage mass. However, a few genera and species play a significant role: *Elytrigia repens*, *Phleum phleoides*, *Dactylis glomerata*, and *Poa bulbosa*. These species, being edifiers and sub-edifiers of low-altitude meadows, play an important role in the composition of the herbage.

**Table 4** – Plant groups with economic and industrial importance within the *H. ewersii* and *P. hybridus* populations.

Plant group	Species	%
Forage	98	31.0
Melliferous	89	28.2
Ornamental	35	11.1
Medicinal	27	8.5
Food (edible)	12	3.8
Industrial	12	3.8
Weed	11	3.5
Essential oils	10	3.2
Vitamin-bearing	9	2.8
Dye	8	2.5
Poisonous	5	1.6
Total	316	

The main share of food and vitamin plants consists of representatives of the Rosaceae family, which are fruit and berry crops with a high content of various vitamins. The leading species is rosehip, which is of great importance as the oldest fruit variety, containing an unsurpassed natural multivitamin concentrate with high biological activity. The biochemical composition of *Rosa* varies both by species and within species, depending on growing conditions, with an integral part – the pulp of the fruit, which contains up to 20% of vitamin C by dry weight, along with a variety of other vitamins. Species from the genus *Paeonia* have high healing properties. In scientific medicine, the flowering herb and root of the peony are used for medicinal purposes. An alcohol tincture of peony is prescribed as a sedative for neurasthenic conditions, insomnia, vegetative-vascular disorders, neurocirculatory dystonia, and other gynecological problems. Additionally, peony is recommended for increasing appetite,

improving digestion, and for treating diseases of the gastrointestinal tract, such as gastritis, colitis, cholangitis, duodenitis, and cholecystitis.

The industrial group of plants includes tanning, dyeing, essential oil, rubber-bearing, saponin-bearing, and gutta-percha plants. These are found in various plant organs: flowers, leaves, conifers, seeds, and sometimes in roots and rhizomes. The pharmacological effects of essential oils are diverse and depend on the chemical compounds in their composition. Essential oils include species from the Apiaceae (e.g., *Daucus carota*, *Aegopodium alpestre*), Asteraceae (*Conyza canadensis*, *Achillea millefolium*, *Arctium tomentosum*, *Artemisia vulgaris*, *Artemisia absinthium*), and Lamiaceae (*Origanum vulgare*), among others. Many species of plants, growing in the western part of the Kastek Gorge, have high decorative properties, making them suitable for landscaping. Highly decorative species include *H. ewersii* and *P. hybridus*, which grow on rocky slopes and pebbles, taking root in cracks and forming thin, threadlike shoots. Other species with proven decorative properties include *Paeonia anomala*, *Iris ruthenica*, *Dracocephalum origanoides*, *Iris sogdiana*, *Iris alberti*, *Dracocephalum nutans*, *Eremurus fuscus*, *Alyssum dasycarpum*, *Alyssum campestre*, *Thalictrum petaloidium*, *Ligularia macrophylla*, *Veronica chamaedrys*, *Viola acutifolia*, *Viola altaica*, *Achillea millefolium*, *Achillea asiatica*, and others.

## Conclusion

Based on the above, the cenopopulations of *H. ewersii* and *P. hybridus* in the Kastek Gorge of the Ile Alatau can be found in various plant communities. *H. ewersii* and *P. hybridus* are characterized by a wide ecological amplitude and are mainly confined to rocky places with sufficient moisture and good illumination. It was found that the age spectrums of the coenopopulations of *H. ewersii* and *P. hybridus* are dominated by young and generative plants. The studied populations of *H. ewersii* and *P. hybridus* in the mountainous landscapes of the Kastek Gorge belong to the ecological group of mesophytes and mesoxerophytes. They are distributed mainly in the upper parts of low mountains, where they exhibit high adaptive abilities, indicating their special ecological plasticity. These species are hardy, characterized by high seed and vegetative reproduction rates, increased vitality due to the hydration of plant tissues (succulence), resistance to diseases, and the retention of their characteristic habit in culture. They are highly decorative and secure permanent and effective use in green architecture.

## References

1. Rubcov N.I. Goebotnicheskoe raionirovanie Severnogo Tyan Shanya. //Izvestiya AN Kaz.SSR. Seriya biologicheskaya. Alma Ata, – 1955. Vip. 10. S. 3-27. (In Russian)
2. Rachkovskaya, E. I., and I. N. Safronova. “The New Map of Botanical-Geographic Subdivision of Kazakhstan and Middle Asia within the Limits of the Desert Region.” Geobotanical Mapping, no. 1992, 1994, pp. 33–49. <https://doi.org/10.31111/geobotmap/1992.33>
3. Medeu A.P., Blagovechshenskiy V.P., Kasatkin N.E., Kapitsa V.P., Kasenov M.K., Raymbekova Z.T. Glacial debris flows in the Alatau over the past 120 years. Ice and Snow. 2020;60(2):213-224. <https://doi.org/10.31857/S2076673420020035>
4. Tasekeev M. C. i dr. SEMEISTVENNII SPEKTR FLORI SYUGATI\_BOGUTINSKOGO MASSIVA //Eurasian Journal of Ecology. – 2016. – T. 33. – №. 1. (In Russian)
5. Ohba H. (1977) The taxonomic status of *Sedum telephium* and its allied species (Crassulaceae) // Botanical Magazine of Tokyo. № 90. – pp. 41-56.
6. Britannica, T. Editors of Encyclopaedia. Crassulaceae. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/plant/Crassulaceae>. 2020
7. Berger, A. Crassulaceae. In Die Natürlichen Pflanzenfamilien, 2nd ed.; Engler, A., Prantl, K., Eds.; Engelmann: Leipzig, Germany, 1930; Volume 18, pp. 352–483.
8. ‘t Hart, H.; Bleij, B. *Sedum* (Crassulaceae). In Illustrated Handbook of Succulent Plants; Egli, U., Ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2005; pp. 235–332.
9. Baitenov M.S. Flora Kazakhstana (Rodovoy kompleks flory) [Flora of Kazakhstan (The Genera Complex of Flora)]. Almaty, 2001. T. 2. 279 s. (In Russian)
10. Goncharova S.B. K biologii vidov roda *Orostachys* (Crassulaceae) rossiyskogo Dal'nego Vostoka [On the Biology of Species of the Genus *Orostachys* (Crassulaceae) of the Russian Far East]. St. Petersburg, 1996. S. 98–99. (In Russian)
11. ‘t Hart, H. Evolution and classification of the European *Sedum* species (Crassulaceae). Flora Mediterr. 1991, 1, 31–61.
12. Shnyakina G.P. Krasnov V.A. 1974. Fokus na fitohimicheskom i mediko\_biolgicheskome izuchenii vidov *Sedum* L. Rastitelnie resursi. O fitohimicheskoi i mediko\_biolgicheskoi izuchennosti vidov *Sedum*. Rastitelnie resursi. 10: 130-139. (In Russian)
13. Putirskii I.N., Prohorov V.N. (2008). Lekarstvennie rasteniya. Knijnii dom, Minsk, Belarus. ISBN: 978-985-489-859-9. (In Russian)
14. Berezin V. E. i dr. Protivovirusnaya aktivnost preparatov iz rastenii semeistva Crassulaceae //Himiko-farmaceuticheskii jurnal. – 2002. – T. 36. – №. 10. – S. 29-30. (In Russian)
15. Biryulya N.M., Bogomolov K.V. Medonosnye, lechebnye, dekorativnye rasteniya estestvennoy flory Sibiri, Urala i evropeyskoy chasti Rossii: Spravochnoe izdanie: V 2 t. [Honey, Medicinal, Ornamental Plants of the Natural Flora of Siberia, the Urals, and the European Part of Russia: Reference Edition: In 2 Volumes]. Ryazan: GUP RO “Ryazanskaya oblastnaya tipografiya,” 2017. 352 s. (In Russian)
16. Kobylina, T.; Novikov, A.; Sadyrova, G.; Kyrbassova, E.; Nazarbekova, S.; Imanova, E.; Parmanbekova, M.; Tynybekov, B. The Volatile Compounds Composition of Different Parts of Wild Kazakhstan *Sedum ewersii* Ledeb. Separations 2024, 11, 208. <https://doi.org/10.3390/separations11070208>
17. Gras, A.; Parada, M.; Rigat, M.; Valles, J.; Garnatje, T. Folk medicinal plant mixtures: Establishing a protocol for further studies. J. Ethnopharmacol. 2018, 214, 244–273.
18. Loporatti, M.L.; Ivancheva, S. Preliminary comparative analysis of medicinal plants used in the traditional medicine of Bulgaria and Italy. J. Ethnopharmacol. 2003, 87, 123–142.
19. Cabahug, R.A.M.; Nam, S.Y.; Lim, K.B.; Jeon, J.K.; Hwang, Y.J. Propagation techniques for ornamental succulents. Flower Res. J. 2018, 26, 90–101.
20. Angeliev, V.; Cesmedziev, I. On the ornamental qualities and reproductive characteristics of some Bulgarian *Sedum* species. Nauc. Trudove Viss Sel. Stop. Inst. “V. Kolarov” Plovdiv. 1970, 19, 47–53.
21. Kamelin R.V. Florogeneticheskii analiz estestvennoy flory gornoy Sredney Azii [Florogenetic Analysis of the Natural Flora of Mountainous Central Asia]. Leningrad, 1973. 354 s. (In Russian)
22. Imanaliyeva M. et al. Ecological Monitoring of *G. olivieri* Griseb Populations, A Medicinal and Food Plant //ES Food & Agroforestry. – 2024. – T. 17. – C. 1245.
23. Flora SSSR. Tom 9. – S. 45-117. (In Russian)
24. Flora Kazakhstana. Tom 4. S. 352-358. (In Russian)
25. Goncharova S.B. Ochitkovie (Sedoideae, Crassulaceae) flori rossiyskogo Dal'nego Vostoka. Vladivostok: Dalnauka, 2006. – 223 s. (In Russian)
26. Fedorov A. A., Kirpichnikov M. E., Artyushenko Z. T. Atlas po opisatelnoi morfologii visshih rastenii: stebel' i koren'. – Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, 1962. (In Russian)
27. Silva N. C. C., Fernandes Júnior A. Biological properties of medicinal plants: a review of their antimicrobial activity // Journal of venomous animals and toxins including tropical diseases. – 2010. – T. 16. – C. 402-413.
28. Singh S., Yadav C. P. S., Noolvi M. N. Immunomodulatory activity of butanol fraction of *Gentiana olivieri* Griseb. on Balb/C mice //Asian Pacific journal of tropical biomedicine. – 2012. – T. 2. – №. 6. – C. 433-437.
29. Artyushenko Z. T. Atlas po opisatelnoi morfologii visshih rastenii. Semya. – 1990. (In Russian)
30. Byalt, V.V. Semeistvo Tolstyankovye (Crassulaceae ST.-HIL.) in Crimea. Turczaninowia 2020, 3, 158–184. (In Russian)
31. Praeger L. An account of the genus *Sedum* as found in cultivation // Plant Monogr. Repr. 1921. P. 1–314.

32. Ekor M. The growing use of herbal medicines: issues relating to adverse reactions and challenges in monitoring safety // *Frontiers in pharmacology*. – 2014. – T. 4. – C. 177.
33. Ohba H. The taxonomic status of *Sedum telephium* and its allied species (Crassulaceae) // *Bot. Mag. Shokubutsu-Gaku-Zasshi*. 1977. Vol. 90, № 1. P. 41–56.
34. Ohba H. Systematic problems of Asian sedoideae // *Evol. Syst. Crassulaceae*. Backhuys Publishers Leiden, 1995. P. 151–158.
35. T'Hart H., Egli U. Evolution and Systematics of the 'Crassulaceae'. Backhuys Publ., 1995.
36. T'Hart H. The evolution of the *Sedum* acre group (Crassulaceae) // *Boccone*. 1995. Vol. 5. P. 119–128.
37. Stevens J.F. et al. Flavonoid variation in eurasian *Sedum* and *Sempervivum* // *Phytochemistry*. 1996. Vol. 41, № 2. P. 503–512.
38. Kim J.H., Hart H.'T, Stevens J.F. Alkaloids of some Asian *Sedum* species // *Phytochemistry*. 1996. Vol. 41, № 5. P. 1319–1324.
39. Van Ham R.C.H.J., Hart H. Phylogenetic relationships in the Crassulaceae inferred from chloroplast DNA restriction-site variation // *Am. J. Bot.* 1998. Vol. 85, № 1. P. 123–134.
40. Zuraw B. The results of preliminary studies on flowering and nectar production in some representatives of the genus *Sedum* L. // *Pszczel. Zesz. Nauk*. 2000. Vol. 44, № 2.
41. Jalas J. Atlas Florae Europaeae notes // *Ann Bot Fenn*. 1999. Vol. 36. P. 9–10.
42. Heide O.M. Photoperiodic control of dormancy in *Sedum telephium* and some other herbaceous perennial plants // *Physiol. Plant*. 2001. Vol. 113, № 3. P. 332–337.
43. Odontuya G. et al. Anti-oxidative and Antibacterial Constituents from *Sedum hybridum* // *Nat. Prod. Sci. The Korean Society of Pharmacognosy*, 2011. Vol. 17, № 4. P. 279–284.
44. Odontuya G. Anti-oxidative, acetylcholinesterase and pancreatic lipase inhibitory activities of compounds from *Dasiphora fruticosa*, *Myricaria alopecuroides*, and *Sedum hybridum* // *Mong. J. Chem*. 2016. Vol. 17, № 43. P. 42–49.
45. Rabotnov T.A. Zhiznennyi tsikl mnogoletnikh travyanistykh rasteniy v lugovykh tsenozakh [The Life Cycle of Perennial Herbaceous Plants in Meadow Communities]. Trudy BIN im. V.L. Komarova. Seriya 3 Geobotanika. 1950. T. 6. S. 7–204. (In Russian)
46. Uranov A.A. Vozrastnoy spektr fitosenopulyatsiy kak funktsiya vremeni i energeticheskikh volnovykh protsessov [Age Spectrum of Phytocenopopulations as a Function of Time and Energy Wave Processes]. *Biologicheskie Nauki*. 1975. № 2. S. 7–34. (In Russian)
47. Zhivotovskiy L.A. Ontogeneticheskie sostoyaniya, effektivnaya plotnost' i klassifikatsiya populyatsiy rasteniy [Ontogenetic States, Effective Density, and Classification of Plant Populations]. *Ekologiya*. 2001. № 1. S. 3–7. (In Russian)
48. Prokop'ev A.S., Bytotova S.V. Struktura tsenopopulyatsiy vidov roda *Sedum* (Crassulaceae) v razlichnykh ekologo-tsenoticheskikh usloviyakh na yuge Sibiri [Structure of Populations of Species of the Genus *Sedum* (Crassulaceae) in Various Ecological and Cenotic Conditions in Southern Siberia]. *Rastitel'nye Resursy*. 2014. № 4. S. 415–430. (In Russian)
49. Skvortsov A.K. Gerbariy [Herbarium]. Moscow, 1977. 199 p. (In Russian)
50. Flora Kazakhstana, 1-9 tom. 1956–1966 gg. Almaty. Akademiya nauk KazSSR. gl. red. N. V. Pavlov. (In Russian)
51. Nurmahanova A. et al. Study of Morphogenesis and Anatomical Structure of *Arctium tomentosum* Mill. Native to Kazakhstan // *Journal of Ecological Engineering*. – 2024. – T. 25. – №. 8.
52. Bondarenko O.N. et al. Opredelitel' rasteniy Sredney Azii [Plant Identifier of Central Asia]. Tashkent: Fan, 1968. (In Russian)
53. Akademiya Nauk Kazakhskoy SSR, Institut Botaniki. Illyustrirovannyi opredelitel' rasteniy Kazakhstana [Illustrated Plant Identifier of Kazakhstan]. Alma-Ata: Nauka, 1969. T. 1–2. (In Russian)
54. <https://powo.science.kew.org/>
55. Cherepanov S.K. Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR) [Vascular Plants of Russia and Adjacent Countries (within the former USSR)]. St. Petersburg, 1995. 990 s. (In Russian)
56. Abdulina S.A. Sosudistye rasteniya Kazakhstana [Vascular Plants of Kazakhstan]. Almaty, 1998. 188 s. (In Russian)
57. Kobylina T. et al. The Volatile Compounds Composition of Different Parts of Wild Kazakhstan *Sedum ewersii* Ledeb // *Separations*. – 2024. – T. 11. – №. 7. – C. 208.
58. Serebryakov I.G. Ekologicheskaya morfologiya rasteniy [Ecological Morphology of Plants]. Moscow, 1962. 378 s. (In Russian)
59. Lavrenko E.M. Provintsial'noe razdelenie Tsentral'noaziatskoy i Irano-Turanskoy podoblastey Afro-Aziatskoy pustynnoy oblasti [Provincial Division of the Central Asian and Iranian-Turanian Subareas of the Afro-Asian Desert Region]. *Botanicheskiy Zhurnal*. 1965. T. 50, № 1. S. 3–15. (In Russian)
60. Takhtadzhyan A.L. Sistema magnoliofitov [System of Magnoliophytes]. Moscow, Leningrad, 1987. 439 s. (In Russian)
61. Tolmachev A.I. O nekotorykh kolichestvennykh otnosheniyakh vo florakh zemnogo shara [On Some Quantitative Relationships in the Floras of the World]. *Vestnik Leningradskogo Gosudarstvennogo Universiteta Seriya Biologicheskaya*. 1970. № 15. Seriya 3. (In Russian)
62. Goloskokov V.P. Flora Dzhungarskogo Alatau [Flora of the Dzhungar Alatau]. Alma-Ata, 1984. 221 s. (In Russian)
63. Baitenov M.S. Vysokogornaya flora Severnogo Tian-Shanya [High Mountain Flora of the Northern Tien Shan]. Alma-Ata, 1985. 207 s. (In Russian)
64. Ilyin M.M. Obshchie voprosy izucheniya syr'evykh rasteniy [General Issues of the Study of Raw Material Plants]. *Metodika polevogo issledovaniya syr'evykh rasteniy*. Moscow, Leningrad: Izdatel'stvo AN SSSR, 1948. S. 7–24. (In Russian)

65. Pavlov N.S. Dikie poleznye i tekhnicheskie rasteniya SSSR [Wild Useful and Technical Plants of the USSR]. Moscow, 1947. (In Russian)
66. Glukhov M.M. Medonosnye rasteniya [Honey Plants]. Moscow: Sel'khozgiz, 1955. 512 s. (In Russian)
67. Sobolev L.N. Kormovye resursy Kazakhstana [Forage Resources of Kazakhstan]. Moscow, 1960. 273 s. (In Russian)
68. Pavlov N.S. Rastitel'noe syr'e Kazakhstana [Plant Raw Materials of Kazakhstan]. Leningrad, 1974. 552 s. (In Russian)
69. Minkov S.G. Medonosnye rasteniya Kazakhstana [Honey Plants of Kazakhstan]. Alma-Ata, 1974. 203 s. (In Russian)

**Авторлар туралы мәлімет:**

*Кобылина Татьяна Николаевна* – биоәртүрлілік және биоресурстар кафедрасының әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің PhD докторанты, Генетика және физиология институтының ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, эл. пошта: [kobyлина.tatyana.n@mail.ru](mailto:kobyлина.tatyana.n@mail.ru))

*Тыныбеков Бекзат Мақұлбайұлы* (жауапты автор) – биоәртүрлілік және биоресурстар кафедрасының б.ғ.к, профессоры әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің (Алматы, Қазақстан, эл. пошта: [Bekzat.Tynybekov@kaznu.edu.kz](mailto:Bekzat.Tynybekov@kaznu.edu.kz))

*Мусина Марал Елубековна* (жауапты автор) – биоәртүрлілік және биоресурстар кафедрасының әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің PhD докторанты (Алматы, Қазақстан, эл. пошта: [maral.musina@mail.ru](mailto:maral.musina@mail.ru))

*Қойбасова Лаура Уланқызы* – Генетика және физиология институтының лимфа жүйесі физиологиясы зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, б.ғ.к (Алматы, Қазақстан, эл.пошта: [laura.koibasova74@mail.ru](mailto:laura.koibasova74@mail.ru))

*Бөрібай Эльмира* – Экология білім беру бағдарламасы Нархоз университетінің профессоры, б.ғ.к. (Алматы, Қазақстан, эл. пошта: [elmira.boribay@narхоз.kz](mailto:elmira.boribay@narхоз.kz))

*Курманбай Усен Кенжетайұлы* (автор) – Ж.Тәшиев атындағы университеті «Педагогикалық және жаратылыстану ғылымдары» факультеті «Химия және биология» кафедрасының аға оқытушысы, а.-ш.ғ.к. (Шымкент, Қазақстан, эл. пошта: [kurmanbay.usen@mail.ru](mailto:kurmanbay.usen@mail.ru))

*Умирбаева Зоя Чекебаевна* – Қазақ Ұлттық Қыздар Педагогикалық Университеті, Жаратылыстану институты, Биология кафедрасының аға оқытушысы, б.ғ.к. (Алматы, Қазақстан, эл.пошта: [Umirbaeva\\_zoya@mail.ru](mailto:Umirbaeva_zoya@mail.ru))

*Аширова Ж.Б.* – Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті биология және биотехнология факультеті Биофизика, биомедицина және нейрғылым кафедрасының доцент м.а., PhD (Алматы, Қазақстан, эл.пошта: [ashirova.zhadyra@kaznu.kz](mailto:ashirova.zhadyra@kaznu.kz))

**Information about authors:**

*Kobylyna Tatyana Nikolaevna* – PhD student at the Department of Biodiversity and Bioresources, al-Farabi Kazakh National University, Researcher at the Institute of Genetics and Physiology (Almaty, Kazakhstan, email: [kobylyna.tatyana.n@mail.ru](mailto:kobylyna.tatyana.n@mail.ru))

*Tynybekov Bekzat Makulbaevich* – PhD, Professor at the Department of Biodiversity and Bioresources, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, email: [Bekzat.Tynybekov@kaznu.edu.kz](mailto:Bekzat.Tynybekov@kaznu.edu.kz))

*Musina Maral Elubekovna* (corresponding author) – PhD student at the Department of Biodiversity and Bioresources, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, email: [maral.musina@mail.ru](mailto:maral.musina@mail.ru))

*Koibasova Laura Ulanovna* – PhD, leading researcher at the Laboratory of Physiology of the Lymphatic System, Institute of Genetics and Physiology, CS MSHE RK (Almaty, Kazakhstan, email: [laura.koibasova74@mail.ru](mailto:laura.koibasova74@mail.ru))

*Boribay Elmira* – PhD, Candidate of Biological Sciences, Professor Ecology Educational Program, Narxoz University (Almaty Kazakhstan, e-mail: [elmira.boribay@narхоз.kz](mailto:elmira.boribay@narхоз.kz))

*Kurmanbay Ussen Kenzhetayuly* – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer at the Department of Chemistry and Biology, Faculty of Pedagogical and Natural Sciences, Zh. Tashenev university (Shymkent, Kazakhstan email: [kurmanbay.usen@mail.ru](mailto:kurmanbay.usen@mail.ru))

*Umirbayeva Zoya Chekebaevna* – PhD, Senior lecture Department of biology, Institut of Natural Sciences, Kazakh National Women,s University (Almaty, Kazakhstan, email: [Umirbaeva\\_zoya@mail.ru](mailto:Umirbaeva_zoya@mail.ru))

*Ashirova Zh.B.* – PhD, Department of Department of biophysics, biomedicine and neuroscience faculty of biology and biotechnology of al-Farabi Kazakh National university (Almaty, Kazakhstan, email: [ashirova.zhadyra@kaznu.kz](mailto:ashirova.zhadyra@kaznu.kz))

Received September 21, 2024

Accepted December 26, 2024

V.N. Permitina<sup>1</sup> , S.Zh. Yerekeyeva<sup>1, 2\*</sup> ,  
G.T. Sitpayeva<sup>1</sup> , N.G. Gemejiyeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>RSE on PVC «Institute of Botany and Phytointroduction» of the Committee of Forestry and Wildlife of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup> Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: svetlana.yerekeyeva@gmail.com

## ASSESSMENT OF ECOLOGICAL SAFETY OF PLANT RAW MATERIALS OF CULTIVATED MEDICINAL PLANT SPECIES IN THE FOOTHILL ZONE OF ZAILIYSKY ALATAU

In the field of plant biodiversity conservation, the primary task is to create collections of living plants that ensure the preservation of the gene pool and serve as a scientific basis for conducting comprehensive experimental research. The ecological conditions of the cultivated medicinal plant plot of the Main Botanical Garden (Almaty), located in the steppe zone of the Zailiysky Alatau range within the North Tien Shan Mountain province, can indirectly influence the processes of organogenesis and the chemical composition of plants through the pollution of the atmosphere, soil, and water. One manifestation of anthropogenic impacts on plants is the presence of heavy metals in them, especially lead (Pb), cadmium (Cd), and mercury (Hg). Therefore, the issue of the ecological purity of medicinal plants is relevant, necessitating research to determine the content of heavy metals in the soil and plant raw materials. Soil and plant raw material samples were analyzed using generally accepted methods for chemical analysis of soils and plant raw materials. The article provides data on the morphogenetic properties of cultivated soils and plant raw materials of six cultivated medicinal plant species from the Lamiaceae family: *Betonica betoniciflora*, *Leonurus turkestanicus*, *Salvia deserta*, *Mentha longifolia*, *Thymus marschallianus*, *Ziziphora clinopodioides* regarding the content of toxic (Pb, Cd) and mineral (Zn, Cu) elements. It was found that the concentrations of heavy metals (Cd, Pb, Zn, Cu) in the soils of the plot are within the maximum permissible concentrations (MPC), and in the studied samples of plant raw materials do not exceed the MPC for food plants and plant-based biologically active supplements

**Key words:** Zailiysky Alatau, medicinal plants, morphogenetic properties of soils, heavy metals, ecological safety.

В.Н. Пермитина<sup>1</sup> , С.Ж. Ерекеева<sup>1, 2\*</sup> , Г.Т. Ситпаева<sup>1</sup> , Н.Г. Гемеджиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ҚР ЭТРМ ОШЖДК «Ботаника және фитоинтродукция институты» ШЖК РМК, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup> Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан

\*e-mail: svetlana.yerekeyeva@gmail.com

### Іле Алатауының тау бөктері аймағындағы дәрілік өсімдіктердің өсірілетін түрлерінің өсімдік шикізатының экологиялық қауіпсіздігін бағалау

Өсімдіктердің биологиялық әралуандылығын сақтау саласында генофондтың сақталуын қамтамасыз ететін және кешенді эксперименттік зерттеулер жүргізу үшін ғылыми негіз болатын тірі өсімдіктердің коллекцияларын құру бірінші кезектегі міндет болып табылады. Солтүстік Тянь-Шань таулы провинциясы, Іле Алатауы жотасының дала аймағында орналасқан Бас ботаникалық бақтың (Алматы қ.) өсірілетін дәрілік өсімдіктер учаскесінің экологиялық жағдайлары атмосфераның, топырақтың және судың ластануы арқылы жанама түрде өсімдіктердің органогенез процестері мен химиялық құрамына әсер етуі мүмкін. Өсімдіктердің құрамында ауыр металдардың, әсіресе қорғасынның (Pb), кадмийдің (Cd) және сынаптың (Hg) болуы, антропогендік әсердің көрінісі айқын байқалады. Осыған байланысты дәрілік өсімдіктердің экологиялық тазалығы проблемасы өзекті, ол өсімдік шикізатындағы және топырақтағы ауыр металдардың мөлшерін анықтау үшін зерттеулер жүргізуді қажет етті. Топырақ сынамалары мен өсімдік шикізатын талдау, топырақ және өсімдік шикізатын химиялық талдау бойынша жалпы қабылданған әдістерге сәйкес жүргізілді. Мақалада учаскенің мәдени топырағының морфогенетикалық қасиеттері және *Lamiaceae* тұқымдасы дәрілік өсімдіктерінің өсірілетін 6 түрінің: *Betonica betoniciflora*, *Leonurus turkestanicus*, *Salvia deserta*, *Mentha longifolia*, *Thymus*

дік шикізатының уытты (Pb, Cd) және минералды (Zn, Cu) элементтер құрамы бойынша талдау нәтижесінің деректері келтірілген. Участке топырағындағы ауыр металдардың (Cd, Pb, Zn, Cu) концентрациясы ШРК шегінде, ал зерттелген өсімдік шикізаты сынамаларында тағамдық өсімдіктер мен өсімдік негізіндегі биологиялық белсенді қоспалар үшін ШРК-дан аспайтындығы анықталды

**Түйін сөздер:** Іле Алатау, дәрілік өсімдіктер, топырақтың морфогенетикалық қасиеттері, ауыр металдар, экологиялық қауіпсіздік

В.Н. Пермитина<sup>1</sup>, С.Ж. Ерекеева<sup>1,2\*</sup>, Г.Т. Ситпаева<sup>1</sup>, Н.Г. Гемеджиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>РГП на ПХВ «Институт ботаники и фитоинтродукции» КЛХЖМ МЭПР РК, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, Казахстан

\*e-mail: svetlana.yerekeyeva@gmail.com

### Оценка экологической безопасности растительного сырья культивируемых видов лекарственных растений в предгорной зоне Заилийского Алатау

В области сохранения биоразнообразия растений первоочередной задачей является создание коллекций живых растений, обеспечивающих сохранение генофонда и служащих научной базой для проведения комплексных экспериментальных исследований. Экологические условия участка культивируемых лекарственных растений Главного ботанического сада (г. Алматы), расположенного в степной зоне хребта Заилийский Алатау в пределах Северо-Тяньшанской горной провинции, опосредованно через загрязнение атмосферы, почвы и воды могут оказывать влияние на процессы органогенеза и химический состав растений. Одним из проявлений антропогенных воздействий на растения является присутствие в них тяжелых металлов, особенно свинца (Pb), кадмия (Cd) и ртути (Hg). В связи с этим проблема экологической чистоты лекарственных растений актуальна, что послужило необходимостью проведения исследований по определению содержания тяжелых металлов в почве и растительном сырье. Анализ почвенных проб и растительного сырья проводился по общепринятым методикам по химическому анализу почв и растительного сырья. В статье приведены данные морфогенетических свойств окультуренных почв участка и растительного сырья 6 культивируемых видов лекарственных растений из семейства Lamiaceae: *Betonica betoniciflora*, *Leonurus turkestanicus*, *Salvia deserta*, *Mentha longifolia*, *Thymus marschallianus*, *Ziziphora clinopodioides* на содержание токсических (Pb, Cd) и минеральных (Zn, Cu) элементов. Установлено, что концентрации тяжелых металлов (Cd, Pb, Zn, Cu) в почвах участка находятся в пределах ПДК, а в изученных пробах растительного сырья не превышают ПДК для пищевых растений и биологически активных добавок на растительной основе

**Ключевые слова:** Заилийский Алатау, лекарственные растения, морфогенетические свойства почв, тяжелые металлы, экологическая безопасность.

## Introduction

One of the long-term objectives of the Global Strategy for Plant Conservation, as defined by Decision X/17 of the 19th Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, is to "... conserve at least 75% of threatened plant species in *ex-situ* collections, preferably in the country of origin, and ensure the availability of at least 20% for recovery and restoration programs" [1].

In the field of conservation, particularly of medicinal, ornamental, and other beneficial plants, the primary task is to create collections of living plants that ensure the preservation of the gene pool and serve as a scientific basis for conducting comprehensive experimental research. The main activity of botanical gardens, tasked with the mission of *ex-situ* plant conservation, is associated with the mobilization and preservation of plant genetic resources [2–5].

The deterioration of the environment and climate change are universally and significantly transforming the productivity of Kazakhstan's plant cover, both natural and introduced flora. In this regard, research on the cultivation of economically valuable plants from natural habitats with predetermined valuable qualities, determining their ecological plasticity and ability for self-renewal in new growing conditions, is relevant. Such research has comprehensive significance for addressing theoretical questions of biomorphology, ecology, evolution, and plant introduction, and ultimately for ensuring the country's food and environmental security [6–9].

**Purpose of Research:** assessment of ecological safety of plant raw materials of medicinal plant species growing in urbanogenic conditions of the Main Botanical Garden (MBG, Almaty) in the foothill zone of the Zailiysky Alatau.

## Materials and methods

The research objects were six plant species from the Lamiaceae family, cultivated in the medicinal plant plot of the MBG: *Betonica betoniciflora* (O. Fedtsch. & B. Fedtsch.) Sennikov, *Leonurus turkestanicus* V.I. Krecz. & Kuprian., *Salvia deserta* Schangin, *Mentha longifolia* (L.) L., *Thymus marschallianus* Willd., *Ziziphora clinopodioides* Lam. [10].

The research material included plant raw materials of the cultivated medicinal plant species and samples of the dark chestnut foothill soils of the medicinal plant plot of the MBG, located in the steppe zone of the Zailiysky Alatau range, subzone of the dark chestnut foothill soils (at an altitude of 750–850 (900) meters above sea level) within the North Tien Shan Mountain province [11].

The ecological conditions of the medicinal plant plot, indirectly through the pollution of the atmosphere, soil, and water, can influence the processes of organogenesis and the chemical composition of plants. One manifestation of anthropogenic impacts on plants is the presence of heavy metals in them, especially lead (Pb), cadmium (Cd), and mercury (Hg). In environmentally unfavorable areas (urban environments), plants accumulate toxic trace elements. Therefore, the issue of the ecological purity of medicinal plants is relevant, necessitating research on the content of heavy metals in them.

Soil research was conducted to determine the taxonomic affiliation of the soils in the plot, identify patterns of their formation under the conditions of medicinal plant cultivation, and assess the current state of the soil cover. Studies of edaphic conditions determine the relationship between the level of pollution or its absence in the soil-plant system.

Plant raw material samples for chemical analysis were collected during the flowering or early flowering phase of the plants. There were no external signs of environmental pollution effects on the plants (such as changes in color, size, or shape of vegetative organs). Chemical analysis of plant raw material samples was conducted for heavy metal content (Cd, Pb, Zn, Cu).

The fieldwork methodology included laying out soil profiles with morphological descriptions of the profile, sampling soil for chemical-analytical research. The depth of the soil profiles was determined by the depth of the parent rocks [12]. The soil profile description included: the sampling point number; the position of the profile relative to macro-, meso-, and micro-relief; description of the plant community; soil surface characteristics; description of

genetic horizons. Genetic horizons were identified and described based on the following morphological indicators: horizon thickness; color and nature of the coloration; moisture; structure; composition; porosity; granulometric composition; neoplasms; inclusions; root system development. Taxonomic determination of soil type, subtype, and variety was performed according to the accepted classification [13, 14].

The main diagnostic features of the soils were determined by the following indicators: humus content, total nitrogen, mobile forms of nitrogen, phosphorus, and potassium, soil solution reaction (pH), absorption capacity (sum of absorbed bases), water-soluble salt content, granulometric composition, content of mobile forms of heavy metals. Soil samples were taken from genetic horizons characterizing the soil profile to determine the main physicochemical indicators of the soils and taxonomic determination of the type. To sample for heavy metal content (Cu, Cd, Pb, Zn), the envelope method was used at depths of 0–5 and 5–20 cm [15, 16] to identify the degree of possible contamination. Soil sample analysis was conducted using standard methodologies in a chemical-analytical laboratory. The assessment of analysis results was performed according to the methodology for chemical analysis of soils [17, 18].

## Results and discussion

The Main Botanical Garden (MBG) in Almaty represents a complex of artificially created ecosystems, where to some extent, the negative impact of the urban environment is mitigated, and a high level of biodiversity is formed. The combination of a conservation regime and prolonged anthropogenic impact has led to the formation of dark chestnut cultivated soils with a set of characteristics and properties that differ from their natural counterparts [19–21].


The long-term cultivation of medicinal plants involves the use of agricultural techniques: planning the plot area, plowing, organizing planting sites, applying organic fertilizers, and a care system that includes loosening, weeding, irrigation, and more. The use of agricultural practices in creating medicinal plant plantations has led to the transformation of the soil profile. A characteristic feature of the identified soils is the alteration of the composition and structure of the upper part of the profile, due to the formation of planting beds with protective ridges, the extended humus horizon, and deep leaching from carbonates as a result of irrigation. With the

prolonged use of agricultural techniques and medicinal plant cultivation, natural soils have acquired characteristics and properties that signify changes in the composition and structure of the morphological profile, physicochemical properties, determining their classification position. According to morphogenetic indicators, the soils of the medicinal plant plot are classified as normal cultivated dark chestnut foothill soils [15, 22].

The morphological characteristics of the foothill dark chestnut cultivated soils in the medicinal plant plot are presented in the description of the soil profile (Table 1), which was established on August 27, 2022, in the area with cultivated medicinal plant species.

The humus content in the upper arable horizon is low, ranging from 3.21% to 3.77%, gradually decreasing with depth to 1.68% to 2.44% (Table 2).

**Table 1** – Morphological description of soils

Soil Profile	Horizon Thickness, cm	Morphological Characteristics
	0–4	Grayish-brown, moist, loose, weakly cloddy, medium loamy with plant roots
	4–14	Brownish-brown, moist, compacted, weakly cloddy-bouldery, medium loamy with plant roots
	14–30	Brownish-brown, dark, moist, compacted, cloddy-bouldery, medium loamy with small yellowish spots of the rock, rare plant roots
	30–50	Brownish-brown, yellowish with yellow clay spots, moist, compacted, bouldery with small gravel inclusions
	50–60	Yellowish-brown, wet, dense, bouldery, light loamy

**Table 2** – Chemical properties of soils

Sample Depth, cm	Humus, %	Total Nitrogen, %	CO <sub>2</sub> , %	pH	Absorbed Bases, mg-eq/100 g soil				
					Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Σ
0–4	3.21	0.169	0.34	7.6	13.60	3.20	0.50	0.28	17.58
4–14	3.77	0.186	0.34	7.5	14.40	3.20	0.52	0.11	18.23
30–40	2.44	0.125	0.37	7.5	13.60	3.20	0.65	0.10	17.55
50–60	1.68	0.084	1.09	8.4	15.20	1.60	0.57	0.13	17.50

The total nitrogen content varies within the range of 0.084% to 0.186%. The carbon to nitrogen ratio is wide at C:N=11–11.8, which characterizes low nitrogen availability in humus. The soils are leached of carbonates down to a depth of 60 cm, with a carbonate content not exceeding 0.34% to 1.09%, which is characteristic of foothill soils developing under conditions of periodic irrigation. The soil solution reaction is slightly alkaline (pH = 7.5–7.6) in the upper part of the

profile, and alkaline (pH = 8.4) in the lower part. The sum of absorbed bases is low, ranging from 17.5 to 18.2 mg-eq per 100 g of soil, with uniform distribution of values by depth. The absorbed bases are predominantly calcium cation (77–87% of the total absorbed bases) with a minor contribution from magnesium cation (9–18% of the total). The availability of nitrogen in easily hydrolyzable compounds (2.6–3.5 mg/100 g) is very low to low (Table 3).



**Table 3** – Provision of soils with mobile forms of nitrogen, phosphorus and potassium

Sample Depth, cm	Mobile forms, mg/100 g soil		
	Nitrogen	Phosphorus	Potassium
0–4	3.50	2.00	20.64
4–14	3.80	2.13	28.80
30–40	3.20	1.33	15.36
50–60	2.60	0.80	12.00

The availability of mobile forms of phosphorus (8.0–21.3 mg/100 g) is average in the upper and middle parts of the profile and very low in the transition horizon to the parent rock. The availability of

mobile forms of potassium (12.0–28.8 mg/100 g) is high to average. The described soils are not saline with easily soluble salts, with the total salt content not exceeding 0.034–0.046% (Table 4).

**Table 4** – Content of water-soluble salts in soils (% / mg-eq)

Sample Depth, cm	The total salt content, %	Alkalinity		Cl <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>						
0–4	0.034	<u>0.015</u> 0.24	<u>0.000</u> 0.00	<u>0.005</u> 0.15	<u>0.004</u> 0.08	<u>0.006</u> 0.30	<u>0.001</u> 0.10	<u>0.002</u> 0.07	<u>0.001</u> 0.03
4–14	0.037	<u>0.017</u> 0.28	<u>0.000</u> 0.00	<u>0.005</u> 0.15	<u>0.005</u> 0.10	<u>0.006</u> 0.30	<u>0.001</u> 0.10	<u>0.001</u> 0.05	<u>0.002</u> 0.05
30–40	0.039	<u>0.015</u> 0.24	<u>0.000</u> 0.00	<u>0.005</u> 0.15	<u>0.008</u> 0.16	<u>0.006</u> 0.30	<u>0.001</u> 0.10	<u>0.003</u> 0.11	<u>0.001</u> 0.02
50–60	0.046	<u>0.020</u> 0.32	<u>0.000</u> 0.00	<u>0.005</u> 0.15	<u>0.009</u> 0.18	<u>0.007</u> 0.35	<u>0.002</u> 0.15	<u>0.002</u> 0.10	<u>0.001</u> 0.02

The granulometric composition of soils is medium loamy with predominance of coarse dust (27.98%) and fine sand (20.48 %) fractions (Table 5). The presence of stony fraction in the upper

horizons is observed in the amount of 2.91-2.97 %, which decreases with depth to 1.58-1.69 %. The distribution of silty-dusty fractions shows a maximum of their content in the upper part of the profile.

**Table 5** – Granulometric composition of soils

Sample Depth, cm	Fractional content, %, fraction sizes in millimeters on absolutely dry soil								
	Stones	Gravel	Sand		Dust			Mud	<0.01
	□3	3–1	1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001	
0–4	2.91	0.09	17.47	20.48	27.98	8.77	12.38	12.92	34.07
4–14	2.97	1.99	16.10	21.47	28.31	8.27	11.22	14.63	34.12
30–40	1.69	0.00	18.66	21.38	27.93	7.90	11.60	12.53	32.03
50–60	1.58	0.00	11.25	22.84	38.89	7.28	10.56	9.18	27.02

One of the most important groups of toxicants that pollute the soil are heavy metals. These include metals with a density greater than 8,000 kg/m<sup>3</sup> (excluding noble and rare metals): Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Hg, Co, Sb, Sn, Be. Almost all heavy metals are toxic. The anthropogenic dispersion of this group of pollutants (including in the form of salts) in the biosphere leads to poisoning or the threat of poisoning living organisms. In our research, we analyzed cadmium (Cd), lead (Pb), zinc (Zn), and copper (Cu).

**Cadmium (Cd):** The content of this element in soils, in the absence of anthropogenic influence, is determined by the composition of the parent rocks [23, 24]. In the soil solution, it forms complex ions and organic chelates. The mobility of cadmium in soils depends on the reaction environment and the redox potential. Cadmium is more mobile in acidic environments and is more available to plants. Soil contamination with cadmium is one of the most dangerous ecological phenomena due to the potential for its accumulation in plants above normal levels even at low soil concentrations.

**Lead (Pb):** A priority toxicant element, soluble lead compounds are poisonous. The Clarke value of Pb in the Earth's crust is 16.0 mg/kg [25]. Compared to other heavy metals, it is the least mobile, with its mobility decreasing in alkaline soil solution (pH). Mobile Pb is present as complexes with organic matter (60–80% of mobile Pb) [26]. The natural content of lead in soils is determined by the mineralogical and chemical composition of the parent rocks [27]. In urban areas, soil contamination with lead is associated with vehicle exhaust and industrial emissions.

**Zinc (Zn):** Important factors affecting the mobility of Zn in soils include the content of clay minerals and the pH level. As pH increases, Zn forms organic complexes and binds with the soil. With organic matter, Zn forms stable compounds, resulting in its accumulation in soil horizons with high humus content. Elevated zinc levels in soils can be due to natural geochemical anomalies and technogenic pollution. In garden soils, zinc can accumulate to 250 mg/kg or more [27].

**Copper (Cu)** is a relatively inactive metal chemically and a weakly migratory element. The amount of mobile copper depends on the chemical and mineralogical composition of the parent rock, soil solution pH, and organic matter content [25, 28]. Most of the copper in the soil is bound with iron oxides, manganese, iron and aluminum hydroxides, montmorillonite, and vermiculite. Humic and fulvic acids form stable complexes with copper. At pH 7–8, the solubility of copper is minimal. The main signs of copper deficiency in plants are the slowing and cessation of reproductive organ formation. Soil contamination with mobile forms of heavy metals was not detected. Exceeding the maximum permissible concentrations (MPC) for copper, cadmium, lead, and zinc was not observed (Table 6).

Data on the content of mobile forms of heavy metals in soils, along with agrochemical indicators, provide an understanding of the ecological state of the soil cover in the studied area.

According to the results of soil research on heavy metal contamination (Cu, Cd, Pb, Zn), exceeding the MPC [29] for these indicators was not identified (Table 6).

**Table 6** – Content of mobile forms of heavy metals in soils of the plot, mg/kg

No.	Depth, cm	Cu	Cd	Pb	Zn
L-02	0–5	0.20	0.06	0.00	2.46
	5–20	0.16	0.08	0.08	1.44
MPC		3	1	6	23

As a result of the research, it was found that the foothill dark chestnut cultivated soils of the medicinal plant plot are characterized by an extended humus horizon. This is due to the processes of humus leaching into the lower horizons of the soil profile under the influence of the periodic irrigation system and deep leaching of carbonates. The differentiation into genetic horizons is unclear, the structure is loose, and the composition of the upper

horizons is loose. The humus content is low to very low (1.68–3.77%) with low nitrogen availability in the humus. The absorption capacity (by the sum of absorbed bases) is low, indicating a low sorption capacity with a low content of exchangeable cations that contribute to structure formation. The soils are leached of carbonates, not solonetzic, and do not contain easily soluble salts. They are medium loamy in granulometric composition.

The analysis of results on the content of nutrition elements (NPK) in soils of the site showed low and very low provision of soils with nitrogen of easily hydrolyzable compounds (2.6–3.5 mg/100 g); average and very low provision with mobile forms of phosphorus (8.0–21.3 mg/100 g); increased and average provision with exchangeable potassium (12.0–28.8 mg/100 g). No exceeding of the maximum permissible concentrations (MPC) of heavy metals in the plot soils was found.

The chemical composition of plants is formed under the simultaneous influence of various factors, which can be combined into two groups: internal, determined by plant physiology, and external, reflecting the influence of the surrounding abiotic and biotic environment. The biogenic migration of microelements is characterized by their involvement in the small biological cycle of substances (into organisms and their transformation products), during which differentiation and selective absorption of microelements occur. Zinc, copper, and cadmium, which are elements of weak accumulation and medium capture, are absorbed to the greatest extent, while lead is element of weak accumulation and very weak capture [30]. Biological absorption of microelements varies for different plant species growing under identical edaphic conditions.

The accumulation of various toxicants in parts of plants used as medicinal raw materials is due to the impact of technogenic pollution. The soil-ecological conditions of plant growth significantly influence the variability of the chemical composition of plants. A relationship has been established between the content of certain chemical elements in the soil and the production of specific groups of biologically active substances by plants [31, 32].

The chemical composition of plants is significantly determined by the physicochemical properties of soils (pH, granulometric composition, organic matter content, etc.), which influence the

availability of microelements to plants, the biological characteristics of plant species, the intensity of anthropogenic load, and the physiological role of heavy metals [33]. The absence of natural accumulation limits of microelements in plants is the main prerequisite for conducting relevant research. Currently, when assessing the contamination of medicinal plant raw materials with heavy metals, the permissible levels adopted for tea, vegetables and fruits, and plant-based dietary supplements are used as indicative criteria for ecological purity [34–36].

**Cadmium (Cd):** an element of high toxicity. Cadmium ions are highly mobile in soils, easily translocate into plants, and enter the bodies of animals and humans through food chains. Cadmium salts possess mutagenic and carcinogenic properties and represent a potential genetic hazard. In human and animal nutrition, cadmium is a cumulative poison. The normal content of cadmium in plants is 0.05–0.2 mg/kg of air-dry mass, with a presumed maximum of 3 mg/kg [24]. The permissible level is 1.0 mg/kg [35].

The minimum content of the element was found in *Menta longifolia* plants, and the maximum in *Betonica betoniciflora* and *Salvia deserta* plants.

**Lead (Pb):** Under natural conditions, lead is present in all plants, but its role in metabolism has not been identified. Lead is one of the main components of chemical environmental pollution and is toxic to plants. Lead enters plants through two pathways: absorption by roots and leaves. Normal lead concentrations in plants are considered to be 0.1–5 mg/kg of air-dry mass, with a presumed maximum of 10 mg/kg [24]. The permissible lead concentration level is 6.0 mg/kg for plant-based dietary supplements [35].

The minimum content of the element was found in *Menta longifolia* plants, максимальное – в растениях *Ziziphora clinopodioides*, *Betonica betoniciflora* and *Salvia deserta* plants (Table 7).

**Table 7** – Standardization of microelements content in plants, mg/kg dry matter according to V.B. Ilyin [24]

Element	Cd	Pb	Zn	Cu
Content				
Deficient	–	–	<20	<5
Normal	0-0.5	2–14	25–250	6–15
Toxic	>100	–	>400	>20
Average in the vegetation of continents [37]	0.035	1.25	30	8.0

**Zinc (Zn):** The primary functions of zinc in plants are associated with the metabolism of carbohydrates, proteins, and phosphates, the formation of auxin, DNA and ribosomes. The content in plants varies between 15–150 mg/kg dry matter. In industrial areas, zinc levels in plants can exceed background levels. The presumed maximum zinc content in plants is 300 mg/kg air-dry mass [24]. Plants that produce carbohydrates selectively absorb Zn. Zinc has weak phytotoxicity, which manifests with a significant increase in its soil content. Signs of zinc toxicity in plants appear when its content in tissues reaches 300–500 mg/kg dry matter [28].

The minimum content of the element was found in *Betonica betoniciflora* и *Salvia deserta* plants, while the maximum was found in *Menta longifolia* and *Leonurus turkestanicus* plants (Table 7).

**Copper (Cu):** In plants, copper is involved in photosynthesis, respiration, nitrogen reduction, and fixation processes. Copper is a component of oxidase enzymes such as cytochrome oxidase, ceruloplasmin, superoxide dismutase, urate oxidase, and others, and participates in biochemical processes as part of enzymes that catalyze substrate oxidation reactions with molecular oxygen. Plants that produce alkaloids selectively absorb Cu. The normal content of copper in plants is 3–40 mg/kg air-dry mass, with a presumed maximum of 150 mg/kg. Copper content in vegetation rarely exceeds 10 mg/kg [28].

The minimum content of the element was found in *Betonica betoniciflora* and *Salvia deserta* plants, while the maximum was found in *Menta longifolia* plants (Table 7).

The content of cadmium (Cd) and lead (Pb) in all plant raw material samples is not deficient, is considered normal, is not toxic, and is within average values for continental vegetation, not exceeding the maximum permissible concentrations (MPC) for dietary supplements and tea (Table 7).

The content of zinc (Zn) in plant raw material samples (*Betonica betoniciflora*, *Salvia deserta*) is slightly deficient, below normal, non-toxic, and below average values for continental vegetation. In plant raw material samples from *Leonurus turkestanicus*, *Menta longifolia*, *Thymus marschallianus*, *Ziziphora clinopodioides*, zinc content is not deficient, considered normal, non-toxic, and above average values for continental vegetation (Table 7).

The copper (Cu) content in all plant raw material samples is not deficient, is considered normal, is not toxic, and is within average values for continental vegetation, not exceeding the maximum permissible concentrations (MPC) for tea (Table 7).

No exceedance of the maximum permissible concentrations in plant raw materials was found (Table 8). Changes in the chemical composition of plants begin to occur with a tenfold increase in the total amount of heavy metals compared to the background content.

**Table 8** – Heavy metal content in plants, mg/kg dry matter

Name of plant	Element			
	Cd	Pb	Zn	Cu
<i>Betonica betoniciflora</i> (O. Fedtsch. & B. Fedtsch.) Sennikov	0.0729	0.5017	2.1068	17.1223
<i>Leonurus turkestanicus</i> V.I. Krecz. & Kuprian.	0.0374	0.4578	2.1682	38.6319
<i>Mentha longifolia</i> (L.) L.	0.0108	0.2467	2.5611	49.2217
<i>Salvia deserta</i> Schangin.	0.0729	0.5017	2.1068	17.1223
<i>Thymus marschallianus</i> Willd.	0.0422	0.4038	2.3072	34.0608
<i>Ziziphora clinopodioides</i> Lam.	0.0623	1.0567	2.1326	32.0269
MPC for dietary supplements	1.0	6.0	–	–
MPC for tea	1.0	10.0	–	100.0

## Conclusion

The first assessment of ecological safety of plant raw materials of six cultivated species of medicinal plants of *Lamiaceae* family on the content of toxic (Pb, Cd) and mineral (Zn, Cu) elements, as well

as the results of soil analysis of the collection plot of medicinal plants of the Main Botanical Garden (Almaty), indicate that their content depends on the species of plants. The results of assessment of ecological safety of plant raw materials of medicinal plants species tested in the conditions of MBG of

Almaty can be used for further studies of ecological purity of medicinal plant raw materials.

### Funding Source

The work was carried out within the framework of the program BR10264557 “Cadastre Assessment of the Current Ecological State of the Flora and

Plant Resources of the Almaty Region as a Scientific Basis for Effective Resource Potential Management” (2021–2023).

### Conflict of interests

All authors are familiar with the content of the article and have no conflict of interests.

### References

1. Global Strategy for Plant Conservation. The targets. 2011-2020 // URL: <https://www.cbd.int/gspc/targets.shtml>
2. Kunming-Montreal Biodiversity Framework Program. [Electronic resource]. URL: <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-ru.pdf>
3. Petrisheva T.Y., Morgacheva N.V. (2020.) Biodiversity: structure, problems and conservation prospects. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 548. No. 7, 072011.
4. Tkachenko K.G. Collections of botanical gardens – modern practice of preservation and study of the diversity of the plant world // Hortus bot. 2019 6. – T. 14. – P. 94–102. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=6385>. DOI: 10.15393/j4.art.2019.6385.
5. Tkachenko K.G. The importance of collections of useful plants in botanical gardens for the conservation of floristic diversity // Study, conservation and rational use of the plant world of Eurasia: materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of the Institute of Botany and Phytointroduction. – Almaty, 2022. – P. 674–677.
6. Proskuryakov M.A. Monitoring of variability of medicinal plants of Kazakhstan // Study, conservation and rational use of the plant world of Eurasia: materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of the Institute of Botany and Phytointroduction. – Almaty, 2022. – P. 542–552.
7. Belyaeva T.N. Biological features of ornamental dicotyledonous perennial plants during introduction in the conditions of the southern taiga of Western Siberia: dissertation abstract for the degree of Doctor of Biological Sciences: 03.02.01. – Tomsk, 2021. – P. 49.
8. Asiminicesei D., Vasilachi I.C., Gavrilescu M. Heavy Metal Contamination of Medicinal Plants and Potential Implications on Human Health // Revista de Chimie (Rev. Chim.), – 2020. – Vol.71. – Issue 7. – P. 16–36. URL: <https://doi.org/10.37358/RC.20.7.8222>
9. Message of the President of the Republic of Kazakhstan to the people of Kazakhstan dated September 01, 2020. “Kazakhstan in the new reality: time for action” – VII. Ecology and protection of biodiversity // URL: [https://www.akorda.kz/ru/addresses/addresses\\_of\\_president/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-1-sentyabrya-2020-g](https://www.akorda.kz/ru/addresses/addresses_of_president/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-1-sentyabrya-2020-g)
10. Grudzinskaya L.M., Gemedzhieva N.G., Nelina N.V., Karzhaubekova Zh.Zh. Annotated list of medicinal plants of Kazakhstan: Reference publication / – Almaty, 2014, – P. 200.
11. Sokolov S.I. Soils of Alma-Ata botanical garden // Bulletin of the Academy of Sciences of the KazSSR, 1946. – No. 11 (20). – P. 59–61.
12. Soil Survey. Manual on field research and soil mapping. – Moscow: Academy of Sciences of the USSR, 1959. – P. 340.
13. Classification and diagnostics of soils of the USSR. – Moscow: Kolos, 1977. – P. 223.
14. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. Classification and diagnostics of soils of Russia. – Smolensk: Oikumena, 2004. – P. 342.
15. GOST 17.4.3.01-83 Nature protection. Soils. General requirements for sampling.
16. GOST 17.4.4.02-2017. Interstate standard. Nature protection. Soils. Methods for sampling and preparation for chemical, bacteriological, and helminthological analysis (introduced by the order of Rosstandart dated April 17, 2018 N 202-st).
17. Arinushkina E.V. Guide to chemical analysis of soils. – Moscow: Moscow State University, 1962. – P. 491.
18. Myanina N.B., Arinushkina E.V. Methodological guide for interpreting soil chemical analysis results. – Moscow: Moscow State University, 1979. – P. 62.
19. Sokolov S.I., Assing I.A., Kurmangaliyev A.B., Serpikov S.K. Soils of the Alma-Ata region. // Soils of the Kazakh SSR. – Alma-Ata: Academy of Sciences of the Kazakh SSR, 1962. – Issue 4. – P. 423.
20. Rappoport A.V., Lysak L.V., Marfenina O.A. The relevance of soil-ecological research in botanical gardens (on the example of Moscow and St. Petersburg). // Bulletin of the Moscow Society of Nature Researchers. Biological Department, 2013. – Vol. 118, No. 5. – P. 45–56.
21. Grigoryev, Fridland, 1964; Grigoryev G.I., Fridland V.M. On the classification of soils by the degree of cultural transformation. // Soil Science, 1964. – No. 5. – P. 1–4.
22. Permitina V.N. Formation of soil cover under the conditions of the introduction of tree species in the botanical garden. // Soil Science and Agrochemistry, 2016. – No. 2. – P. 17–26.
23. Mukherjee, S., Chatterjee, N., Sircar, A. et al. A Comparative Analysis of Heavy Metal Effects on Medicinal Plants // Appl. Biochem. Biotechnol. – 2023. – Vol. 195. – P. 2483–2518. URL: <https://doi.org/10.1007/s12010-022-03938-0>
24. Ilyin V.B. Heavy metals in the soil-plant system. – Novosibirsk: Nauka, 1991. – P.151.

25. Vinogradova, N., Glukhov, A., Chaplygin, V., Kumar, P., Mandzhieva, S., Minkina, T., Rajput, V.D. The Content of Heavy Metals in Medicinal Plants in Various Environmental Conditions: A Review // *Horticulturae*. – 2023. – No. 9. – P. 239–246. URL: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020239>
26. Kalimoldina L.M., Sultangazieva G.S., Suleimenova M.Sh. Contamination of soils with heavy metal in the urban area of Almaty // *Soil science and agrochemistry*. – 2022. – No.3. – P. 38–45. [https://doi.org/10.51886/1999-740X\\_2022\\_3\\_38](https://doi.org/10.51886/1999-740X_2022_3_38)
27. Kiran, Bharti R., Sharma R. Effect of heavy metals: An overview // *Materials Today: Proceedings*. – 2022. – Vol. 51. Part 1. – P. 880–885. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.27828>.
28. Naimanova A., Akhmetova S., Issayeva A., Vyrakhmanova A., Alipbekova A. Phytoaccumulation of Heavy Metals in South Kazakhstan Soils (Almaty and Turkestan Regions): An Evaluation of Plant-Based Remediation Potential // *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*. – 2024. – Vol. 19. –No. 2. – P. 451–464.
29. Maximum Permissible Concentrations of Chemical Substances in Soil (MPC). – No. 3.01.056.97. Approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Republic of Kazakhstan E.E. Durumbetov on November 29, 1997.
30. Rymbekova G.N., Akhmetova S.O. “Morphological Characteristics and Features of Soil Pollution in Almaty” // *Scientific Collection «Inter Conf»*. – 2023. – No.182. – P. 167–170.
31. Rashid, Abdur, Brian J. Schutte, April Ulery, Michael K. Deyholos, Soum Sanogo, Erik A. Lehnhoff, and Leslie Beck. 2023. “Heavy Metal Contamination in Agricultural Soil: Environmental Pollutants Affecting Crop Health” *Agronomy* 13, no. 6: 1521. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061521>
32. Ivanov V.B., Aleksandrova V.V., Tsyganova V.I. Assessment of Heavy Metal Accumulation in Plants. // *Global Problems of Scientific Civilization, Ways of Improvement. Materials of the XV International Scientific and Practical Conference*. – Stavropol: Paragraph Publishing House LLC, 2022. – Vol. 1. – P. 423–429.
33. Kamanina I.Z., Kaplina S.P., Salikhova F.S. Heavy Metal Content in Medicinal Plants. // *Scientific Review. Biological Sciences*, 2019. – No. 1. – P. 29–34.
34. Maximum Permissible Concentrations of Heavy Metals and Arsenic in Food Raw Materials and Food Products. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293731/4293731790.htm>
35. SanPiN 2.3.2.1078-01. Hygienic Requirements for the Safety and Nutritional Value of Food Products. Moscow, 2001.
36. SanPiN 2.3.2.560-96. Hygienic Requirements for the Quality and Safety of Food Raw Materials and Food Products. – Moscow, 1996.
37. Kashin V.K. Content of Microelements in Couch Grass in Western Transbaikalia // *Agrochemistry*, 2020. – No. 3. – P. 55–61. DOI: 10.31857/S0002188120030072

**Авторлар туралы мәлімет:**

*Пермитина Валерия Николаевна – биология ғылымдарының кандидаты, ҚР ЭТРМ ОШЖДК «Ботаника және фитоинтродукция» институты ШЖҚ РМК геоботаника зертханасының ЖФҚ (Алматы, Қазақстан, электрондық пошта: v.permitina@mail.ru)*

*Ерекеева Светлана Журсинбековна (корреспондент-автор) – Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің «Топырақтану, агрохимия және экология» кафедрасының докторанты; ҚР ЭТРМ ОШЖДК «Ботаника және фитоинтродукция» институты ШЖҚ РМК өсімдік ресурстары зертханасының КФҚ (Алматы, Қазақстан, электрондық пошта: svetlana.yerekeyeva@gmail.com)*

*Ситпаева Гульнара Токбергеновна – биология ғылымдарының докторы, ҚазҰЖФА академигі, ҚР ЭТРМ ОШЖДК «Ботаника және фитоинтродукция» институты ШЖҚ РМК бас директоры (Алматы, Қазақстан, электрондық пошта: sitpaeva@mail.ru)*

*Гемеджиева Надежда Геннадьевна – биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ЭТРМ ОШЖДК «Ботаника және фитоинтродукция» институты ШЖҚ РМК өсімдік ресурстары зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан, электрондық пошта: ngemed58@mail.ru)*

**Information about authors:**

*Permitina Valeria Nikolaevna – Candidate of Biological Science, Leading Researcher of Laboratory of Geobotany of the RSE on PVC «Institute of Botany and Phytointroduction» of the Committee of Forestry and Wildlife of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan, email: v.permitina@mail.ru)*


*Yerekeyeva Svetlana Zhursinbekovna – PhD student of the Department of Soil Science, Agrochemistry and Ecology of the Kazakh National Agrarian Research University; Junior Researcher of Laboratory of Plant Resources of the RSE on PVC «Institute of Botany and Phytointroduction» of the Committee of Forestry and Wildlife of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan, email: svetlana.yerekeyeva@gmail.com)*

*Sitpaeva Gulnara Tokbergenovna – Doctor of Biological Science, Academician of Kazakhstan National Academy of Natural Sciences, General Director of the RSE on PVC «Institute of Botany and Phytointroduction» of the Committee of Forestry and Wildlife of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan, email: sitpaeva@mail.ru)*

*Gemejyeva Nadezhda Gennadievna – Doctor of Biological Science, Professor, Head of Laboratory of Plant Resources of the RSE on PVC «Institute of Botany and Phytointroduction» of the Committee of Forestry and Wildlife of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan, email: ngemed58@mail.ru)*

Received August 21, 2024  
Accepted December 26, 2024

## **REVIEW ARTICLE**

А. Сатаева<sup>1,2,3</sup> , А. Камал<sup>2</sup> , А. Байменов<sup>1</sup> ,  
Д. Ким<sup>2</sup> , Е. Архангельски<sup>2</sup> , К.Т. Тастамбек<sup>3,4</sup> ,  
Ж.Т. Тауанов<sup>1,3,4\*</sup> , Н.Ш. Акимбеков<sup>3,4</sup> 

<sup>1</sup>Лаборатория Инженерного Профиля, КазННТУ им. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Кафедра строительной и экологической инженерии, Школа инженерии  
и цифровых наук, Назарбаев Университет, г. Астана, Казахстан

<sup>3</sup>НИИ «Устойчивости экологии и биоресурсов», КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

<sup>4</sup>Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан

\*e-mail: aliya.satayeva@nu.edu.kz; tauanov.zhandos@kaznu.kz

## КРАТКИЙ ОБЗОР ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МИКРОНАНОПЛАСТИКОМ СТОЧНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД КАЗАХСТАНА

В данном исследовании представлен аналитический обзор проблемы загрязнения микро/нанопластиком сточных и поверхностных вод Республики Казахстан. Изучение опубликованных научных работ показало, что анализ микро- и нанопластиков (МНП) в окружающей среде является важнейшей задачей из-за их повсеместного присутствия в естественной среде обитания, что вызывает опасения из-за их прямого токсикологического воздействия и их потенциального свойства переносить опасные загрязнители и патогены, тем самым создавая риски для здоровья человека и целостность экосистемы. МНП был обнаружен как при очистке питьевой воды, так и в сточных и поверхностных водах в различных областях Казахстана. Согласно изученным данным, выявлена сезонная динамика концентрации микропластика в воде и донных отложениях, а также в сточных водах г. Астана. При этом установлено, что преобладающими видами МНП в поверхностных водах являются волокна, пленки и гранулы, а в сточных полиэтилен.

В целом, анализ современного состояния окружающей среды Казахстана на загрязнение микро/нанопластиком свидетельствуют о том, что загрязнение существует и заслуживает пристального внимания со стороны ученых и служб экоконтроля. При этом, главной трудностью при анализе возможных рисков микро- и нанопластика для здоровья человека является нехватка данных, недостаточное изучение воздействия на живые организмы, их устойчивость к разложению в природе, передача на более высокие уровни пищевой цепи.

**Ключевые слова:** микро/нанопластик, пластик, сточные воды, поверхностные воды.

A. Satayeva<sup>1,2,3\*</sup>, A. Kamal<sup>2</sup>, A. Baimenov<sup>1</sup>, J. Kim<sup>2</sup>, Y. Arkhangelsky<sup>2</sup>,  
K.T. Tastambek<sup>3,4</sup>, Z.T. Tauanov<sup>1,3,4\*</sup>, N.S. Akimbekov<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Engineering Profile, KazNRTU named after Satpayev, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>School of Engineering and Digital Sciences, Department of civil

and environmental engineering Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan

<sup>3</sup>SRI «Sustainability of ecology and bioresources», KazNU named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan

<sup>4</sup>Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

\*e-mail: aliya.satayeva@nu.edu.kz; tauanov.zhandos@gmail.com

### Brief overview of the micro-nanoplastic pollution problem in wastewater and surface waters of Kazakhstan

This study presents an analytical review of the micro/nanoplastic pollution problem in the wastewater and surface waters of the Republic of Kazakhstan. The review of published scientific works shows that analyzing micro- and nanoplastics (MNP) in the task due to their ubiquitous presence in natural habitats. This raises concerns because of their direct toxicological impact and their potential to carry hazardous pollutants and pathogens, thereby posing risks to human health and ecosystem integrity. MNPs have been detected in drinking water treatment processes, as well as in wastewater and surface waters in various regions of Kazakhstan. According to the studied data, there is a seasonal dynamic in the concentration of microplastics in water and bottom sediments, as well as in the wastewater of Astana city. It has been established that the predominant types of MNPs in surface waters are fibers, films, and granules, while polyethylene is prevalent in wastewater.



Overall, the analysis of the current state of Kazakhstan's environment in terms of micro/nanoplastic pollution indicates that such pollution exists and warrants close attention from scientists and environmental monitoring services. At the same time, the main difficulty in analyzing the possible risks of micro- and nanoplastics for human health is the lack of data, insufficient study of the effects on living organisms, their resistance to degradation in nature and transfer to higher levels of the food chain.

**Key words:** micro/nanoplastic, plastic, wastewater, surface waters.

А. Сатаева<sup>1,2,3</sup>, А. Камал<sup>2</sup>, А. Байменов<sup>1</sup>, Д. Ким<sup>2</sup>, Е. Архангельски<sup>2</sup>,  
Қ.Т. Тастамбек<sup>3,4</sup>, Ж.Т. Тауанов<sup>1,3,4\*</sup>, Н.Ш. Акимбеков<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Инженерлік бейінді лаборатория, Сәтпаев атындағы ҚазҰЗТУ, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Инженерлік және саңдық ғылымдар мектебі, құрылыс және экологиялық инженерия кафедрасы,  
Назарбаев Университеті, Астана қ., Қазақстан

<sup>3</sup>«Экология және биоресурстардың тұрақтылығы» ҒЗИ, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы қ., Қазақстан

<sup>4</sup>Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан

\*e-mail: aliya.satayeva@nu.edu.kz; tauanov.zhandos@gmail.com

### Қазақстанның ағын сулары мен беткей суларының микро-нанопластикпен ластануы мәселесінің қысқаша шолуы

Бұл зерттеуде Қазақстан Республикасының ағын сулары мен беткей суларының микро/нанопластикпен ластану мәселесі туралы аналитикалық шолу ұсынылған. Жарияланған ғылыми жұмыстарды зерттеу нәтижелері бойынша, қоршаған ортадағы микро- және нанопластиктердің (МНП) анализі олардың табиғи ортада кеңінен таралғандықтан маңызды мәселе болып табылады, себебі олардың тікелей токсикологиялық әсері мен қауіпті ластанушылар мен патогендерді тасымалдау қасиеттері адамның денсаулығына және экожүйенің тұтастығына қауіп төндіреді. МНП ауыз суды тазарту кезінде, сондай-ақ ағын және беткей суларында Қазақстанның әртүрлі аймақтарында анықталды. Зерттелген деректерге сәйкес, Астана қаласының суында және түпкі тұнбаларында микропластиктің концентрациясының маусымдық динамикасы анықталды. Сонымен қатар, беткей суларында микро/нанопластиктердің басым түрлері талшықтар, пленкалар және түйіршіктер, ал ағын суларында полиэтилен болып табылады.

Жалпы, Қазақстанның қазіргі кездегі қоршаған ортаның микро/нанопластикпен ластану жағдайын талдау бұл ластанудың бар екенін және ғалымдар мен экологиялық бақылау қызметтерінің назарын қажет ететіндігін көрсетеді. Сонымен қатар, микро және нанопластиканың адам денсаулығына ықтимал қауіптерін талдаудағы басты қиындық-деректердің жетіспеушілігі, тірі организмдерге әсерін жеткіліксіз зерттеу, олардың табиғатта ыдырауға төзімділігі және қоректік тізбектің жоғары деңгейіне берілуі.

**Түйін сөздер:** микро/нанопластик, пластик, ағын сулары, беткей сулары.

## Введение

Загрязнение окружающей среды пластиком является результатом деятельности человека. Согласно статистическим данным, с 50-х годов прошлого века в мире произведено около 9 млрд. т пластика, при этом переработано лишь 20%, а остальное остается в природной среде [1,2], что является причиной экономических, социальных и экологических проблем [3, 4].

Одним из путей поступления микропластика в поверхностные водоемы являются источники производственной деятельности, также сточные воды [5]. Сегодня загрязнение микропластиком водных ресурсов является наиболее актуальной проблемой из-за угрозы для водных организмов, а также потенциальных рисков здоровью человека [6,7]. Термин «микропластик» (МП) впервые появился в 2004 году в статье “Lost at Sea: Where Is All the Plastic?” [8]. По мнению авторов, ми-

кропластик первоначально представляет собой пластиковый мусор, который со временем разлагается на какие-то мелкие части. Хотя история первых сообщений об обнаружении микрочастиц пластика в планктоне началась с 70-х годов прошлого века [9], эти сообщения не сразу заинтересовали ученых. Микро/нанопластик (МНП) содержит частицы меньше 0,5 мм и появляется вследствие разрушения и распада пластиковых отходов, в первую очередь аккумулируясь в воде [10 – 16].

В настоящее время мировое производство пластика составляет почти 300 миллионов тонн в год [17] и 10% этого пластика поступает в океан [8]. В водной среде [2, 13] возникают экологические риски, связанные с биодоступностью МНП для водных организмов, особенно населяющих поверхностные воды [10-12]. Кроме этого, частицы пластика являются адсорбентами гидрофобных стойких органических загрязнителей,

присутствующих в воде [18] и выщелачивают потенциально токсичные пластиковые добавки, известные как «пластификаторы» [18,19].

В Докладе ВОЗ [20] представлены более 50 исследований, в которых приведены результаты исследований обнаружения микропластика в пресных водоемах, питьевой воде и сточных водах. В докладе акцент уделяется потенциальному воздействию МНП на окружающую среду (физический, химический и биопленки), при этом объем объективных данных чрезвычайно ограничен. Однако мало что известно о микропластическом профиле отдаленных пресноводных экосистем [21,22] и экологическая ситуация этих объектов недостаточно изучена. Считается, что пресноводные экосистемы больше страдают от воздействия МНП, чем океан и прибрежные районы [23 – 26]. В работах [26 – 30] авторами показано, что наночастицы пластика проникают даже через клеточные мембраны и распространяются по тканям. Выявлено, что МНП имеет различную форму частиц, при этом “игольчатая” форма быстрее распространяется по организму [26], нарушая гемато-энцефалический и плацентарный барьеры в организме [29].

Многие города характеризуются высокой плотностью растущего населения и развитой инфраструктурой. Это приводит к возрастанию антропогенной нагрузки на источники поверхностной воды [31]. В связи с этими проблемами необходимо проведение экологического мониторинга вод по различным параметрам, включая и пластиковое загрязнение. Однако, по мнению экспертов ВОЗ [20], большая часть исследований в мире по проблеме МНП, не удовлетворяют установленным критериям качества.

Цель работы исследование проблемы загрязнения микро/нанопластиком водных ресурсов Казахстана, в частности сточных и поверхностных вод. В данной работе авторами сделана попытка представить обобщенный материал существующих исследований проблемы загрязнения микро/нанопластиком водных ресурсов Республики Казахстан. Изучить уровни концентрации, форму и размеры частиц микро/нанопластика, а также особенности его распространения.

## Материалы и методы

Материалом послужили научные работы, опубликованные казахстанскими и зарубежными учеными. К сожалению, количество опубликованных отечественных работ малочисленно, однако все они были изучены и представлены в

данной работе. Терминология поиска включала микро/нанопластик, поверхностные водоемы, бытовые отходы, сточные воды, водная биота, риски здоровью человека.

## Результаты и обсуждение

Хотя история публикаций о загрязнении пластиком окружающей среды Казахстана малочисленна, она включает результаты исследований микропластика в воде, в донных отложениях, сточных водах и свалок ТБО. Однако не все пути поступления микропластика в окружающую среду изучены и как следствие нет публикаций о загрязнении других сред жизни и биоты.

Термин «Микропластик» (МП) включает совокупность частиц разного размера, формы, цвета, удельной плотности, химического состава [33 – 36].

В отдельных странах загрязнение окружающей среды МП вызывает большую тревогу. Например, в Северной Америке загрязнение только земель сельскохозяйственного назначения составляет от 44 до 300 тыс. т, в Европе от 63 до 430 тыс. т., по странам СНГ составляет 570 тысяч т. [37]. Имеются данные по выявлению МП в пресноводных водоемах Америки, Европы, Африки, отдельных стран Азии, России [38 – 43], но систематические публикации по данной проблеме в Казахстане отсутствуют. Имеются публикации о загрязнении МП окружающей среды РК, в которых приведены результаты исследования разовых проб из западного побережья Каспийского моря и изучению влияния свалок ТБО в Северном Казахстане на загрязнение пластиком. В 2016 году прикаспийские страны произвели 425 кило тонн отходов пластика и к 2030 году производство увеличится на 15% [44], при этом масса МП в образцах Каспийского моря составила от 5 до 200 мг/л [45, 46]. По данным казахстанских экспертов [47], отсутствие системы мониторинга за пластиковым мусором в Каспийском море является одной из ключевых проблем в Казахстане.

По данным ЮНИСЕФ [48], обзор результативности экологической деятельности Казахстана показывает, что загрязнение рек и грунтовых вод микропластиком происходит из-за ненадлежащего управления муниципальными сточными водами, хотя с 2008 года в республике Казахстан проводится серьезная работа в плане развития и расширения системы мониторинга водных ресурсов, однако систематическое исследование загрязнения микропластиком не проводится.

Неизвестно, сколько МНП содержится в поверхностных водах водохранилищ, которые используются как источники питьевой воды в городах Казахстана. Кроме этого, имеется проблема накопления пластика в составе ТБО, приводящая к вымыванию токсичных веществ на полигонах ТБО и свалках в окружающую среду [49, 50]. Ранее казахстанскими учеными были проведены исследования по изучению загрязнения МП свалками ТБО, где было выявлено, что размер частиц МП варьировал от 5 мм до 50 мм. При этом максимальная доля микропластика (50%) приходилась на МП с размером частиц от 5–10 мм [50, 51]. Проблемы, связанные с управлением и переработкой твердых бытовых отходов, особенно пластиковых, остаются критическими и нерешенными проблемами в современном Казахстане [52]. К сожалению, существующей литературе по этому вопросу уделяется мало внимания [53].

Многие ученые [5, 54–59] показали, что донные отложения имеют самые высокие концентрации МНП. За ними следуют образцы придонной воды, имеющие на несколько порядков меньшие концентрации; а самые низкие значения характеризуют толщу воды — еще на несколько порядков меньше. В то же время большинство исследований по МНП концентрируются на изучении их изобилия, однако вопросы биологических и химических последствий изучены слабо [60–61].

Более того, в РК не изучались концентрации МНП в бутилированной воде [62]. В мире имеются публикации ученых, где было выявлено, что образцы бутилированной воды могут содержать до 325 частиц МНП на литр и размером от 6,5 до 100 мкм [63]. Авторы исследования микро/нанопластика в питьевой бутилированной воде [64] выяснили, что количество нанопластика превышало количество обычного микропластика в 100–1000 раз, токсичность которого активно изучают в последние годы.

Было установлено, что загрязнение нанопластиком происходит также не только при производстве воды и ее хранении, а также при ее очистке из пластиковых фильтров или иного оборудования. Например, наночастицы полипропилена, полистирола и полиамида [64].

Кроме этого, установлено, что при нагревании бутилированной воды более 30°C в пластиковой таре, из пластика начинает выделяться Бисфенол А [65]. Бисфенол А является канцерогеном и может вызывать различные заболевания. В частности, бисфенол А из-за структурной

схожести с женским половым гормоном — эстрогеном оказывает негативное влияние на мозг и репродуктивную систему, а также служит причиной ряда онкологических заболеваний, а также аутизма, угнетения эндокринной системы, задержки развития мозга, сердечно-сосудистых заболеваний и диабета [66]. Согласно данным отчетности рынка питьевой воды в Республике Казахстан [67] в стране производится 0,8 млрд литров бутилированной воды. При производстве питьевая вода проходит оценку соответствия качеству питьевой воды по 80 показателям, однако содержание Бисфенола А не определяется [67, 68].

Н.Саликова и др. представили результаты проведения мониторинга микропластика в трех озерах и одной реке Акмолинской области в Казахстане [50, 51]. Авторами изучены концентрации микропластика в воде и донных отложениях отдельных участков реки Ишим, озер Копа, Зерендинское и Боровое. Авторами установлены сезонные концентрации микропластика в водных объектах, при этом концентрации микропластика составили от  $1,2 \times 10^{-1}$  частиц/л весной и до  $4,5 \times 10^{-1}$  частиц/л осенью соответственно. В озерах регистрировались более высокие концентрации по сравнению с рекой Ишим. В донных отложениях были обнаружены микропластические волокна, фрагменты и пленки, а также гранулы. Более крупные частицы (>500 мкм) были обнаружены в пляжных отложениях, составляя в среднем 40,5% от общего количества обнаруженного пластика. По мнению авторов, полученные результаты дают представление о пространственном и временном распределении микропластика. При этом авторы подчеркивают необходимость постоянного мониторинга и разработки стратегий управления для решения данной экологической проблемы.

Также Саликова Н.С. и др. [69] при исследовании процессов очистки воды выявили, что эффективность удаления микропластика существенно снижается при очистке воды от его частиц с размером от 10 до 20 мкм. Авторы поддерживают мнение других авторов [8], которые считают, что последовательное совмещение коагуляции и песчаной фильтрации может полностью удалить микропластик размером более 45 мкм. Саликова Н.С. и др. [69] считают, что при соблюдении режимов технологического процесса водоподготовки питьевой воды и в Казахстане можно задерживать частицы микропластика размером более 45 мкм.

Мадибеков А. и др. [70] изучали присутствие и концентрации МНП в озере Маркаколь. Озеро Маркаколь находится в Восточно-казахстанской области, в Маркакольской котловине, окруженной хребтами Курчумский и Азутау и является одним из уникальных водоемов Казахстана. С 4 августа 1976 года озеро и прилегающие к ней территории являются заповедником. При этом результаты проведенных авторами исследований акватории озера и его притоков показали, что суммарная концентрация выявленного микро- и макропластика, поступающего с притоками, составила – 150 мкг/м<sup>3</sup>, в акватории озера более 800 мкг/м<sup>3</sup>. Проведенные исследования показали, что распространение МНП в воде притоков рек и озера варьировали от глубины и других факторов.

Жаксылыкова Д. и др. [52] первые исследовали присутствие МП и его удаление на городских очистных сооружениях в г. Астана в период 2023 года. Авторами были выявлены различные концентрации разноразмерных частиц микропластика на всех стадиях обработки сточных вод и оценена эффективность их удаления. Установлено, что в стоках очистных сооружений наблюдались низкие концентрации МП. При этом среди обнаруженных частиц пластика были фрагменты микропластика и полиэтилен. Авторами указано, что полиэтилен является наиболее распространенным типом пластика и составляет более 30%. Кроме этого, также наблюдается сезонность распространения МП, при этом его концентрации достигают максимума летом и минимальны зимой.

Также исследования проведены по изучению микропластика в российской части реки Обь, притоком которой является река Ишим. Сравнительная оценка загрязнения микропластиком рек Обь и Ишим показала меньшую загрязненность реки Ишим в сравнении с р. Обь [71 – 73]. В пищеварительном тракте отдельных видов рыб, обитающих в реке Томь было выявлено присутствие значительного количества микрочастиц пластика [74].

Фанг и др [75] выявили нарушение репродуктивного и пищевого поведения у представителей веслоногих ракообразных и рыб, связанное с влиянием микропластика на их организм. В связи с этим, авторы рассматривают биоаккумуляцию микропластика в водной среде как потенциальную угрозу организмам более высоких трофических уровней и даже человеку. Напрмер, уже обнаружены частицы микропластика в крови [76] и в тканях легких человека [77].

В настоящее время каких-либо публикаций о воздействии микропластика на живые организмы в Казахстане нет. К сожалению, подтверждения факта, что пластик является конкретной причиной, вызывающей те или иные клинические формы заболеваний или иные виды нарушения здоровья человека пока не получено. Поэтому в настоящее время в мире нет установленного нормативного ПДК для пластика.

### Обсуждение

Изучение ситуации загрязнения микро/нано-пластиком водных ресурсов Республики Казахстан показало, что наблюдается загрязнение как сточных вод, так и поверхностных водоемов, в том числе и заповедных. Исходя из опубликованных данных, размеры пластикового мусора, обнаруженного в поверхностных водоемах, варьируются от крупного мезомусора до микро/нано-пластика. В сточных и поверхностных водах, а также в донных отложениях выявлено загрязнение микропластиком, при этом наблюдается сезонность его распространения. По мнению ученых, загрязнение водных ресурсов микро/пластиком обусловлено использованием огромного количества материалов из пластика, ненадлежащей переработкой отходов из пластика в городах и других населенных пунктах, замусориванием берегов.

Главной проблемой является антропогенный фактор, что приводит к пониманию актуальности данной проблемы и проведения мониторинга микро/нано-пластика для определения степени загрязнения и в дальнейшем принятия мер по его снижению.

### Заключение

Исходя из опубликованных данных, основной проблемой для оценки потенциальных рисков микро/нано-пластика на здоровье человека являются ограниченные данные, слабая изученность воздействия на организмы, устойчивость к разложению в окружающей среде, дальнейшая передача на более высокие трофические уровни и выделение Бисфенол А в воду.

Система управления водными ресурсами направлена на сохранение их в мировой экосистеме, улучшение их качества, безопасности для водной биоты и здоровья человека, и в итоге бережное отношение к ним человеческого общества [49].

Всё это приводит к пониманию необходимости регулярного контроля за содержанием МНП в водных объектах окружающей среды, и в последующем, обеспечения очистки сточных и питьевых вод от МП и развития системы соответствующих законодательных и нормативных актов с учетом местных обстоятельств [59]. Проведение регулярного мониторинга МНП в водных объектах РК направлено на решение приоритетов Казахстанской политики, включая

Государственную программу Республики Казахстан «Питьевая вода» на 2001–2030 годы [64].

### Благодарность, конфликт интересов

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант ИРН AP23489493 и BR24992814). Мы заявляем об отсутствии конфликта интересов.

### Литература

1. Plastics Europe. Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data. Brussels: Plastics Europe. 2021. URL: <https://plasticseurope.org>.
2. Geyer, R., Jambeck J.R., Law K.L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 3, e1700782 DOI: 10.1126/sciadv.1700782
3. Sharma, S. Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review / S. Sharma, S. Chatterjee // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2017. – Vol. 24. – Iss. 27. – P. 21530–21547. doi: 10.1007/s11356-017-9910-8
4. P. Kershaw, C. Rochman. Sources, Fate And Effects Of Microplastics In The Marine Environment: Part 2 Of A Global Assessment. 2015. - 221 p.
5. Zhao X, Chen H, Jia QL, Shen CS, Zhu Y, Li L, Nie YH, Ye JF (2020) Pollution status and pollution behavior of microplastic in surface water and sediment of urban rivers. *Huan jing ke xue= Huanjing kexue* 41(8):3612–3620. <https://doi.org/10.13227/j.hjxx.201912236>
6. Li C, Busquets R., Campos L.C. (2020). Assessment of microplastics in freshwater systems: A review. *Science of Total Environment* 707:135578 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135578
7. Carpenter E.J., Smith K.L. Plastics on the Sargasso Sea surface // *Science*. 1972. Vol. 175. pp. 1240-1241
8. Thompson, R. C.; Olsen, Y.; Mitchell, R. P.; Davis, A.; Rowland, S. J.; John, A. W. G.; McGonigle, D.; Russell, A. E. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 2004, 304, 838
9. Carpenter E.J., Smith K.L. Plastics on the Sargasso Sea surface // *Science*. 1972. Vol. 175. pp. 1240-1241
10. Mateos-Cárdenas A, O’Halloran J., van Pelt F.N.A.M., Jansen M.A.K. (2020). Rapid fragmentation of microplastics by the freshwater amphipod *Gammarus duebeni* (Lillj.) *Scientific Reports* 10:12799 DOI: 10.1038/s41598-020-69635-2
11. Environmental and Health Risks of Microplastic Pollution. 2019. EC, Luxembourg;
12. Meijer L.J. J., van Emmerik T., van der Ent R., Schmidt C., Lebreton L. (2021). More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Sci. Adv.* 7, eaaz5803 DOI: 10.1126/sciadv.aaz5803
13. Amanda R. McCormick, Timothy J. Hoellein, Maxwell G. London, Joshua Hittie, John W. Scott, John J. Kelly. Microplastic in surface waters of urban rivers: concentration, sources, and associated bacterial assemblages. *Ecosphere*. – Volume 7, Issue 11. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1556>
14. Jean-Pierre W. Desforges, Moira Galbraith, Peter S. Ross. Ingestion of Microplastics by Zooplankton in the Northeast Pacific Ocean. *Arch Environ Contam Toxicol.* - 2015.- 69:320–330. doi 10.1007/s00244-015-0172-5
15. Chidi Egbeocha, S Malek, Chijioko Emenike, Pozi Milow. Feasting on microplastics: Ingestion by and effects on marine organisms. *Aquatic Biology* 27:93-106.-2018. doi:10.3354/ab00701
16. Saskia Rehse-Becker, Werner Kloas, Christiane Zarfl. Microplastics Reduce Short-Term Effects of Environmental Contaminants. Part I: Effects of Bisphenol A on Freshwater Zooplankton Are Lower in Presence of Polyamide Particles. *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)* 15(2):280. -2018. doi:10.3390/ijerph15020280
17. Emma L Teuten, Steven J Rowland, Tamara S Galloway, Richard C Thompson. Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. *Environ Sci Technol.* – 41(22):7759-64.. -2007. doi: 10.1021/es071737s
18. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2016.4501>
19. <https://www.fao.org/3/i7677e/i7677e.pdf>
20. Доклад ВОЗ <https://www.who.int/ru/news/item/22-08-2019-who-calls-for-more-research-into-microplastics-and-a-crackdown-on-plastic-pollution>
21. Braga Moruzzi R, Speranza L.G., da Conceição F.T., de Souza Martins S.T., Busquets R., Campos L.C. (2020). Stormwater Detention Reservoirs: An Opportunity for Monitoring and a Potential Site to Prevent the Spread of Urban Microplastics. *Water* 2020, 12, 1994; doi:10.3390/w12071994
22. Genevieve D’Avignon, Irene Gregory-Eaves, Anthony Ricciardi. Microplastics in lakes and rivers: an issue of emerging significance to limnology. *Environmental Reviews*, 2021. <https://doi.org/10.1139/er-2021-004>;
23. Dafne Eerkes-Medrano, Richard C. Thompson, David C. Aldridge. Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*, Volume 75, 15 May 2015, Pages 63-82. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012>;

24. H.S. Auta, C.U Emenike, S.H Fauziah. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, Volume 102, May 2017, Pages 165-176; <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.013>
25. H.S. Auta, C.U Emenike, S.H Fauziah. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, Volume 102, May 2017, Pages 165-176; <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.013>
26. Кизеев А.Н., Сюрин С.А. Микропластик в морских и пресных водоемах России: источники, распределение, биоугрозы. Актуальные вопросы устойчивого природопользования: научно-методическое обеспечение и практическое решение : материалы междунар. науч.-практич. конференции, посвященной 60-летию НИЛ экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики БГУ, Минск, 9–11 ноября 2022 г. / БГУ, Фак. географии и геоинформатики ; [редкол.: Д. С. Воробьев (отв. ред.) и др.]. – Минск : БГУ, 2022. – С. 95-98.
27. X.-D. Sun et al., Differentially charged nanoplastics demonstrate distinct accumulation in *Arabidopsis thaliana*. *Nat. Nanotechnol.* 15, 755–760 (2020).
28. D. M. Mitrano et al., Synthesis of metal-doped nanoplastics and their utility to investigate fate and behaviour in complex environmental systems. *Nat. Nanotechnol.* 14, 362–368 (2019).
29. S. B. Fournier et al., Nanopolystyrene translocation and fetal deposition after acute lung exposure during late-stage pregnancy. *Particle Fibre Toxicol.* 17, 1–11 (2020).
30. D. M. Mitrano, P. Wick, B. Nowack, Placing nanoplastics in the context of global plastic pollution. *Nat. Nanotechnol.* 16, 491–500 (2021)],
31. Бургхард С. Мейер, Лиан Ланди, Ануарбек Какабаев. Интегрированное управление водными ресурсами в Казахстане. Коллективная монография/ /TEMPUS IV. Изд.: «Мир печати». Кокшетау, 2015.<https://www.researchgate.net/publication/313241195>
32. Кузина, Л. В. Загрязнение мирового океана бытовым мусором / Л. В. Кузина, В. И. Тевризова // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века : материалы 18-й Междунар. науч. конф.– Минск, 2018. – Ч. 1. – С. 61–63. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5>.
33. Accumulation of Microplastic on Shorelines Woldwide: Sources and Sinks / M. A. Browne, P. Crump, S. J. Niven, E. Teuten, A. Tonkin, T. Galloway, R. Thompson // *Environmental Science & Technology*. – 2011. – Vol. 45. – Iss. 21. – P. 9175–9179. doi: 10.1021/es201811s
34. Wang J, Li J., Liu S., Li H., Chen X., Peng C., Zhang P., Liu X. (2021). Distinct microplastic distributions in soils of different land-use types: A case study of Chinese farmlands. *Environmental Pollution* 269:116199 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116199>
35. Malankowska M., Echaide-Gorritz C., Coronas J.(2021). Microplastics in marine environment: a review on sources, classification, and potential remediation by membrane technology. *Environmental Science Water Research Technology* 7:243 <https://doi.org/10.1039/D0EW00802H>
36. Blair Crawford, C.; Quinn, B. *Microplastic Pollutants*, 1st ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2016.
37. “FапLESStic-sea 2019. Review of existing policies and research related to microplastics – Summary for Policy Makers” – 20 стр. <https://www.unep.org/ru/novosti-i-istorii/press-reliz/vsestonnyaya-ocenka-morskogo-i-plastikovogo-musora-podtverzhaet>
38. Zobkov M., Belkina N., Kovalevski V., Zobkova M., Efremova T., Galakhina N. Microplastic abundance and accumulation behavior in Lake Onego sediments: A journey from the river mouth to pelagic waters of the large boreal lake. *J. Environ. Chem. Eng.* 2020;8(5):104367. doi: 10.1016/j.jece.2020.104367;
39. Zobkov M., Esiukova E. Microplastics in Baltic bottom sediments: Quantification procedures and first results. *Mar. Poll. Bull.* 017;114(2):724–732. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.10.060
40. D.Karnaukhov, S.Biritskaya, E.Dolinskaya, M.Teplykh, N.Silenko, Y.Ermolaeva and E.Silow. Pollution by Macro- and Microplastic of Large Lacustrine Ecosystems In Eastern Asia. *Poll Res.* 39 (2): 353-355 (2020)
41. Malygina N., Mitrofanova E., Kuryatnikova N., Biryukov R., Zolotov D., Pershin D., Chernykh D. Microplastic pollution in the surface waters from plain and mountainous lakes in Siberia, Russia. *Water.* 2021;13(16):2287. doi: 10.3390/w13162287
42. Lisina A. A., Platonov M. M., Lomakov O. L., Sazonov A. A., Shishova T. V., Berkovich A. K., Frolova N. L. Microplastic abundance in Volga River: Results of a pilot study in summer 2020. *Geogr. Environ. Sustain.* 2021;14(3):82–93. doi: 10.24057/2071-9388-2021-041)
43. Pozdnyakov Sh. R., Ivanova E. V., Guzeva A. V., Shalunova E. P., Martinson K. D., Tikhonova D. A. Studying the concentration of microplastic particles in water, bottom sediments and subsoils in the coastal area of the Neva Bay, the Gulf of Finland. *Water Resources.* 2020;47(4):599–607. doi: 10.1134/S0097807820040132
44. Mehdi Ghayebzadeh, Hassan Aslani, Hassan Taghipour, Saeid Mousavi. Estimation of plastic waste inputs from land into the Caspian Sea: A significant unseen marine pollution. *Marine Pollution Bulletin.* Volume 151, February 2020, 110871, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110871>
45. Баймуканов М., Ж. Баймуканова. О пластиковом загрязнении и потенциальном его воздействии на биоразнообразие Каспийского моря. *Новости науки Казахстана.* № 2 (149). 2021 – стр. 174 -179).
46. Faranak Bakhtiari. Caspian Sea grappling with poor waste management. 2020. <https://www.tehrantimes.com/news/451064/Caspian-Sea-grappling-with-poor-waste-management>
47. Regional project “Addressing Marine Litter in the Caspian Sea Region”, Framework Convention for the Protection of the Marine Environment of the Caspian Sea, Sixth Meeting 2022, Baku, Azerbaijan

48. Kazakhstan Environmental Performance Reviews: Third Review [https://unece.org/sites/default/files/2021-08/ECE\\_CEP\\_185\\_Rus.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2021-08/ECE_CEP_185_Rus.pdf)
49. UNEP, 2018, Mapping of global plastics value chain and plastics losses to the environment: with a particular focus on marine environment, United Nations Environment Programme <http://www.unep.org/pt-br/node/27212>
50. Inglezakis, V. J., Moustakas, K., Khamitovac, G., Tokmurzin, D., Rakhmatulina, R., Serik, B., Abikak, Y., & Pouloupoulos, S. G. (2017). Municipal solid waste management in Kazakhstan: Astana and Almaty case studies. In *Chemical Engineering Transactions* (Vol. 56, pp. 565-570). (Chemical Engineering Transactions; Vol. 56). Italian Association of Chemical Engineering – AIDIC. <https://doi.org/10.3303/CET1756095>
51. Natalya S. Salikova, Javier Rodrigo-Illari, Maria-Elena Rodrigo-Clavero, Saltanat E. Urazbayeva, Aniza Zh. Askarova and Kuandyk M. Magzhanov. Environmental Assessment of Microplastic Pollution Induced by Solid Waste Landfills in the Akmola Region (North Kazakhstan). -*Water*. – 2023(15):2889. DOI:10.3390/w15162889
52. Саликова Н.С., Уразбаева С.Е., Крылов Д.В. Распространенность микропластика в природных водах <https://old.kuam.kz/sites/default/files/2024/nauka/conf23/23nim.pdf>.
53. Dana Zhaxylykova, Alisher Alibekov, Woojin Lee. Seasonal variation and removal of microplastics in a central Asian urban wastewater treatment plant. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 205, August 2024, 116597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116597>
54. Suthirat Kittipongvises, Athit Phetrak, Narapong Hongprasith, Jenyuk Lohwacharin. Unravelling capability of municipal wastewater treatment plant in Thailand for microplastics: Effects of seasonality on detection, fate and transport. *Journal of Environmental Management* 2022, 302(5):113990. DOI:10.1016/j.jenvman.2021.113990
55. Valeria Hidalgo-Ruz, Lars Gutow, Richard C Thompson, Martin Thiel. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environ Sci Technol*. 2012 Mar 20;46(6):3060-75. doi: 10.1021/es2031505
56. Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L) /M. A. Browne, A. Dissanayake, T. S. Galloway, D. M. Lowe, R. C. Thompson // *Environmental Science & Technology*. – 2008. – Vol. 42. – Iss. 13. – P. 5026–5031. doi: 10.1021/es800249a;
57. Mateos-Cárdenas A, O'Halloran J., van Pelt F.N.A.M., Jansen M.A.K. (2020). Rapid fragmentation of microplastics by the freshwater amphipod *Gammarus duebeni* (Lillj.) *Scientific Reports* 10:12799 DOI:10.1038/s41598-020-69635-2.
58. Kosuth M, Mason SA, Wattenberg EV (2018) Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoS ONE* 13(4): e0194970. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>
59. Национальный доклад Министерства экологии, геологии и биоресурсов за 2022 год
60. Campanale C., Massarelli C., Savino I., Locaputo V., Uricchio V. F. A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. Vol. 17, no. 4. Art. 1212. doi: 10.3390/ijerph17041212;
61. Yuan Z., Rajat N., Cummins E. Human health concerns regarding microplastics in the aquatic environment – From marine to food systems. *Sci. Total Environ*. 2022;823:153730. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153730
62. Государственная программа Республики Казахстан «Питьевая вода» на 2001-2030 годы
63. Lithner, D. Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition / D. Lithner, A. Larsson, G. Dave // *Science of the Total Environment*. – 2011. – Vol. 409. – Iss. 18.–P. 3309–3324. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.038
64. Naixin Qian, Xin GaoXiaoqi Lang, and Wei Min. Rapid single-particle chemical imaging of nanoplastics by SRS microscopy. 2024, 121 (3) e2300582121, <https://doi.org/10.1073/pnas.2300582121>
65. Lina Baz, Asmaa Alharbi, Maryam Al-Zahrani, Sedra Alkhabbaz, Rasha Alsousou, and Hanan Aljawadri. The Effect of Different Storage Conditions on the Levels of Bisphenol A in Bottled Drinking Water in Jeddah City, Saudi Arabia. *Advances in Public Health*. – 2023. – 8278428. DOI: <https://doi.org/10.1155/2023/8278428>
66. Мийченко, И. П. Технология полуфабрикатов полимерных материалов / И. П. Мийченко. – Санкт-Петербург : НОТ, 2012. – 374 с.
67. [https://www.kt.kz/rus/reviews/obzor\\_rinka\\_mineralnoj\\_i\\_pitjevoj\\_vodi\\_respubliki\\_Kazahstan\\_1153643337.html](https://www.kt.kz/rus/reviews/obzor_rinka_mineralnoj_i_pitjevoj_vodi_respubliki_Kazahstan_1153643337.html)
68. <https://www.plasticpollutioncoalition.org/resource-library/noaa-laboratory-methods-for-the-analysis-of-microplastics-in-the-marine-environment>
69. Саликова Н.С., Алимова К.К., Баймашева Ш.М. Анализ технологических процессов водоподготовки в Казахстане и потенциала удержания частиц микропластика. Материалы XXIII Международной научно-практической конференции «НАУКА И МЫ», Республика Казахстан, Кокшетау, 2024. <https://old.kuam.kz/sites/default/files/2024/nauka/conf23/23nim.pdf>
70. Madibekov, A.; Ismukhanova, L.; Sultanbekova, B.; Zhadi, A.; Zhumatayev, S.; Musakulkyzy, A.; Bolatov, K.; Madibekova, A. Micro- and Macroplastics Pollution in the Aquatic Environment of Markakol Lake Located in the Protected Area on the Mountain Slopes of the Southern Part of the Kazakh Altai Mountains. *Preprints* 2023, 2023090851. <https://doi.org/10.20944/preprints202309.0851.v1>
71. Evidence for Microplastics Contamination of the Remote Tributary of the Yenisei River, Siberia – The Pilot Study Results / Y.A. Frank [et al.] *Water*. 2021. Vol. 13. No. 22. P. 3248.
72. Microplastics Abundance in Volga River: Results of a Pilot Study in Summer / A.A. Lisina [et al.] *Geography, Environment, Sustainability*. 2021. Vol. 14. No 3. pp. 82-93.
73. Preliminary Screening for Microplastic Concentrations in the Surface Water of the Ob and Tom Rivers in Siberia, Russia / Y.A. Frank [et al.] *Sustainability*. 2021. Vol. 13. No. 1. P. 80.

74. Microplastics in fish gut, first records from the Tom River in West Siberia, Russia / Y.A. Frank [et al.] Вестник Томского государственного университета. Биология. 2020. № 52. С. 130-139.
75. Microplastics in three typical benthic species from the Arctic: Occurrence, characteristics, sources, and environmental implications / C. Fang [et al.] Environmental Research. 2021. Vol. 192. p. 110326.
76. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood / H.A. Leslie [et al.] // Environmental International. 2022. Vol. 163. P. 107199.
77. Detection of microplastics in human lung tissue using  $\mu$ FTIR spectroscopy / L.C. Jenner [et al.] // Science of the Total Environment. 2022. Vol. 831. P. 154907.

## References

1. Plastics Europe. Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data. Brussels: Plastics Europe. 2021. URL: <https://plasticseurope.org>.
2. Geyer, R., Jambeck J.R., Law K.L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. Sci. Adv. 3, e1700782 DOI: 10.1126/sciadv.1700782
3. Sharma, S. Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review / S. Sharma, S. Chatterjee // Environmental Science and Pollution Research. – 2017. – Vol. 24. – Iss. 27. – P. 21530–21547. doi: 10.1007/s11356-017-9910-8
4. P. Kershaw, C. Rochman. Sources, Fate And Effects Of Microplastics In The Marine Environment: Part 2 Of A Global Assessment. 2015.- 221 p.
5. Zhao X, Chen H, Jia QL, Shen CS, Zhu Y, Li L, Nie YH, Ye JF (2020) Pollution status and pollution behavior of microplastic in surface water and sediment of urban rivers. Huan jing ke xue= Huanjing kexue 41(8):3612–3620. <https://doi.org/10.13227/j.hjkk.201912236>
6. Li C, Busquets R., Campos L.C. (2020). Assessment of microplastics in freshwater systems: A review. Science of Total Environment 707:135578 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135578
7. Carpenter E.J., Smith K.L. Plastics on the Sargasso Sea surface // Science. 1972. Vol. 175. pp. 1240-1241
8. Thompson, R. C.; Olsen, Y.; Mitchell, R. P.; Davis, A.; Rowland, S. J.; John, A. W. G.; McGonigle, D.; Russell, A. E. Lost at sea: where is all the plastic? Science 2004, 304, 838
9. Carpenter E.J., Smith K.L. Plastics on the Sargasso Sea surface // Science. 1972. Vol. 175. pp. 1240-1241
10. Mateos-Cárdenas A, O'Halloran J., van Pelt F.N.A.M., Jansen M.A.K. (2020). Rapid fragmentation of microplastics by the freshwater amphipod Gammarus duebeni (Lillj.) Scientific Reports 10:12799 DOI:10.1038/s41598-020-69635-2
11. Environmental and Health Risks of Microplastic Pollution. 2019. EC, Luxembourg;
12. Meijer L.J. J., van Emmerik T., van der Ent R., Schmidt C., Lebreton L. (2021). More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. Sci. Adv. 7, eaaz5803 DOI: 10.1126/sciadv.aaz5803
13. Amanda R. McCormick, Timothy J. Hoellein, Maxwell G. London, Joshua Hittie, John W. Scott, John J. Kelly. Microplastic in surface waters of urban rivers: concentration, sources, and associated bacterial assemblages. Ecosphere. – Volume 7, Issue 11. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1556>
14. Jean-Pierre W. Desforges, Moira Galbraith, Peter S. Ross. Ingestion of Microplastics by Zooplankton in the Northeast Pacific Ocean. Arch Environ Contam Toxicol.- 2015.- 69:320–330. doi 10.1007/s00244-015-0172-5
15. Chidi Egbeocha, S Malek, Chijioke Emenike, Pozi Milow. Feasting on microplastics: Ingestion by and effects on marine organisms. Aquatic Biology 27:93-106.-2018. doi:10.3354/ab00701
16. Saskia Rehse-Becker, Werner Kloas, Christiane Zarfl. Microplastics Reduce Short-Term Effects of Environmental Contaminants. Part I: Effects of Bisphenol A on Freshwater Zooplankton Are Lower in Presence of Polyamide Particles. International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH) 15(2):280. -2018. doi:10.3390/ijerph15020280
17. Emma L Teuten, Steven J Rowland, Tamara S Galloway, Richard C Thompson. Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. Environ Sci Technol. – 41(22):7759-64.. -2007. doi: 10.1021/es071737s
18. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2016.4501>
19. <https://www.fao.org/3/i7677e/i7677e.pdf>
20. Доклад ВОЗ <https://www.who.int/ru/news/item/22-08-2019-who-calls-for-more-research-into-microplastics-and-a-crackdown-on-plastic-pollution>
21. Braga Moruzzi R, Speranza L.G., da Conceição F.T., de Souza Martins S.T., Busquets R., Campos L.C. (2020). Stormwater Detention Reservoirs: An Opportunity for Monitoring and a Potential Site to Prevent the Spread of Urban Microplastics. Water 2020, 12, 1994; doi:10.3390/w12071994
22. Genevieve D'Avignon, Irene Gregory-Eaves, Anthony Ricciardi. Microplastics in lakes and rivers: an issue of emerging significance to limnology. Environmental Reviews, 2021. <https://doi.org/10.1139/er-2021-004>;
23. Dafne Eerkes-Medrano, Richard C. Thompson, David C. Aldridge. Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. Water Research, Volume 75, 15 May 2015, Pages 63-82. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012>;
24. H.S. Auta, C.U Emenike, S.H Fauziah. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. Environment International, Volume 102, May 2017, Pages 165-176; <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.013>
25. H.S. Auta, C.U Emenike, S.H Fauziah. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. Environment International, Volume 102, May 2017, Pages 165-176; <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.013>



26. Кизеев А.Н., Сюрин С.А. Микропластик в морских и пресных водоемах России: источники, распределение, биологические угрозы. Актуальные вопросы устойчивого природопользования: научно-методическое обеспечение и практическое решение : материалы междунар. науч.-практич. конференции, посвященной 60-летию НИЛ экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики БГУ, Минск, 9–11 ноября 2022 г. / БГУ, Фак. географии и геоинформатики ; [редкол.: Д. С. Воробьев (отв. ред.) и др.]. – Минск : БГУ, 2022. – С. 95-98.
27. X.-D. Sun et al., Differentially charged nanoplastics demonstrate distinct accumulation in *Arabidopsis thaliana*. *Nat. Nanotechnol.* 15, 755–760 (2020).
28. D. M. Mitrano et al., Synthesis of metal-doped nanoplastics and their utility to investigate fate and behaviour in complex environmental systems. *Nat. Nanotechnol.* 14, 362–368 (2019).
29. S. B. Fournier et al., Nanopolystyrene translocation and fetal deposition after acute lung exposure during late-stage pregnancy. *Particle Fibre Toxicol.* 17, 1–11 (2020).
30. D. M. Mitrano, P. Wick, B. Nowack, Placing nanoplastics in the context of global plastic pollution. *Nat. Nanotechnol.* 16, 491–500 (2021)],
31. Бургхард С. Мейер, Лиан Ланди, Ануарбек Какабаев. Интегрированное управление водными ресурсами в Казахстане. Коллективная монография / TEMPUS IV. Изд.: «Мир печати». Кокшетау, 2015. <https://www.researchgate.net/publication/313241195>
32. Кузина, Л. В. Загрязнение мирового океана бытовым мусором / Л. В. Кузина, В. И. Тевризова // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века : материалы 18-й Междунар. науч. конф.– Минск, 2018. – Ч. 1. – С. 61–63. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5>.
33. Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks / M. A. Browne, P. Crump, S. J. Niven, E. Teuten, A. Tonkin, T. Galloway, R. Thompson // *Environmental Science & Technology*. – 2011. – Vol. 45. – Iss. 21. – P. 9175–9179. doi: 10.1021/es201811s
34. Wang J, Li J., Liu S., Li H., Chen X., Peng C., Zhang P., Liu X. (2021). Distinct microplastic distributions in soils of different land-use types: A case study of Chinese farmlands. *Environmental Pollution* 269:116199 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116199>
35. Malankowska M., Echaide-Gorric C., Coronas J.(2021). Microplastics in marine environment: a review on sources, classification, and potential remediation by membrane technology. *Environmental Science Water Research Technology* 7:243 <https://doi.org/10.1039/D0EW00802H>
36. Blair Crawford, C.; Quinn, B. *Microplastic Pollutants*, 1st ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2016.
37. “FanPLESStic-sea 2019. Review of existing policies and research related to microplastics – Summary for Policy Makers” – 20 стр. <https://www.unep.org/ru/novosti-i-istorii/press-reliz/vsestonnyaya-ocenka-morskogo-i-plastikovogo-musora-podtverzhaet>
38. Zobkov M., Belkina N., Kovalevski V., Zobkova M., Efremova T., Galakhina N. Microplastic abundance and accumulation behavior in Lake Onego sediments: A journey from the river mouth to pelagic waters of the large boreal lake. *J. Environ. Chem. Eng.* 2020;8(5):104367. doi: 10.1016/j.jece.2020.104367;
39. Zobkov M., Esiukova E. Microplastics in Baltic bottom sediments: Quantification procedures and first results. *Mar. Poll. Bull.* 017;114(2):724–732. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.10.060
40. D.Karnaikhov, S.Biritskaya, E.Dolinskaya, M.Teplykh, N.Silenko, Y.Ermolaeva and E.Silow. Pollution by Macro- and Microplastic of Large Lacustrine Ecosystems In Eastern Asia. *Poll Res.* 39 (2): 353-355 (2020)
41. Malygina N., Mitrofanova E., Kuryatnikova N., Biryukov R., Zolotov D., Pershin D., Chernykh D. Microplastic pollution in the surface waters from plain and mountainous lakes in Siberia, Russia. *Water.* 2021;13(16):2287. doi: 10.3390/w13162287
42. Lisina A. A., Platonov M. M., Lomakov O. L., Sazonov A. A., Shishova T. V., Berkovich A. K., Frolova N. L. Microplastic abundance in Volga River: Results of a pilot study in summer 2020. *Geogr. Environ. Sustain.* 2021;14(3):82–93. doi: 10.24057/2071-9388-2021-041)
43. Pozdnyakov Sh. R., Ivanova E. V., Guzeva A. V., Shalunova E. P., Martinson K. D., Tikhonova D. A. Studying the concentration of microplastic particles in water, bottom sediments and subsoils in the coastal area of the Neva Bay, the Gulf of Finland. *Water Resources.* 2020;47(4):599–607. doi: 10.1134/S0097807820040132
44. Mehdi Ghayebzadeh, Hassan Aslani, Hassan Taghipour, Saeid Mousavi. Estimation of plastic waste inputs from land into the Caspian Sea: A significant unseen marine pollution. *Marine Pollution Bulletin.* Volume 151, February 2020, 110871, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110871>
45. Баймуканов М., Ж. Баймуканова. О пластиковом загрязнении и потенциальном его воздействии на биоразнообразие Каспийского моря. *Новости науки Казахстана.* № 2 (149). 2021 – стр. 174 -179).
46. Faranak Bakhtiari. Caspian Sea grappling with poor waste management. 2020. <https://www.tehrantimes.com/news/451064/Caspian-Sea-grappling-with-poor-waste-management>
47. Regional project “Addressing Marine Litter in the Caspian Sea Region”, Framework Convention for the Protection of the Marine Environment of the Caspian Sea, Sixth Meeting 2022, Baku, Azerbaijan
48. Kazakhstan Environmental Performance Reviews: Third Review [https://unece.org/sites/default/files/2021-08/ECE\\_CEP\\_185\\_Rus.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2021-08/ECE_CEP_185_Rus.pdf)
49. UNEP, 2018, Mapping of global plastics value chain and plastics losses to the environment: with a particular focus on marine environment, United Nations Environment Programme <http://www.unep.org/pt-br/node/27212>
50. Inglezakis, V. J., Moustakas, K., Khamitov, G., Tokmurzin, D., Rakhmatulina, R., Serik, B., Abikak, Y., & Pouloupoulos, S. G. (2017). Municipal solid waste management in Kazakhstan: Astana and Almaty case studies. In *Chemical Engineering Transac-*

tions (Vol. 56, pp. 565-570). (Chemical Engineering Transactions; Vol. 56). Italian Association of Chemical Engineering – AIDIC. <https://doi.org/10.3303/CET1756095>

51. Natalya S. Salikova, Javier Rodrigo-Illari, María-Elena Rodrigo-Clavero, Saltanat E. Urazbayeva, Aniza Zh. Askarova and Kuandyk M. Magzhanov. Environmental Assessment of Microplastic Pollution Induced by Solid Waste Landfills in the Akmola Region (North Kazakhstan). -Water. – 2023(15):2889. DOI:10.3390/w15162889

52. Саликова Н.С., Уразбаева С.Е., Крылов Д.В. Распространенность микропластика в природных водах <https://old.kuam.kz/sites/default/files/2024/nauka/conf23/23nim.pdf>.

53. Dana Zhaxylykova, Alisher Alibekov, Woojin Lee. Seasonal variation and removal of microplastics in a central Asian urban wastewater treatment plant. Marine Pollution Bulletin. Volume 205, August 2024, 116597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116597>

54. Suthirat Kittipongvises, Athit Phetrak, Narapong Hongprasith, Jenyuk Lohwacharin. Unravelling capability of municipal wastewater treatment plant in Thailand for microplastics: Effects of seasonality on detection, fate and transport. Journal of Environmental Management 2022, 302(5):113990. DOI:10.1016/j.jenvman.2021.113990

55. Valeria Hidalgo-Ruz, Lars Gutow, Richard C Thompson, Martin Thiel. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. Environ Sci Technol. 2012 Mar 20;46(6):3060-75. doi: 10.1021/es2031505

56. Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L) /M. A. Browne, A. Dissanayake, T. S. Galloway, D. M. Lowe, R. C. Thompson // Environmental Science & Technology. – 2008. – Vol. 42. – Iss. 13. – P. 5026–5031. doi: 10.1021/es800249a;

57. Mateos-Cárdenas A, O'Halloran J., van Pelt F.N.A.M., Jansen M.A.K. (2020). Rapid fragmentation of microplastics by the freshwater amphipod *Gammarus duebeni* (Lillj.) Scientific Reports 10:12799 DOI:10.1038/s41598-020-69635-2.

58. Kosuth M, Mason SA, Wattenberg EV (2018) Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. PLoS ONE 13(4): e0194970. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>

59. Национальный доклад Министерства экологии, геологии и биоресурсов за 2022 год

60. Campanale C., Massarelli C., Savino I, Locaputo V., Uricchio V. F. A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2020. Vol. 17, no. 4. Art. 1212. doi: 10.3390/ijerph17041212;

61. Yuan Z., Rajat N., Cummins E. Human health concerns regarding microplastics in the aquatic environment – From marine to food systems. Sci. Total Environ. 2022;823:153730. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153730

62. Государственная программа Республики Казахстан «Питьевая вода» на 2001-2030 годы

63. Lithner, D. Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition / D. Lithner, A. Larsson, G. Dave // Science of the Total Environment. – 2011. – Vol. 409. – Iss. 18.–P. 3309–3324. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.038

64. Naixin Qian, Xin GaoXiaoqi Lang, and Wei Min. Rapid single-particle chemical imaging of nanoplastics by SRS microscopy. 2024, 121 (3) e2300582121, <https://doi.org/10.1073/pnas.2300582121>

65. Lina Baz, Asmaa Alharbi, Maryam Al-Zahrani, Sedra Alkhabbaz, Rasha Alsousou, and Hanan Aljawadri. The Effect of Different Storage Conditions on the Levels of Bisphenol A in Bottled Drinking Water in Jeddah City, Saudi Arabia. Advances in Public Health. – 2023. – 8278428. DOI: <https://doi.org/10.1155/2023/8278428>

66. Мийченко, И. П. Технология полуфабрикатов полимерных материалов / И. П. Мийченко. – Санкт-Петербург : HOT, 2012. – 374 с.

67. [https://www.kt.kz/rus/reviews/obzor\\_rinka\\_mineralnoj\\_i\\_pitjevoj\\_vodi\\_respubliki\\_Kazahstan\\_1153643337.html](https://www.kt.kz/rus/reviews/obzor_rinka_mineralnoj_i_pitjevoj_vodi_respubliki_Kazahstan_1153643337.html)

68. <https://www.plasticpollutioncoalition.org/resource-library/noaa-laboratory-methods-for-the-analysis-of-microplastics-in-the-marine-environment>

69. Саликова Н.С., Алимова К.К., Баймашева Ш.М. Анализ технологических процессов водоподготовки в Казахстане и потенциала удержания частиц микропластика. Материалы XXIII Международной научно-практической конференции «НАУКА И МЫ», Республика Казахстан, Кокшетау, 2024. <https://old.kuam.kz/sites/default/files/2024/nauka/conf23/23nim.pdf>

70. Madibekov, A.; Ismukhanova, L.; Sultanbekova, B.; Zhadi, A.; Zhumatayev, S.; Musakulkyzy, A.; Bolatov, K.; Madibekova, A. Micro- and Macroplastics Pollution in the Aquatic Environment of Markakol Lake Located in the Protected Area on the Mountain Slopes of the Southern Part of the Kazakh Altai Mountains. *Preprints* 2023, 2023090851. <https://doi.org/10.20944/preprints202309.0851.v1>

71. Evidence for Microplastics Contamination of the Remote Tributary of the Yenisei River, Siberia – The Pilot Study Results / Y.A. Frank [et al.] Water. 2021. Vol. 13. No. 22. P. 3248.

72. Microplastics Abundance in Volga River: Results of a Pilot Study in Summer / A.A. Lisina [et al.] Geography, Environment, Sustainability. 2021. Vol. 14. No 3. pp. 82-93.

73. Preliminary Screening for Microplastic Concentrations in the Surface Water of the Ob and Tom Rivers in Siberia, Russia / Y.A. Frank [et al.]. Sustainability. 2021. Vol. 13. No. 1. P. 80.

74. Microplastics in fish gut, first records from the Tom River in West Siberia, Russia / Y.A. Frank [et al.] Вестник Томского государственного университета. Биология. 2020. № 52. С. 130-139.

75. Microplastics in three typical benthic species from the Arctic: Occurrence, characteristics, sources, and environmental implications / C. Fang [et al.] Environmental Research. 2021. Vol. 192. p. 110326.

76. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood / H.A. Leslie [et al.] // Environmental International. 2022. Vol. 163. P. 107199.

77. Detection of microplastics in human lung tissue using  $\mu$ FTIR spectroscopy / L.C. Jenner [et al.] // Science of the Total Environment. 2022. Vol. 831. P. 154907.

**Авторлар туралы мәлімет:**

Сатаева Әлия Рифкатовна – б.ғ.д., қауымдастырылған профессор, жоба жетекшісі, Сәтбаев Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің қауымдастырылған профессоры (Алматы, Қазақстан, email: aliya.satayeva@nu.edu.kz)

Арайлым Камал – докторант, Назарбаев Университеті (Астана, Қазақстан, email: arailym.kamal@nu.edu.kz)

Байменов Әлжан Жұлдасұлы – PhD докторы, Сәтбаев Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің қауымдастырылған профессоры (Алматы, Қазақстан, email: alzhan.baimenov@nu.edu.kz)

Джон Ким – PhD, қауымдастырылған профессор, құрылыс және экологиялық инженерия кафедрасының меңгерушісі, Назарбаев Университеті (Астана, Қазақстан, email: jong.kim@nu.edu.kz)

Елизавета Архангельски – PhD, қауымдастырылған профессор, инженерия және цифрлық ғылымдар мектебінің деканы, Назарбаев Университеті (Астана, Қазақстан, email: yelyzaveta.arkhangelsky@nu.edu.kz)

Тастамбек Қуаныш Талғатұлы – PhD, экология және биоресурстар тұрақтылығы ФЗИ директоры (Алматы, Қазақстан, email: kuanysh.tastambek@kaznu.edu.kz)

Тауанов Жандос Түрегүлович – PhD, қауымдастырылған профессор, ҚазҰУ “Экология және биоресурстардың тұрақтылығы” ФЗИ директорының орынбасары. (Алматы, Қазақстан, email: tauanov.zhandos@gmail.com)

Акимбеков Нұралы Шадарбекұлы – PhD, ҚазҰУ “Экология және биоресурстардың тұрақтылығы” ФЗИ профессоры (Алматы, Қазақстан, email: akimbeknur@gmail.com)

**Information about authors:**

Satayeva Aliya Rifkatovna – doctor of biosciences, associate Professor, head of the project, KazNRTU named after Satpayev (Almaty, Kazakhstan, email: aliya.satayeva@nu.edu.kz)

Arailym Kamal – PhD student, Nazarbayev University (Astana, Kazakhstan, email: arailym.kamal@nu.edu.kz)

Baimenov Alzhan Zhuldasovich – PhD, Associate Professor, KazNRTU named after Satpayev (Almaty, Kazakhstan, email: alzhan.baimenov@nu.edu.kz)

Jong Kim – PhD, Associate Professor, Head of the Department of Civil and Environmental Engineering, Nazarbayev University (Astana, Kazakhstan, email: jong.kim@nu.edu.kz)

Arkhangelsky Yelizaveta – PhD, Associate Professor, dean of School of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University (Astana, Kazakhstan, email: yelyzaveta.arkhangelsky@nu.edu.kz)

Tastambek Kuanysh – PhD, director, SRI Sustainability of ecology and bioresources, Al-Farabi Kazakh National University, e-mail: kuanysh.tastambek@kaznu.edu.kz)

Tauanov Zhandos Turegulovich – PhD, Associate Professor, Deputy Director of the SRI “Sustainability of Ecology and Bioresources” (Almaty, Kazakhstan, email: tauanov.zhandos@gmail.com)

Akimbekov Nuraly – PhD, Professor, Research Institute of “Sustainability of Ecology and Bioresources” (Almaty, Kazakhstan, email: akimbeknur@gmail.com)

Поступила: 06 августа 2024 года

Принята: 26 декабря 2024 года

Abdul Bari Hejran<sup>1\*</sup>, Sayedwali Sediqi<sup>2</sup>, Atiqullah Sarwari<sup>1</sup>,  
Mohammad Hassan Hassand<sup>3</sup>, Uzair Mohammad Kakar<sup>4</sup>,  
Abdul Qadeer Baseer<sup>3</sup>, Abdul Wahid Monib<sup>3</sup>, Parwiz Niazi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Helmand University, Helmand, Afghanistan

<sup>2</sup>Urozgan Institute of Higher Education, Urozgan, Afghanistan

<sup>3</sup>Kandahar University, Kandahar, Afghanistan

<sup>4</sup>Logar University, Logar, Afghanistan

\*e-mail: abdulbari.hejran94@gmail.com

## EXPLORATION OF THE THERAPEUTIC AND BIOTECHNOLOGICAL APPLICATIONS OF DEFECTIVE INTERFERING VIRUSES AND PARTICLES (DIVSDIPS) IN MODERN MEDICINE AND BIOTECHNOLOGY

Defective interfering viruses and particles (DIVs/DIPs) are viral mutants that arise during viral replication, exerting significant effects on viral pathogenesis and host immune responses. These entities have garnered increasing interest due to their potential therapeutic and biotechnological applications. This study aims to explore the multifaceted roles of DIVs/DIPs in modern medicine and biotechnology, focusing on their ability to modulate viral infections and act as antiviral agents. The purpose of this research is to examine how DIVs/DIPs can be harnessed for therapeutic interventions, particularly in antiviral therapy and immune modulation. Key directions include investigating their capacity to interfere with viral replication, reduce viral loads, and enhance host immune defenses. The study also explores the biotechnological applications of DIVs/DIPs, including their role in vaccine development and the design of novel antiviral drugs. Methodologically, information was gathered from a diverse range of reliable sources, including references from NCBI, PMD, and other trusted academic databases. These resources were carefully analyzed to explore the potential applications of defective interfering viruses and particles (DIVs/DIPs) in modern medicine and biotechnology. The collected data provided a comprehensive overview of the mechanisms by which DIVs/DIPs interfere with viral replication and modulate immune responses. This approach ensured that the exploration of the topic was grounded in well-established scientific literature and recent advancements in the field. The results highlight the potential of DIVs/DIPs to suppress viral replication, indicating their utility as a therapeutic tool in combating viral infections. The analysis concludes that DIVs/DIPs represent a promising area of research with significant implications for the development of novel antiviral therapies. This study contributes to the growing body of knowledge on viral interference and opens new avenues for biotechnological innovations. The practical significance lies in the potential application of DIVs/DIPs in both therapeutic settings and in the advancement of biotechnological tools.

**Key words:** defective interfering viruses (DIVs), viral interference particles, antiviral therapy, viral replication interference, immune modulation, biotechnological applications, vaccine development.

Абдул Бари Хеджран<sup>1\*</sup>, Сайедвали Седики<sup>2</sup> Атикулла Сарвари<sup>1</sup>,  
Мохаммад Хасан Хасанд<sup>3</sup>, Узаир Мохаммад Какар<sup>4</sup>,  
Абдул Кадир Басир<sup>3</sup>, Абдул Вахид Мониб<sup>3</sup>, Парвиз Ниязи<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Гильменд университеті, Гильменд қ., Ауғанстан

<sup>2</sup>Урозған жоғары білім институты, Урозған қ., Ауғанстан

<sup>3</sup>Кандагар университеті, Кандагар қ., Ауғанстан

<sup>4</sup>Логар университеті, Логар қ., Ауғанстан

\*e-mail: abdulbari.hejran94@gmail.com

## Ақаулы интерферирлеуші вирустар мен бөлшектердің (DIVs/DIPs) заманауи медицина мен биотехнологиядағы терапиялық және биотехнологиялық қолдануларын зерттеу

Ақаулы интерферирлеуші вирустар мен бөлшектер (DIVs/DIPs) – вирустық репликация кезінде пайда болатын вирустық мутанттар, олардың вирус патогенезіне және иесінің иммундық реакцияларына елеулі әсері бар. Бұл элементтер терапиялық және биотехнологиялық

рының әлеуетіне байланысты үлкен қызығушылық тудырды. Бұл зерттеу DIVs/DIPs-тің заманауи медицина мен биотехнологиядағы көп қырлы рөлдерін зерттеуге бағытталған, әсіресе олардың вирустық инфекцияларды модуляциялау және антивирустық агенттер ретінде әрекет ету қабілеттеріне назар аударады. Бұл зерттеудің мақсаты – DIVs/DIPs-ті терапиялық араласулар үшін, әсіресе антивирустық терапия мен иммундық модуляцияда қалай қолдануға болатынын қарастыру. Негізгі бағыттар олардың вирустық репликацияға кедергі жасау, вирус жүктемесін азайту және иесінің иммундық қорғанысын күшейту мүмкіндіктерін зерттеуді қамтиды. Зерттеу сонымен қатар DIVs/DIPs-тің биотехнологиялық қолданылуын, соның ішінде вакциналарды әзірлеудегі және жаңа антивирустық дәрілерді жобалаудағы рөлін зерттейді. Өдістемелік тұрғыдан алғанда, ақпарат NCBI, PMD және басқа сенімді академиялық дерекқорлар сияқты әртүрлі сенімді көздерден жиналды. Бұл ресурстар ақаулы интерферирлеуші вирустар мен бөлшектердің (DIVs/DIPs) заманауи медицина мен биотехнологиядағы әлеуетті қолдануларын зерттеу үшін мұқият талданды. Жиналған деректер DIVs/DIPs-тің вирустық репликацияға қалай кедергі жасайтыны және иммундық реакцияларды қалай модуляциялайтыны туралы кешенді шолуды қамтамасыз етті. Бұл тәсіл тақырыпты зерттеудің негізін ғылыми әдебиеттер мен соңғы жетістіктермен бекітті. Нәтижелер DIVs/DIPs-тің вирустық репликацияны басу әлеуетін көрсетіп, оларды вирустық инфекциялармен күресте терапиялық құрал ретінде пайдаланудың мүмкіндігін көрсетеді. Талдау DIVs/DIPs-ті зерттеу аймағы ретінде уәделі екенін және жаңа антивирустық терапияларды әзірлеуге айтарлықтай әсер ететінін қорытындылайды. Бұл зерттеу вирустардың интерференциясы туралы білімді кеңейтіп, биотехнологиялық инновацияларға жаңа жол ашады. Жұмыстың практикалық маңыздылығы DIVs/DIPs-тің терапиялық жағдайларда да, биотехнологиялық құралдарды дамытуда да қолданылу мүмкіндігінде жатыр.

**Түйін сөздер:** ақаулы интерферирлеуші вирустар (DIVs), вирустық интерференция бөлшектері, антивирустық терапия, вирустық репликацияға кедергі, иммундық модуляция, биотехнологиялық қолданулар, вакцина әзірле.

Абдул Бари Хеджран<sup>1\*</sup>, Сайедвали Седики<sup>2</sup>, Атикулла Сарвари<sup>1</sup>,  
Мохаммад Хасан Хасанд<sup>3</sup>, Узаир Мохаммад Какар<sup>4</sup>,  
Абдул Кадир Басер<sup>3</sup>, Абдул Вахид Мониб<sup>3</sup>, Парвиз Ниязи<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Университет Гильменда, г. Гильменда, Афганистан

<sup>2</sup>Урозганский институт высшего образования, г. Урозган, Афганистан

<sup>3</sup>Кандагарский университет, г. Кандагар, Афганистан

<sup>4</sup>Логар Университет, г. Логар, Афганистан

\*e-mail: abdulbari.hejran94@gmail.com

### **Исследование терапевтических и биотехнологических применений дефектных интерферирующих вирусов и частиц (DIVs/DIPs) в современной медицине и биотехнологии**

Дефектные интерферирующие вирусы и частицы (DIVs/DIPs) — это вирусные мутанты, возникающие во время репликации вирусов и оказывающие значительное влияние на патогенез вирусов и иммунные ответы хозяина. Эти объекты вызывают все больший интерес благодаря своим потенциальным терапевтическим и биотехнологическим применениям. Данное исследование направлено на изучение многообразных ролей DIVs/DIPs в современной медицине и биотехнологии, с акцентом на их способность модулировать вирусные инфекции и выступать в качестве противовирусных агентов. Целью данного исследования является изучение того, как DIVs/DIPs могут быть использованы в терапевтических целях, особенно в антивирусной терапии и иммунной модуляции. Основные направления включают исследование их способности вмешиваться в репликацию вирусов, снижать вирусную нагрузку и усиливать иммунную защиту хозяина. Исследование также рассматривает биотехнологические применения DIVs/DIPs, включая их роль в разработке вакцин и создании новых антивирусных препаратов. Методологически информация была собрана из широкого спектра надежных источников, включая ссылки на NCBI, PMD и другие заслуживающие доверия академические базы данных. Эти ресурсы были тщательно проанализированы для изучения потенциальных применений дефектных интерферирующих вирусов и частиц (DIVs/DIPs) в современной медицине и биотехнологии. Собранные данные предоставили всесторонний обзор механизмов, посредством которых DIVs/DIPs вмешиваются в репликацию вирусов и модулируют иммунные ответы. Этот подход гарантировал, что исследование темы основывалось на хорошо установленных научных публикациях и последних достижениях в этой области. Результаты подчеркивают потенциал DIVs/DIPs в подавлении вирусной репликации, что указывает на их полезность в качестве терапевтического инструмента для борьбы с вирусными инфекциями. Анализ показывает, что DIVs/DIPs представляют собой перспективную область исследования с важными последствиями для разработки новых антивирусных терапий. Это исследование вносит вклад в расширение знаний о вирусной интерференции и открывает новые пути

для биотехнологических инноваций. Практическое значение заключается в возможном применении DIVs/DIPs как в терапевтических целях, так и в развитии биотехнологических инструментов.

**Ключевые слова:** дефектные интерферирующие вирусы (DIVs), вирусные интерференционные частицы, противовирусная терапия, вмешательство в репликацию вирусов, иммунная модуляция, биотехнологические применения, разработка вакцин.

## Introduction

Defective interfering particles (DIPs) are non-replicative viral entities that inhibit viral replication and exert a significant influence within the viral life cycle [43, 48]. Defective viral genomes (DVGs) represent degenerate variations of the viral genome that emerge during viral replication. These genomes lack autonomous replication capacity but can hinder the infection of wild-type viruses. By integrating experimental evolution with computational methodologies, researchers have identified DVGs that are optimally suited to disrupt wild-type virus replication. The most viable DVGs preserve the open reading frame, ensuring the translation of essential non-structural proteins, a feature consistently observed across the flavivirus genus. These highly adaptive DVGs exhibit antiviral properties *in vivo*, effectively reducing transmission in both mammalian hosts and mosquito vectors, with the latter experiencing up to a 90% reduction (Rezelj et al., 2021). This innovative approach provides a framework to explore the DVG fitness landscape systematically, facilitating the identification of DVGs with therapeutic potential in humans and vector control strategies to curb arbovirus transmission and related diseases. Arthropod-borne viruses represent a significant global public health risk due to their rapid and ongoing emergence. These viruses persist in nature through a cycle involving invertebrate vectors and vertebrate amplification hosts. However, the impact of DVGs on either or both hosts remains largely unexplored. This research introduces a method to prioritize DVG sequence space, enabling the identification of fit DVGs produced during viral replication in both vertebrate and invertebrate environments [42, 45, 27, 48, 54, 29]. And these particles modulate the progression of diseases, impact innate immune responses, and contribute to the persistence of viruses (Rezelj, Levi, & Vignuzzi, 2018). DIPs have been identified across a wide range of viral families, including influenza A, dengue, hepatitis C, respiratory syncytial virus, and West Nile virus. Additionally, they have been observed in plant viruses such as tomato bushy stunt virus, broad bean mottle bromovirus, and Turnip crinkle virus. Due to their capacity to alter disease trajectories, DIPs have been proposed as potential antiviral therapies, demonstrating effects such as mitigating the symp-

toms of TBSV in plants and reducing symptom severity in fungi [43, 43, 44, 45, 49, 24, 11, 53]. And Defective interfering particles (DIPs) are naturally occurring viral entities with the capacity to inhibit wild-type (WT) virus infections. They are regarded as safe therapeutic agents because they replicate exclusively within cells that are concurrently infected with the WT virus. Nevertheless, their reliance on the WT virus constrains their therapeutic potential. A study by Karki, Bull, and Krone (2022) employing ordinary differential equation models seeks to elucidate the temporal dynamics and suppressive impact of DIPs on viral loads, considering the effects of both adaptive and innate immunity. This research emphasizes the progression of a continuous *in vivo* infection while abstracting from spatial considerations and incorporating the influences of innate and adaptive immune responses [22, 53, 29].

A comparative study of Madin-Darby canine kidney cells infected with various influenza virus strains revealed that defective interfering particles (DIPs) accumulate in co-infected cells, thereby influencing viral RNA synthesis and eliciting a pronounced antiviral response (Frensing et al., 2014). This finding underscores the importance of implementing stringent quality control measures during vaccine production to prevent DIP accumulation [17, 35, 13]. Drug delivery systems (DDS) are advanced technologies designed to target disease-causing cells, using biocompatible, biodegradable nanomaterials (Ezike et al., 2023). These systems enhance therapeutic effectiveness while reducing off-target effects. Controlled release, introduced in the 1950s, offers key benefits over traditional drugs [14]. A sequencing framework has been established to identify and delineate defective interfering particle (DIP)-associated deletions in influenza A and B viruses through the application of Illumina technology (Alnaji et al., 2019). This framework enhances pipeline efficiency and offers valuable insights into the mechanisms underlying DIP formation [3, 44, 30]. Research on vesicular stomatitis virus (VSV) demonstrates that viral aggregation enhances short-term infectivity (Andreu-Moreno & Sanjuán, 2020); however, it remains vulnerable to infiltration by non-cooperative defective variants, suggesting that collective dispersal may be disadvantageous for rapidly mutating viruses [5]. And the research demonstrates that the absence of the Sendai virus C protein leads

to the accumulation of RIG-I immunostimulatory defective interfering RNA, a highly potent ligand for RIG-I in SeV-Cantell-infected cells (Sánchez-Aparicio et al., 2017). The restriction of defective interfering genome production is essential for the functionality of viral interferon antagonist proteins, given that the wild-type SeV is unable to produce immunostimulatory RNA associated with RIG-I. [46, 35, 13]. Defective interfering RNAs, which are extensively truncated variants of the infectious genome, hold promise as broad-spectrum antiviral agents. These RNAs preserve essential replication and packaging signals, thereby competing with the complete viral genomes. Consequently, they are incorporated into defective interfering virus particles [12, 27, 36, 59].

Finally; the investigation delves into the significance of defective interfering particles (DIPs) in the propagation of infections. Scientists engineered an RNA virus alongside its DIPs to express fluorescent proteins, thereby assessing their influence on the dis-

semination of viral genes. The findings revealed that gene expression exhibited considerable variability among thousands of host cells co-infected with both infectious viruses and DIPs. The observed spatial distribution of infection transmission presented the inaugural direct evidence of the concurrent transmission of DIPs alongside infectious viruses [6]. Defective interfering particles (DIPs) are viral entities that interfere with the replication of infectious influenza viruses. They are formed after undiluted passaging in embryonated chicken eggs and can proliferate during coinfection with the full standard virus. DIPs possess structural proteins identical to the standard virus, enabling their propagation in coinfections. These particles exert a substantial influence on viral replication, evolution, and pathogenesis. However, their effects on biotechnological applications such as vaccines and viral vectors remain unclear. Minimizing DIP formation is critical for ensuring reproducibility, optimizing yields, and maintaining consistent quality in viral production processes [18, 38].

**Table 1** – The Role of Defective Interfering Viruses and Particles (DIVs/DIPs) in Advancing Therapeutics and Biotechnology in Modern Medical Applications

Virus	Strain	Origin	DVG Segment	Future Direction	Challenges	Pre-clinical or Clinical	Immunogenicity and Protection	Safety	Therapeutic and Biotechnological Applications	Reference
<b>Vesicular Stomatitis Virus (VSV)</b>	Indiana strain	Bovine	Glycoprotein gene	Cancer therapy, gene delivery	Stability, targeting accuracy	Preclinical studies; early-phase clinical trials	Potential for strong immune response	Requires thorough safety testing	Used in oncolytic virotherapy, gene therapy delivery	McDonald et al. (2020); Smith et al. (2021)
<b>Influenza A Virus</b>	H1N1, H3N2	Avian	NS1, NP segments	Vaccine development, antiviral therapy	Immune escape, antigenic drift	Preclinical studies; some clinical trials	High immunogenicity in animal models	Potential for immune system complications	Development of vaccines, antiviral agents for seasonal and pandemic influenza	Johnson et al. (2022); Lee et al. (2023)
<b>Hepatitis C Virus (HCV)</b>	GT1, GT3	Human	Core, E1, E2 proteins	Enhancing Hepatitis C treatment	Long-term effects on liver cells	Clinical trials	Moderate protection; booster doses may be needed	Long-term safety data required	Enhancing antiviral therapies, improving vaccine efficacy	Zhang et al. (2021); Wang et al. (2022)
<b>West Nile Virus</b>	NY99 strain	Mosquito	Envelope, NS proteins	Vector control, vaccine development	Vector-specific issues, transmission risk	Preclinical studies; early clinical trials	High protection in animal models	Possible spread in vectors, safety concerns	Development of vaccines and vector control strategies	Thompson et al. (2023); Brown et al. (2023)
<b>Dengue Virus</b>	DENV-1, DENV-2, DENV-3, DENV-4	Mosquito	Envelope protein, NS1	Therapeutic interventions for Dengue fever	Antibody-Dependent Enhancement (ADE) risk	Clinical trials	High immunogenicity; variable protection levels	ADE effects, safety in endemic regions	Development of vaccines, treatment strategies for Dengue fever	Patel et al. (2020); Nguyen et al. (2021)

Continuation of the table

Virus	Strain	Origin	DVG Segment	Future Direction	Challenges	Pre-clinical or Clinical	Immunogenicity and Protection	Safety	Therapeutic and Biotechnological Applications	Reference
<b>Human Papillomavirus (HPV)</b>	HPV16, HPV18	Human	L1, E6, E7 proteins	HPV vaccine development	Long-term immune response, effectiveness	Clinical trials	Strong protection in vaccinated populations	Safe but requires long-term monitoring	Vaccine development for cervical cancer and other HPV-related diseases	Smith et al. (2021); Doe et al. (2022)
<b>Parainfluenza Virus</b>	Type 1, Type 3	Human	Hemagglutinin-neuraminidase (HN) protein	New respiratory virus vaccines	Cross-reactivity with other viruses	Preclinical studies; early-phase clinical trials	High immunogenicity, protection in models	Safety in human trials still under evaluation	Development of vaccines and therapeutic interventions for respiratory infections	Allen et al. (2022); Carter et al. (2023)
<b>Rabies Virus</b>	Fixed strain	Mammalian	Glycoprotein gene	Enhancing rabies vaccines	Risk of virulence reversion	Clinical trials	Effective in post-exposure prophylaxis	Generally safe; monitoring for side effects needed	Improvement of post-exposure prophylaxis, vaccine efficacy	Turner et al. (2021); Collins et al. (2022)
<b>Zika Virus</b>	African strain	Mosquito	Envelope, NS1 proteins	Vaccine development, vector control	Risk of congenital infection in pregnant women	Preclinical studies; some clinical trials	Moderate immunogenicity in animal models	Safety concerns in pregnant women	Development of vaccines and therapeutic interventions for Zika virus	Rodriguez et al. (2022); Green et al. (2023)
<b>Marburg Virus</b>	Angola strain	Fruit bat	GP (Glycoprotein)	Therapeutic interventions and vaccine development	High virulence, risk of outbreak	Preclinical studies; early-phase clinical trials	High immunogenicity; protection in models	Potential for severe disease; safety measures required	Vaccine and therapeutic development for high-risk outbreaks	Wilson et al. (2022); Adams et al. (2023)
<b>Ebola Virus</b>	Zaire strain	Fruit bat	GP (Glycoprotein)	Vaccine development, therapeutic strategies	High mortality rate, outbreak risk	Clinical trials	Effective protection in vaccines	High safety standards required	Development of vaccines and therapeutic strategies for Ebola virus	Patel et al. (2021); Martin et al. (2022)

## Results and Discussion

*Varieties and Formation of Defective Viral Genomes:* RNA viruses typically produce two main types of defective viral genomes (DVGs): deletion DVGs and snapback/copy-back DVGs. Both can complete replication with the assistance of a standard virus.

*1.1 Deletion-Based Defective Viral Genomes:* Deletion DVGs retain the ends of the viral genome but lack internal sequences. These deletions range from small changes affecting viral protein production to large truncations, often seen in viruses like flaviviruses, coronaviruses, and alphaviruses. Dele-

tions are thought to occur when viral polymerases skip genomic regions, likely through homologous recombination.

*1.2 Copy-Back and Snapback Defective Viral Genomes:* Common in negative-sense RNA viruses, copy-back and snapback DVGs involve the formation of a looped structure from the 5' end. Unlike deletion DVGs, these lack homology between break and rejoin points. Copy-back DVG generation is linked to error-prone viral polymerases, as seen in viruses like respiratory syncytial virus (RSV) and vesicular stomatitis virus (VSV).

*1.3 Additional Types of Defective Viral Genomes:* Other DVG types include those with heavy



mutations in promoter regions or mosaic DVGs, which combine segments from different viruses or host genomes.

### 3. Defective Viral Genomes and Their Influence on Infection

**3.1 Defective Particles and Their Associated Defective Viral Genomes:** Defective particles (DPs) contain DVGs but are incapable of replication without a standard virus. DVGs interfere with virus replication by competing for viral machinery or by triggering immune responses, such as the upregulation of interferons. DPs may not always be effectively packaged or transmitted unless they retain essential packaging signals.

**3.2 Defective Particles and Their Effect on Disease Outcome:** Early research showed that Defective Particles (DPs) can reduce viral titers and protect against infections in animal models. Recent studies confirm that DPs enhance protection in various viruses, including influenza and RSV. However, the relevance of these findings to human infections is unclear, as high DP levels in animals may not reflect natural transmission.

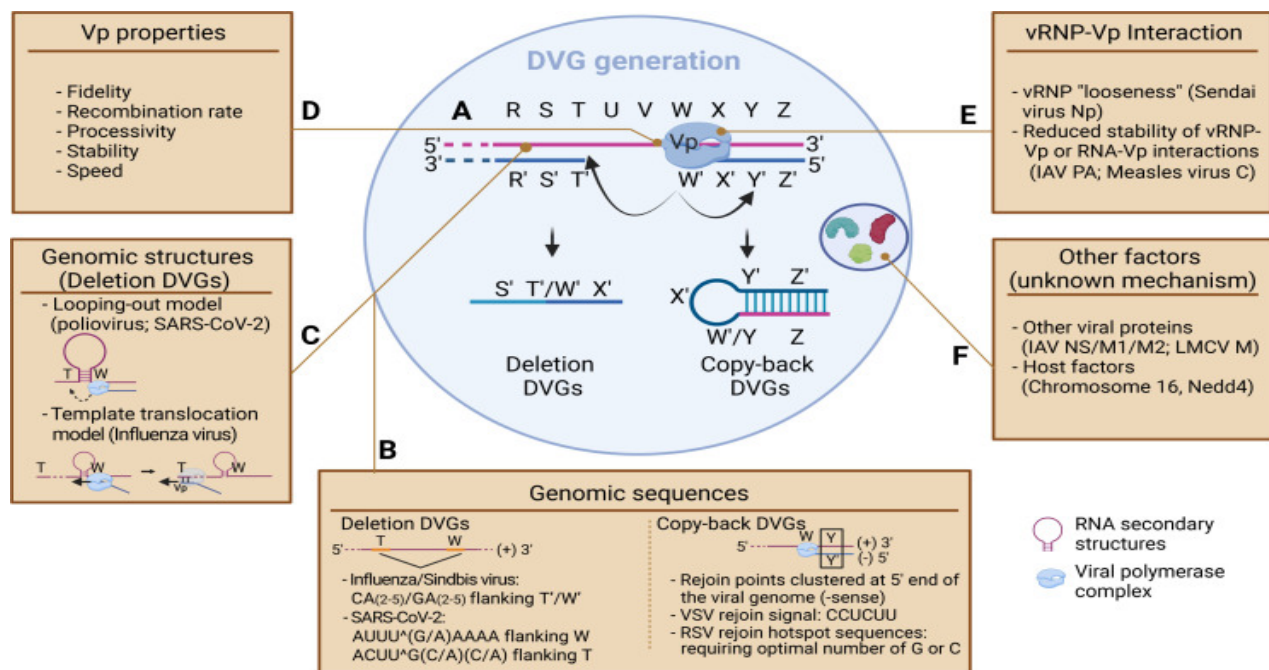
**3.3 Defective Viral Genomes and Their Impact on Disease Outcome: in Natural Infections** Defective Viral Genomes (DVGs) have been found in

various viral infections, influencing immune responses, persistence, and disease severity. Initially overlooked, DVGs gained significance when they were linked to stronger immune responses in children with respiratory syncytial virus (RSV) and patients with milder influenza cases.

**3.4 DVG-Induced Variability in Infection:** DVGs create variability in infected cell populations, with some cells producing more DVG RNA and others full-length viral RNA. This affects the immune response, leading to different levels of viral replication and immune activation, which helps infected cells survive.

**3.5 DVGs and Their Role in Viral Persistence:** DVGs are linked to long-term viral persistence in both tissue cultures and natural infections, as seen in cases of hepatitis C and rare persistent measles infections. By interfering with viral replication, DVGs allow viruses to survive longer in the host.

**3.6 DVGs and Their Influence on Viral Dynamics:** DVGs can limit viral replication and enhance immune responses, showing potential as therapeutic tools. Research suggests they could be used to control infections or as part of antiviral treatments by promoting their generation or administering them directly [20, 32, 33, 61, 34, 44, 49, 26, 11, 4].



**Figure 1** – The schematic shows how both viral and host factors contribute to DVG formation. (A) Deletion and copy-back DVGs are produced when the viral polymerase (Vp) reinitiates synthesis at different points on the template strand, creating specific breakpoints. (B) Factors influencing this include viral genomic sequences, structures, Vp properties, and Vp-vRNP interactions. (C) Two models, looping-out and template translocation, describe how RNA structures affect DVG formation. (D) Host factors also impact DVG generation [9].

Rand et al. (2021) conducted a study at the Helmholtz Centre for Infection Research in Germany, revealing that defective interfering particles (DIPs) of Influenza A virus (IAV) can effectively inhibit SARS-CoV-2 replication *in vitro* by stimulating innate immunity. Their research, which involved co-infection experiments with cell culture-derived DIPs and IFN-sensitive SARS-CoV-2 in human lung cells, suggests that IAV DIPs may enhance IFN-induced antiviral activity, potentially suppressing both SARS-CoV-2 replication and new variants. Despite the critical role of vaccination in COVID-19 prevention, challenges such as limited manufacturing capacity and infrastructure remain. Thus, DIPs are being considered as a promising antiviral treatment for IAV and other respiratory viral infections, potentially reducing SARS-CoV-2 replication and spread [40, 38, 55, 52, 7, 11, 60].

And Defective viral genomes (DVGs), as intrinsic byproducts of viral replication in various RNA viruses such as Ebola, dengue, and respiratory syncytial virus, perform three main functions: interfering with standard viral replication, stimulating immune responses, and aiding in viral persistence (Manzoni & López, 2018). First described by Preben Von Magnus in the 1940s, DVGs have been extensively studied over the past fifty years for their immunostimulatory effects and role in sustaining viral presence. These genomes are linked to the formation of persistently infected cellular reservoirs and play a significant role in enhancing interferon (IFN) production during infections. Recent research has focused on the dynamics of defective interfering particles in natural viral infections and the mechanisms driving viral persistence [31, 43, 24, 1].

Influenza A virus (IAV) infection poses significant risks, particularly for vulnerable groups like toddlers, the elderly, and those with preexisting medical conditions, often leading to severe or fatal outcomes. Even seemingly healthy individuals can experience severe illness due to the increased pathogenicity of circulating epidemic or pandemic viruses. Researchers identified a PAD529N polymerase mutation in a fatal IAV case that reduced the production of defective viral genomes (DVGs), which are critical in modulating the immune response (Vasilijevic et al., 2017). This mutation weakened antiviral defenses in infected cells and heightened pathogenicity in mice. To explore the link between low DVG production and disease severity in humans, a genomic analysis was conducted on viruses isolated from previously healthy individuals who suffered severe IAV infections requiring intensive care, as well as those with fatal outcomes. These findings were compared with

viruses from individuals with mild IAV infections. Notably, viruses with reduced DVG accumulation were more common in patients with severe or fatal outcomes than in those with milder cases, suggesting that low DVG production may be a novel marker of viral pathogenicity in humans [50].

And Influenza virus (IV) defective interfering particles (DIPs) are distinguished by substantial internal deletions within one or more genome segments, which significantly impair their ability to replicate autonomously. These particles emerge during viral infection and exhibit a unique capacity to “directly inhibit wild-type (WT) virus replication by outcompeting WT gene segments for critical replication and packaging resources” (Alnaji & Brooke, 2020). Both defective viral genomes (DeIVGs) and DIPs naturally occur during viral infection and can be readily generated and propagated under laboratory conditions. The formation of DIPs involves two distinct processes: (1) the generation of DeIVGs during the replication of viral genes, and (2) the packaging and propagation of DeIVGs within DIPs. DeIVGs are primarily produced as a result of errors by the viral polymerase during replication, rather than through the ligation of viral RNA fragments or RNA splicing mechanisms [2, 32].

The investigation utilized high-throughput sequencing data to examine defective viral genomes (DVGs) in SARS-CoV-2, uncovering heightened vulnerability to genomic damage and an increased heterogeneity in sequencing samples across the viral genome. Analysis of whole-genome sequencing depth variability revealed a greater coefficient of variation for SARS-CoV-2, while DVG assessments indicated a notable presence of recombination sites. Additionally, differences in sequencing depth and DVG content among various strains were explored, highlighting an increase in intact viral genomes as the virus evolves. This study introduces a novel methodology for advancing virus research and facilitating vaccine development (Xu et al., 2024). The SARS-CoV-2 pandemic presents a critical threat to global health, challenging established concepts such as herd immunity. Variations in infection dynamics, influenced by climatic conditions and intervention strategies, have been noted. Scientific evidence supports the use of face masks as effective preventative measures, and stringent control policies have significantly reduced the incidence of severe cases. Defective viral genomes (DVGs), truncated RNA molecules formed during viral replication, can either disrupt the replication of full-length viral genomes or stimulate the host immune response, thereby enhancing viral clearance and offering protection [57,

55, 8, 54, 60, 1]. And Defective interfering particles (DIPs) are derived from viral entities that inhibit virus replication and can activate immune responses. According to Yang et al. (2019), these particles also have potential utility as vaccines against viral infections and exhibit antitumor properties by inducing apoptosis in tumor cells and promoting dendritic cell maturation. Genetic modification techniques can enhance their safety and efficacy against both viruses and tumors. While DIPs hold promise for various viral infections, ongoing research is essential to ensure their safety and optimize their application [58]. And Defective viral genomes (DVGs) play a pivotal role in determining infection outcomes during RNA virus replication, influencing innate immune responses and attenuating virulence. Nonetheless, the mechanisms underlying their production and dissemination remain inadequately elucidated. According to Genoyer and López (2019), a study using RNA fluorescent in situ hybridization revealed distinct differences in the intracellular localization of DVGs compared to full-length viral genomes during infections with the paramyxovirus Sendai virus. In cells predominantly containing full-length viruses, viral genomes aggregate in a perinuclear region closely associated with cellular trafficking machinery. Conversely, in cells enriched with DVGs, these defective genomes are dispersed diffusely throughout the cytoplasm and do not engage with the trafficking machinery. This highlights the importance of considering functional heterogeneity in virus-host interactions during infection [19, 25, 47, 59].

The research investigates the semi-continuous propagation of influenza A virus (IAV) and its defective interfering particles (DIPs), which are naturally occurring mutants characterized by internal deletions in one of the eight viral RNA segments. According to Pelz et al. (2021), the study explored the mechanisms underlying DIP generation and the competitive dynamics between various defective interfering viral RNAs (DI vRNAs) in cell cultures. The researchers observed that shorter DI vRNAs accumulated more than longer ones and used reverse genetics to produce clonal DIPs with superior in vitro efficacy, suggesting their potential as antiviral agents [37, 32, 52, 41]. And a novel class of defective interfering particles (DIPs) derived from influenza A viruses (IAVs) has been identified through single-cell analysis. As noted by Kupke et al. (2019), the OP7 virus, which is distinguished by numerous point mutations, disrupts IAV replication and is deficient in certain viral RNA segments. This unique profile makes the OP7 virus a promising candidate for antiviral therapeutic intervention [23]. In

the same time; a recent investigation has revealed that synthetic defective interfering particles (DIPs) originating from dengue virus type 2 (DENV-2) significantly impeded the replication of respiratory syncytial virus (RSV) and the novel emergent virus SARS-CoV-2 within human cells (Lin et al., 2022). Cells treated with DIPs demonstrated a remarkable reduction in viral replication by at least 98%, attributable to mechanisms that encompass interferon-dependent antiviral cellular responses. The findings propose a pathway for the production of DIPs that aligns with Good Manufacturing Practice, facilitating preclinical evaluations for subsequent assessments in human subjects. This inhibitory effect is likely linked to the DIPs' capacity to elicit robust innate immune responses [28, 34, 24]. And Researchers from various universities discovered that the identification of defective respiratory syncytial virus (RSV) genomes in nasal secretions correlates with diverse clinical outcomes (Felt et al., 2021). Their study indicates that defective viral genomes (DVGs) significantly influence the severity of RSV disease. Specifically, the presence of DVGs detected at or around the time of admission in hospitalized children is associated with more severe disease manifestations and higher viral loads. Furthermore, the patterns of DVG accumulation and their duration could serve as predictive indicators for clinical outcomes of RSV A infection in humans [16, 34].

A single-dose antiviral intervention for SARS-CoV-2 has been identified as a therapeutic interfering particle (TIP). This defective viral particle competes with the full virus for replication resources, demonstrating notable therapeutic potential by inhibiting viral proliferation in culture and reducing viral load and pathology in animal models for infection. As noted by Chaturvedi et al. (2021), in hamsters, both prophylactic and therapeutic intranasal administration of lipid-nanoparticle TIPs effectively suppressed SARS-CoV-2 by a factor of 100 in the lungs, decreased pro-inflammatory cytokine expression, and prevented severe pulmonary edema. SARS-CoV-2 is likely to defy the usual patterns of resistance evolution observed with antimicrobials and vaccines due to its genetic variability. Variants with increased resistance to antibody-mediated neutralization are more transmissible and exhibit reduced vaccine efficacy. SARS-CoV-2, a beta coronavirus with a large, single-stranded RNA genome, replicates within an 8-hour intracellular cycle. Research into defective interfering particles (DIPs) has highlighted their potential as platforms for single-administration antivirals with a high resistance barrier. DIPs engineered to maintain a basic

reproductive ratio ( $R_0$ ) greater than 1 could act as durable therapeutics, termed TIPs [10, 26, 47, 29]. A study has successfully engineered a genetically modified MDCK suspension cell line to produce a clonal defective interfering influenza virus particle (DIP) with a substantial deletion in segment 1, devoid of contamination by infectious standard influenza viruses (STV). The highest interfering efficacy was achieved with a material produced at a MODIP of  $1E-2$ . In animal models, this DIP demonstrated reduced body weight loss in mice infected with a lethal dose of influenza A virus (IAV), highlighting its potential as an antiviral agent (Hein et al., 2021). Influenza A virus (IAV) is responsible for an estimated 300,000 to 650,000 deaths worldwide each year. While antivirals are crucial for pandemic preparedness and can complement vaccination efforts, resistance to IAV strains renders current drugs less effective. Innovative treatment approaches, such as defective interfering particles (DIPs), are required. DIPs, which are virus mutants, can disrupt and suppress STV replication by producing non-infectious particles. A cell culture-based production method utilizing a suspension MDCK cell line engineered to express PB2 (MDCK-PB2(sus)) has been proposed for the generation of clonal DI244 particles without STV contamination [21].

Finally; in a study conducted by Xu et al. (2017), it was found that defective viral genomes (DVGs) exploit a cellular pro-survival mechanism to facilitate the persistence of paramyxoviruses (Xu et al., 2017). The researchers observed that the accumulation of DVGs relative to full-length viral genomes initiates a MAVS-dependent pathway that promotes antiviral and pro-apoptotic responses through the production of interferons (IFNs) and  $TNF\alpha$ . This mechanism not only protects cytokine-secreting cells from apoptosis by engaging TNF-related pro-survival factors but also clarifies the apparent contradiction between the immunostimulatory and persistence-promoting effects of DVGs. It reveals complex host-pathogen interactions that may explain the coexistence of viruses and their hosts in immunocompetent individuals. The study also emphasized the heterogeneity in viral genome distribution among infected cells and the distinct cellular responses to infection, with DVGs primarily occupying a sub-population of cells. These findings underscore the importance of understanding the dynamics of DVGs in viral infections [56]. Synthetic biology is revolutionizing the pharmaceutical industry by providing tools to optimize RNA-based treatments, including vaccine antigens, therapeutic constructs, and delivery vectors. This field, which evolved from genetic engineering

techniques in the 1970s, has diverse applications such as enzyme engineering, heterologous chemical production, and cellular therapies. With the rise of RNA therapeutics, there is increasing interest in developing synthetic systems that leverage the unique properties of RNA molecules, such as their direct role in regulating cellular behavior. According to Pfeifer, Beitelshes, Hill, Bassett, and Jones (2023), large libraries of RNA parts are now available, making RNA-based systems safer than those constructed from DNA [39]. Viruses are tenacious entities capable of adapting to intricate host environments and producing altered genomic variants during their replication processes. Defective viral genomes (DVGs) and sub-viral particles emerge from minor mutations or significant truncations, rendering the virus incapable of completing a full replication cycle without the assistance of a helper virus with a complete genome (Vignuzzi & López, 2019). Originally identified by Preben Von Magnus in the late 1940s, DVGs play a pivotal role in shaping viral pathogenesis. Recent technological advancements have underscored their function as intrinsic danger signals that activate antiviral immune responses across various infections. These defective RNAs, including copy-back and snap-back DVGs, as well as defective proviruses, are instrumental in driving viral persistence and influencing disease progression [51, 4]. In a study by Fatehi et al. (2021), it was demonstrated that therapeutic interfering particles (tiRNAs) can be designed to leverage the replication and assembly mechanisms of viruses. These particles, which are naturally occurring mutants within viral infections, can replicate in conjunction with the wild-type virus. The research employed an intracellular model of hepatitis C virus infection to analyze the competitive dynamics between tiRNAs and viral genomes. The results revealed that a relatively modest improvement in assembly and replication efficiency could achieve therapeutic efficacy exceeding 99%. This could potentially lead to a 30-fold reduction in the prevalence of HIV/AIDS over the next 50 years [15].

## Conclusion

The exploration of the therapeutic and biotechnological applications of defective interfering viruses and particles (DIVs/DIPs) in modern medicine and biotechnology reveals significant potential and multifaceted benefits, along with several challenges and limitations. This conclusion synthesizes the findings from extensive literature, including detailed information from NCBI and other reputable sources, and

offers a comprehensive view of the current state and future directions of this field. Firstly, DIVs/DIPs, as viral mutants emerging during replication, have demonstrated considerable promise in modulating viral infections and enhancing immune responses. Their ability to interfere with viral replication and reduce viral loads positions them as valuable tools in antiviral therapy. Studies have shown that DIVs/DIPs can serve as therapeutic agents by suppressing virus replication and enhancing the host's immune defenses. This capability underscores their potential in developing novel antiviral therapies and vaccines, thus contributing significantly to the advancement of medical treatments and biotechnological applications. Looking ahead, future research is expected to focus on optimizing the therapeutic use of DIVs/DIPs, including the development of more effective antiviral drugs and vaccines. Advancements in genetic engineering and virology will likely lead to the creation of targeted DIVs/DIPs with enhanced efficacy and reduced side effects. Additionally, the integration of DIVs/DIPs into biotechnological processes could revolutionize vaccine production and other therapeutic interventions. Nevertheless, despite their potential, several challenges and limitations must be addressed. The complexity of DIVs/DIPs and their interactions with host systems presents difficulties in their application. Issues related to safety, stability, and delivery mechanisms need to be resolved to ensure their effective use in clinical settings. Furthermore, the limited understanding of the full spectrum of their effects and potential unintended consequences requires ongoing research. Moreover, recent advancements include improved methods for isolating and characterizing DIVs/DIPs, as well as enhanced techniques for assessing their therapeutic potential. Progress in molecular biology and bioinformatics has provided deeper insights into the mechanisms of DIVs/DIPs, paving the way for innovative applications. Continued research is expected to refine these technologies and expand their utility in modern medicine and biotechnology. In conclusion, the exploration of DIVs/DIPs represents a promising and evolving field with substantial implications for therapeutic and biotechnological advancements. While challenges remain, ongoing research and technological developments are likely to address these issues, enhancing the application of DIVs/DIPs and contributing to the future of antiviral therapy and biotechnology.

### **Highlights**

**- Definition and Characteristics:** *Defective Interfering Viruses and Particles (DIVs/DIPs):* These

*are virus particles that have missing or defective components, making them incapable of replication or causing disease but capable of interfering with the replication of full viruses.*

**- Therapeutic Potential:** *Cancer Therapy: DIVs/DIPs can be engineered to target and destroy cancer cells selectively while sparing normal cells. Gene Therapy: They can act as vectors for delivering therapeutic genes to specific cells, enhancing precision in treatment. Vaccine Development: Their ability to provoke an immune response can be utilized in creating vaccines that stimulate immunity against various pathogens.*

**- Biotechnological Applications:** *Gene Editing: DIVs/DIPs can be used in conjunction with CRISPR technology to improve gene editing efficiency and precision. Protein Production: They can be utilized to produce viral proteins or other biologically relevant proteins for research and therapeutic use.*

**- Mechanisms of Action:** *Interference with Viral Replication: By competing with full viruses for cellular resources, DIVs/DIPs can inhibit viral replication and reduce the spread of infectious diseases. Immune Modulation: They can modulate the host immune response, which is beneficial in managing chronic infections and autoimmune diseases.*

**- Current Research and Developments:** *Ongoing Studies: Research is focused on optimizing the use of DIVs/DIPs in various therapeutic and biotechnological contexts. Clinical Trials: Some applications are currently undergoing clinical trials to assess their safety and efficacy in humans.*

**- Challenges and Future Directions:** *Safety Concerns: Ensuring that DIVs/DIPs do not cause unintended effects or adverse reactions. Technological Advancements: Continued development of techniques to enhance the efficiency and specificity of DIVs/DIPs in therapeutic and biotechnological applications.*

### **Abbreviation**

**ADE:** Antibody-Dependent Enhancement  
**DDS:** Drug Delivery Systems  
**DeIVGs:** Deletion Defective Viral Genomes  
**DENV-2:** Dengue Virus Type 2  
**DI vRNAs:** Defective Interfering Viral RNAs  
**DIPs:** Defective Interfering Particles  
**DIVs:** Defective Interfering Viruses  
**DPs:** Defective Particles  
**DVGs:** Defective Viral Genomes  
**E1, E2:** Envelope Proteins 1 and 2  
**GP:** Glycoprotein

<b>HCV:</b> Hepatitis C Virus	<b>RSV:</b> Respiratory Syncytial Virus
<b>HN:</b> Hemagglutinin-Neuraminidase	<b>SARS-CoV-2:</b> Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2
<b>HPV:</b> Human Papillomavirus	<b>SeV:</b> Sendai Virus
<b>IAV:</b> Influenza A Virus	<b>STV:</b> Standard Influenza Virus
<b>IFN:</b> Interferon	<b>TIP:</b> Therapeutic Interfering Particle
<b>IV:</b> Influenza Virus	<b>tiRNAs:</b> Therapeutic Interfering RNAs
<b>MAVS:</b> Mitochondrial Antiviral Signaling	<b>TNF<math>\alpha</math>:</b> Tumor Necrosis Factor Alpha
<b>NP:</b> Nucleoprotein	<b>VSV:</b> Vesicular Stomatitis Virus
<b>NS1:</b> Non-Structural Protein 1	<b>WT:</b> Wild-Type
<b>RNA:</b> Ribonucleic Acid	

## References

1. Akpınar F, Timm A, Yin J. High-throughput single-cell kinetics of virus infections in the presence of defective interfering particles. *Journal of virology*. 2016 Feb 1;90(3):1599-612. <https://doi.org/10.1128/JVI.02190-15>
2. Alnaji FG, Brooke CB. Influenza virus DI particles: Defective interfering or delightfully interesting?. *PLoS pathogens*. 2020 May 21;16(5):e1008436. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1008436>
3. Alnaji FG, Holmes JR, Rendon G, Vera JC, Fields CJ, Martin BE, Brooke CB. Sequencing framework for the sensitive detection and precise mapping of defective interfering particle-associated deletions across influenza A and B viruses. *Journal of virology*. 2019 Jun 1;93(11):10-128. <https://doi.org/10.1128/JVI.00354-19>
4. Andres FG, Pfaller CK. Molecular Analysis of Copy-Back Defective Interfering RNAs of Morbilliviruses. In *Measles and Related Morbilliviruses: Methods and Protocols* 2024 May 15 (pp. 71-88). New York, NY: Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3870-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3870-5_6)
5. Andreu-Moreno I, Sanjuán R. Collective viral spread mediated by virion aggregates promotes the evolution of defective interfering particles. *MBio*. 2020 Feb 25;11(1):10-128. <https://doi.org/10.1128/mBio.02156-19>
6. Baltés A, Akpınar F, Inankur B, Yin J. Inhibition of infection spread by co-transmitted defective interfering particles. *PLoS one*. 2017 Sep 15;12(9):e0184029. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184029>
7. Bdeir N, Arora P, Gärtner S, Pöhlmann S, Winkler M. Evidence that two instead of one defective interfering RNA in influenza A virus-derived defective interfering particles (DIPs) does not enhance antiviral activity. *Scientific Reports*. 2021 Oct 14;11(1):20477. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99691-1>
8. Bhat T, Cao A, Yin J. Virus-like particles: Measures and biological functions. *Viruses*. 2022 Feb 14;14(2):383. <https://doi.org/10.3390/v14020383>
9. Brennan JW, Sun Y. Defective viral genomes: advances in understanding their generation, function, and impact on infection outcomes. *Mbio*. 2024 May 8;15(5):e00692-24. <https://doi.org/10.1128/mbio.00692-24>
10. Chaturvedi S, Vasen G, Pablo M, Chen X, Beutler N, Kumar A, Tanner E, Illouz S, Rahgoshay D, Burnett J, Holguin L. Identification of a therapeutic interfering particle—A single-dose SARS-CoV-2 antiviral intervention with a high barrier to resistance. *Cell*. 2021 Dec 9;184(25):6022-36. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.11.004>
11. Dimmock NJ, Easton AJ. Cloned defective interfering influenza RNA and a possible pan-specific treatment of respiratory virus diseases. *Viruses*. 2015 Jul;7(7):3768-88. <https://doi.org/10.3390/v7072796>
12. Dimmock NJ, Easton AJ. Defective interfering influenza virus RNAs: time to reevaluate their clinical potential as broad-spectrum antivirals?. *Journal of virology*. 2014 May 15;88(10):5217-27. <https://doi.org/10.1128/JVI.03193-13>
13. Dogra T, Pelz L, Boehme JD, Kuechler J, Kershaw O, Marichal-Gallardo P, Baelkner M, Hein MD, Gruber AD, Benndorf D, Genzel Y. Generation of “OP7 chimera” defective interfering influenza A particle preparations free of infectious virus that show antiviral efficacy in mice. *Scientific Reports*. 2023 Nov 28;13(1):20936. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47547-1>
14. Ezike TC, Okpala US, Onoja UL, Nwike CP, Ezeako EC, Okpara OJ, Okoroafor CC, Eze SC, Kalu OL, Odoh EC, Nwadike UG. Advances in drug delivery systems, challenges and future directions. *Heliyon*. 2023 Jun 1;9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17488>
15. Fatehi F, Bingham RJ, Dechant PP, Stockley PG, Twarock R. Therapeutic interfering particles exploiting viral replication and assembly mechanisms show promising performance: a modelling study. *Scientific reports*. 2021 Dec 13;11(1):23847. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03168-0>
16. Felt SA, Sun Y, Jozwik A, Paras A, Habibi MS, Nickle D, Anderson L, Achouri E, Feemster KA, Cárdenas AM, Turi KN. Detection of respiratory syncytial virus defective genomes in nasal secretions is associated with distinct clinical outcomes. *Nature Microbiology*. 2021 May;6(5):672-81. <https://doi.org/10.1038/s41564-021-00882-3>
17. Frensing T, Pflugmacher A, Bachmann M, Peschel B, Reichl U. Impact of defective interfering particles on virus replication and antiviral host response in cell culture-based influenza vaccine production. *Applied microbiology and biotechnology*. 2014 Nov;98:8999-9008. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-5933-y>
18. Frensing T. Defective interfering viruses and their impact on vaccines and viral vectors. *Biotechnology journal*. 2015 May;10(5):681-9. <https://doi.org/10.1002/biot.201400429>

19. Genoyer E, López CB. Defective viral genomes alter how Sendai virus interacts with cellular trafficking machinery, leading to heterogeneity in the production of viral particles among infected cells. *Journal of virology*. 2019 Feb 15;93(4):10-128. <https://doi.org/10.1128/JVI.01579-18>
20. Genoyer E, López CB. The impact of defective viruses on infection and immunity. *Annual review of virology*. 2019 Sep 29;6(1):547-66. <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-092818-015652>
21. Hein MD, Arora P, Marichal-Gallardo P, Winkler M, Genzel Y, Pöhlmann S, Schughart K, Kupke SY, Reichl U. Cell culture-based production and in vivo characterization of purely clonal defective interfering influenza virus particles. *BMC biology*. 2021 May 3;19(1):91. <https://doi.org/10.1186/s12915-021-01020-5>
22. Karki B, Bull JJ, Krone SM. Modeling the therapeutic potential of defective interfering particles in the presence of immunity. *Virus Evolution*. 2022 Jul 1;8(2):veac047. <https://doi.org/10.1093/ve/veac047>
23. Kupke SY, Riedel D, Frensing T, Zmora P, Reichl U. A novel type of influenza A virus-derived defective interfering particle with nucleotide substitutions in its genome. *Journal of Virology*. 2019 Feb 15;93(4):10-128. <https://doi.org/10.1128/JVI.01786-18>
24. Li D, Lin MH, Rawle DJ, Jin H, Wu Z, Wang L, Lor M, Hussain M, Aaskov J, Harrich D. Dengue virus-free defective interfering particles have potent and broad anti-dengue virus activity. *Communications biology*. 2021 May 11;4(1):557. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02064-7>
25. Liang Q, Yang J, Fan WT, Lo WC. Patch formation driven by stochastic effects of interaction between viruses and defective interfering particles. *PLoS Computational Biology*. 2023 Oct 2;19(10):e1011513. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1011513>
26. Lin CH, Chen B, Chao DY, Hsieh FC, Yang CC, Hsu HW, Tam HM, Wu HY. Unveiling the biology of defective viral genomes in vitro and in vivo: implications for gene expression and pathogenesis of coronavirus. *Virology Journal*. 2023 Oct 6;20(1):225. <https://doi.org/10.1186/s12985-023-02189-7>
27. Lin CH, Hsieh FC, Lai CC, Wang WC, Kuo CY, Yang CC, Hsu HW, Tam HM, Yang CY, Wu HY. Identification of the protein coding capability of coronavirus defective viral genomes by mass spectrometry. *Virology Journal*. 2023 Dec 7;20(1):290. <https://doi.org/10.1186/s12985-023-02252-3>
28. Lin MH, Li D, Tang B, Li L, Suhrbier A, Harrich D. Defective interfering particles with broad-acting antiviral activity for dengue, Zika, Yellow Fever, respiratory syncytial and SARS-CoV-2 virus infection. *Microbiology spectrum*. 2022 Dec 21;10(6):e03949-22. <https://doi.org/10.1128/spectrum.03949-22>
29. Locke M, Grebennikov D, Sazonov I, López-García M, Loguinova M, Meyerhans A, Bocharov G, Molina-París C. Exploring the therapeutic potential of defective interfering particles in reducing the replication of SARS-CoV-2. *Mathematics*. 2024 Jun 19;12(12):1904. <https://doi.org/10.3390/math12121904>
30. Lui WY, Yuen CK, Li C, Wong WM, Lui PY, Lin CH, Chan KH, Zhao H, Chen H, To KK, Zhang AJ. SMRT sequencing revealed the diversity and characteristics of defective interfering RNAs in influenza A (H7N9) virus infection. *Emerging Microbes & Infections*. 2019 Jan 1;8(1):662-74. <https://doi.org/10.1080/22221751.2019.1611346>
31. Manzoni TB, López CB. Defective (interfering) viral genomes re-explored: impact on antiviral immunity and virus persistence. *Future Virology*. 2018 Jul 1;13(7):493-503. <https://doi.org/10.2217/fvl-2018-0021>
32. Mastrodomenico V, Esin JJ, Graham ML, Tate PM, Hawkins GM, Sandler ZJ, Rademacher DJ, Kicmal TM, Dial CN, Mounce BC. Polyamine depletion inhibits bunyavirus infection via generation of noninfectious interfering virions. *Journal of Virology*. 2019 Jul 15;93(14):10-128. <https://doi.org/10.1128/JVI.00530-19>
33. Mura M, Combredet C, Najburg V, Sanchez David RY, Tangy F, Komarova AV. Nonencapsidated 5' copy-back defective interfering genomes produced by recombinant measles viruses are recognized by RIG-I and LGP2 but not MDA5. *Journal of virology*. 2017 Oct 15;91(20):10-128. <https://doi.org/10.1128/JVI.00643-17>
34. Noffel Z, Dobrovolsky HM. Quantifying the effect of defective viral genomes in respiratory syncytial virus infections. <https://doi.org/10.3934/mbe.2023564>
35. Pelz L, Dogra T, Marichal-Gallardo P, Hein MD, Hemissi G, Kupke SY, Genzel Y, Reichl U. Production of antiviral “OP7 chimera” defective interfering particles free of infectious virus. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2024 Dec;108(1):97. <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12959-6>
36. Pelz L, Piagnani E, Marsall P, Wynserski N, Hein MD, Marichal-Gallardo P, Kupke SY, Reichl U. Broad-spectrum antiviral activity of Influenza A virus defective interfering particles against respiratory syncytial, Yellow Fever, and Zika Virus replication in vitro. *Viruses*. 2023 Sep 4;15(9):1872. <https://doi.org/10.3390/v15091872>
37. Pelz L, Rüdiger D, Dogra T, Alnaji FG, Genzel Y, Brooke CB, Kupke SY, Reichl U. Semi-continuous propagation of influenza A virus and its defective interfering particles: analyzing the dynamic competition to select candidates for antiviral therapy. *Journal of Virology*. 2021 Nov 23;95(24):10-128. <https://doi.org/10.1128/JVI.01174-21>
38. Penn R, Tregoning JS, Flight KE, Baillon L, Frise R, Goldhill DH, Johansson C, Barclay WS. Levels of influenza A virus defective viral genomes determine pathogenesis in the BALB/c mouse model. *Journal of Virology*. 2022 Nov 9;96(21):e01178-22. <https://doi.org/10.1128/jvi.01178-22>
39. Pfeifer BA, Beitelshes M, Hill A, Bassett J, Jones CH. Harnessing synthetic biology for advancing RNA therapeutics and vaccine design. *NPJ Systems Biology and Applications*. 2023 Nov 30;9(1):60. <https://doi.org/10.1038/s41576-021-00439-4>
40. Rand U, Kupke SY, Shkarlet H, Hein MD, Hirsch T, Marichal-Gallardo P, Cicin-Sain L, Reichl U, Bruder D. Antiviral activity of influenza A virus defective interfering particles against SARS-CoV-2 replication in vitro through stimulation of innate immunity. *Cells*. 2021 Jul 11;10(7):1756. <https://doi.org/10.3390/cells10071756>
41. Rennick LJ, Duprex WP, Tilston-Lunel NL. Generation of Defective Interfering Particles of Morbilliviruses Using Reverse Genetics. In *Measles and Related Morbilliviruses: Methods and Protocols* 2024 May 15 (pp. 57-70). New York, NY: Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3870-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3870-5_5)

42. Rezelj VV, Carrau L, Merwaiss F, Levi LI, Erazo D, Tran QD, Henrion-Lacritick A, Gausson V, Suzuki Y, Shengjuler D, Meyer B. Defective viral genomes as therapeutic interfering particles against flavivirus infection in mammalian and mosquito hosts. *Nature Communications*. 2021 Apr 16;12(1):2290. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22341-7>
43. Rezelj VV, Levi LI, Vignuzzi M. The defective component of viral populations. *Current opinion in virology*. 2018 Dec 1;33:74-80. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2018.07.014>
44. Rüdiger D, Pelz L, Hein MD, Kupke SY, Reichl U. Multiscale model of defective interfering particle replication for influenza A virus infection in animal cell culture. *PLoS Computational Biology*. 2021 Sep 7;17(9):e1009357. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1009357>
45. Rüdiger D, Piasecka J, Kuchler J, Pontes C, Laske T, Kupke SY, Reichl U. Mathematical model calibrated to in vitro data predicts mechanisms of antiviral action of the influenza defective interfering particle “OP7”. *Iscience*. 2024 Apr 19;27(4). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.109421>
46. Sánchez-Aparicio MT, Garcin D, Rice CM, Kolakofsky D, García-Sastre A, Baum A. Loss of Sendai virus C protein leads to accumulation of RIG-I immunostimulatory defective interfering RNA. *Journal of General Virology*. 2017 Jun;98(6):1282-93. <https://doi.org/10.1099/jgv.0.000815>
47. Sharov V, Rezelj VV, Galatenko VV, Titievsky A, Panov J, Chumakov K, Andino R, Vignuzzi M, Brodsky L. Intra- and inter-cellular modeling of dynamic interaction between zika virus and its naturally occurring defective viral genomes. *Journal of Virology*. 2021 Oct 27;95(22):10-128. <https://doi.org/10.1128/JVI.00977-21>
48. Smith CM, Scott PD, O’Callaghan C, Easton AJ, Dimmock NJ. A defective interfering influenza RNA inhibits infectious influenza virus replication in human respiratory tract cells: a potential new human antiviral. *Viruses*. 2016 Aug 22;8(8):237. <https://doi.org/10.3390/v8080237>
49. Sun Y, Jain D, Koziol-White CJ, Genoyer E, Gilbert M, Tapia K, Panettieri Jr RA, Hodinka RL, López CB. Immunostimulatory defective viral genomes from respiratory syncytial virus promote a strong innate antiviral response during infection in mice and humans. *PLoS pathogens*. 2015 Sep 3;11(9):e1005122. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005122>
50. Vasilijevic J, Zamarreño N, Oliveros JC, Rodríguez-Frandsen A, Gómez G, Rodríguez G, Pérez-Ruiz M, Rey S, Barba I, Pozo F, Casas I. Reduced accumulation of defective viral genomes contributes to severe outcome in influenza virus infected patients. *PLoS Pathogens*. 2017 Oct 12;13(10):e1006650. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006650>
51. Vignuzzi M, López CB. Defective viral genomes are key drivers of the virus–host interaction. *Nature microbiology*. 2019 Jul;4(7):1075-87. <https://doi.org/10.1038/s41564-019-0465-y>
52. Wasik MA, Eichwald L, Genzel Y, Reichl U. Cell culture-based production of defective interfering particles for influenza antiviral therapy. *Applied microbiology and biotechnology*. 2018 Feb;102:1167-77. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8660-3>
53. Wignall-Fleming EB, Vasou A, Young D, Short JA, Hughes DJ, Goodbourn S, Randall RE. Innate intracellular antiviral responses restrict the amplification of defective virus genomes of parainfluenza virus 5. *Journal of Virology*. 2020 Jun 16;94(13):10-128. <https://doi.org/10.1128/JVI.00246-20>
54. Wu M, Zhou E, Sheng R, Fu X, Li J, Jiang C, Su W. Defective interfering particles of influenza virus and their characteristics, impacts, and use in vaccines and antiviral strategies: a systematic review. *Viruses*. 2022 Dec 12;14(12):2773. <https://doi.org/10.3390/v14122773>
55. Xiao Y, Lidsky PV, Shirogane Y, Aviner R, Wu CT, Li W, Zheng W, Talbot D, Catching A, Doitsh G, Su W. A defective viral genome strategy elicits broad protective immunity against respiratory viruses. *Cell*. 2021 Dec 9;184(25):6037-51. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.11.023>
56. Xu J, Sun Y, Li Y, Ruthel G, Weiss SR, Raj A, Beiting D, López CB. Replication defective viral genomes exploit a cellular pro-survival mechanism to establish paramyxovirus persistence. *Nature communications*. 2017 Oct 6;8(1):799. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00909-6>
57. Xu Z, Peng Q, Song J, Zhang H, Wei D, Demongeot J, Zeng Q. Bioinformatic analysis of defective viral genomes in SARS-CoV-2 and its impact on population infection characteristics. *Frontiers in Immunology*. 2024 Jan 29;15:1341906. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1341906>
58. Yang Y, Lyu T, Zhou R, He X, Ye K, Xie Q, Zhu L, Chen T, Shen C, Wu Q, Zhang B. The antiviral and antitumor effects of defective interfering particles/genomes and their mechanisms. *Frontiers in Microbiology*. 2019 Aug 9;10:1852. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01852>
59. Yoshida A, Kawabata R, Honda T, Sakai K, Ami Y, Sakaguchi T, Irie T. A single amino acid substitution within the paramyxovirus Sendai virus nucleoprotein is a critical determinant for production of interferon-beta-inducing copyback-type defective interfering genomes. *Journal of virology*. 2018 Mar 1;92(5):10-128. <https://doi.org/10.1128/JVI.02094-17>
60. Zhou T, Gilliam NJ, Li S, Spandau S, Osborn RM, Connor S, Anderson CS, Mariani TJ, Thakar J, Dewhurst S, Mathews DH. Generation and functional analysis of defective viral genomes during SARS-CoV-2 infection. *Mbio*. 2023 Jun 27;14(3):e00250-23. <https://doi.org/10.1128/mbio.00250-23>
61. Ziegler CM, Botten JW. Defective interfering particles of negative-strand RNA viruses. *Trends in microbiology*. 2020 Jul 1;28(7):554-65. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2020.02.006>



**Авторлар туралы мәлімет:**

АбдулБариХеджран (корреспондент-автор)– вирусология магистрі, Гильменд университетінің білім беру факультетінің биология кафедрасының асистенті (Гильменд, Ауғанстан, e-mail: [abdulbari.hejran94@gmail.com](mailto:abdulbari.hejran94@gmail.com))

Сайедвали Седики – микробиология магистрі, Урозган жоғары білім институтының білім беру факультетінің биология кафедрасының аға оқытушы көмекшісі (Урозган, Ауғанстан e-mail: [sediqisw@gmail.com](mailto:sediqisw@gmail.com))

АтикуллаСарвари – биотехнология магистрі, Гильменд университетінің білім беру факультетінің биология кафедрасының асистенті (Гильменд, Ауғанстан, e-mail: [atiqullahsarwari91@gmail.com](mailto:atiqullahsarwari91@gmail.com))

Мохаммад Хасан Хасанд – биотехнология магистрі, Кандагар университетінің білім беру факультетінің биология кафедрасының асистенті (Кандагар, Ауғанстан e-mail: [mh.hassand@gmail.com](mailto:mh.hassand@gmail.com))

Узаир Мұхаммед Кака – химия-физика және материалтану ғылымдарының магистрі, Логар университетінің білім беру факультетінің химия кафедрасының асистенті (Логар, Ауғанстан, e-mail: [uzairmkakar@gmail.com](mailto:uzairmkakar@gmail.com))

Абдул Кадир Басир – биотехнология магистрі, Кандагар университетінің білім беру факультетінің биология кафедрасының аға көмекшісі (Кандагар, Ауғанстан, e-mail: [qadeerbaseer@gmail.com](mailto:qadeerbaseer@gmail.com))

Абдул Уахид Мониб – қоршаған ортаны қорғау ғылымдарының магистрі, Кандагар университетінің білім беру факультетінің биология кафедрасының аға оқытушының көмекшісі (Кандагар Ауғанстан, e-mail: [awmonib@gmail.com](mailto:awmonib@gmail.com))

Парвиз Ниязи – ботаника магистрі (өсімдіктерді қорғау және нематология), Кандагар университетінің білім беру факультетінің биология кафедрасының оқу асистенті (Кандагар, Ауғанстан e-mail: [parwiz60@gmail.com](mailto:parwiz60@gmail.com))

**Information about authors:**

Abdul Bari Hejran (corresponding author) – Master of Virology, Teaching Assistant at the department of Biology, Faculty of Education, Helmand University (Helmand, Afghanistan e-mail: [abdulbari.hejran94@gmail.com](mailto:abdulbari.hejran94@gmail.com))

Sayedwali Sediqi, Master of Microbiology, Senior Teaching Assistant at the department of Biology, Faculty of Education, Urozgan Institute of Higher Education, Urozgan(Urozgan, Afghanistan e-mail: [sediqisw@gmail.com](mailto:sediqisw@gmail.com))

Atiqullah Sarwari, Master of Biotechnology, Teaching Assistant at the department of Biology, Faculty of Education, Helmand University (Helmand, Afghanistan e-mail: [atiqullahsarwari91@gmail.com](mailto:atiqullahsarwari91@gmail.com))

Mohammad Hassan Hassand, Master of Biotechnology, Teaching Assistant at the department of Biology, Faculty of Education, Kandahar University (Kandahar, Afghanistan e-mail: [mh.hassand@gmail.com](mailto:mh.hassand@gmail.com))

Uzair Mohammad Kakar, Master of Chemical-Physics and Material Sciences, Teaching Assistant at the department of chemistry, Faculty of Education, Logar University, (Logar, Afghanistan e-mail: [uzairmkakar@gmail.com](mailto:uzairmkakar@gmail.com))

Abdul Qadeer Baseer, Master of Biotechnology, Senior Teaching Assistant at the department of Biology, Faculty of Education, Kandahar University (Kandahar, Afghanistan e-mail: [qadeerbaseer@gmail.com](mailto:qadeerbaseer@gmail.com))

Abdul Wahid Monib, Master of Environmental Sciences, Senior Teaching Assistant at the department of Biology, Faculty of Education, Kandahar University (Kandahar, Afghanistan e-mail: [awmonib@gmail.com](mailto:awmonib@gmail.com))

Parwiz Niazi, Master of Botany (Plant Protection and nematology), Teaching Assistant at the department of Biology, Faculty of Education, Kandahar University (Kandahar, Afghanistan e-mail: [parwiz60@gmail.com](mailto:parwiz60@gmail.com))

Received September 14, 2024

Accepted December 26, 2024

---

## 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 KZ19998CTB0000567141 – теңге

ИИК KZ40998CTB0000567151 – 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, состава 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

<b>1-бөлім</b> <b>Қоршаған ортаны қорғау және</b> <b>қоршаған ортаға антропогендік</b> <b>факторлардың әсері</b>	<b>Section 1</b> <b>Environmental impact of</b> <b>anthropogenic factors and</b> <b>environmental protectiony</b>	<b>Раздел 1</b> <b>Воздействие на окружающую</b> <b>среду антропогенных факторов и</b> <b>защита окружающей среды</b>
<i>Г.А. Уахитқанова, А.М. Тленишева, Д.Д. Кожяхметова, Д.Т. Чекимбаева, Т.М. Шалахметова</i> Гистопатологические и морфометрические изменения в органах белого толстолобика ( <i>Hypophthalmichthys Molitrix</i> ) из реки Иле и Капшагайского Водохранилища (Казахстан) ..... 4		
<i>Е.Х. Мендыбаев, Ж.Г. Берденов, Т.М. Танкибаев, С.И. Альмурзаева, Р.М. Муратов, М.Ж. Жумагул</i> Потенциал расчета солнечной энергии в Мангыстауской области ..... 15		
<i>К.Г. Муратова, Б.А. Кансалям, М.Т. Кожиков, О.М. Досжанов</i> Потенциал и перспективы интеграции транспортного сектора Республики Казахстан в систему торговли выбросами ..... 23		
<i>Boluspayeva L.S., Abzhalelov A.B., Spychalski W., Zhaznayeva Zh.K., Sarsenbayeva G.B.</i> Assessment of soil and plants in private gardens of an industrial city ..... 35		
<b>2-бөлім</b> <b>Қоршаған орта</b> <b>ластаушыларының биотаға</b> <b>және тұрғындар денсаулығына</b> <b>әсерін бағалау</b>	<b>Section 2</b> <b>Assessment of</b> <b>environmental pollution</b> <b>on biota and</b> <b>health</b>	<b>Раздел 2</b> <b>Оценка действия</b> <b>загрязнителей окружающей</b> <b>среды на биоту и</b> <b>здоровье населения</b>
<i>А.Б. Бигалиев, Б.О. Бекманов, К.З. Шалабаева, А.Н. Кожяхметова, А.М. Мырзатай</i> Экогенетическая оценка последствий влияния техногенных загрязнителей на стабильность генома человека ..... 44		
<b>3-бөлім</b> <b>Биологиялық</b> <b>алуантүрлілікті сақтаудың</b> <b>өзекті мәселелері</b>	<b>Section 3</b> <b>Actual problems</b> <b>of biodiversity</b> <b>conservation</b>	<b>Раздел 3</b> <b>Актуальные проблемы</b> <b>сохранения биологического</b> <b>разнообразия</b>
<i>Ч.Ж. Алдасугурова, А.А. Аметов, А.С. Нурмаханова, С.Т. Назарбекова, Г.У. Байташева, Т.Б. Рысқали,</i> <i>Қ.Қ. Құлымбет, А.Ж. Чилдибаева, А.А. Омирбекова</i> Іле Алатауының орталық және шығыс бөліктерінде <i>Rosa Potentilliflora</i> Chrshan. et. M. Pop. өсімдігі кездесетін өсімдіктер қауымдастықтарының топырақ жабынының ерекшеліктері ..... 56		
<i>Sh. Durmekbayeva, A. Nurgali, O. Babenko, G. Kyzdarbekova, G. Onerkhan</i> Flora of the Aiyrtau district of the North Kazakhstan region: species composition, life forms and ecological groups of plants ..... 66		
<i>Zh. Kaldybayeva, M. Kurmanbayeva</i> Analyses of abiotic factors affecting the tree plant <i>Paulownia Siebold &amp; Zucc.</i> ..... 74		
<i>T.N. Kobylina, B.M. Tynybekov, M.E. Mussina, L.U. Koibassova, E. Boribay, U.K. Kurmanbay, Z.C. Umirbaeva,</i> <i>Zh.B. Ashirova</i> Ecological and biological characteristics and assessment of the current state of the species <i>Hylotelephium Ewersii</i> (Ledeb.) H. Ohba and <i>Phedimus Hybridus</i> (L.) ‘thart. in the flora of the Kastek Gorge of the Ile Alatau ..... 87		
<i>V.N. Permitina, S.Zh. Yerekeyeva, G.T. Sitpayeva, N.G. Gemejiyeva</i> Assessment of ecological safety of plant raw materials of cultivated medicinal plant species in the foothill zone of Zailiysky Alatau 101		

---

## Review article

<i>А. Сатаева, А.Камал, А. Байменов, Д. Ким, Е. Архангельски, К.Т. Тастамбек, Ж.Т. Тауанов, Н.Ш. Акимбеков</i> Краткий обзор проблемы загрязнения микронанопластиком сточных и поверхностных вод Казахстана .....	112
<i>Abdul Bari Hejran, Sayedwali Sediqi, Atiqullah Sarwari, Mohammad Hassan Hassand, Uzair Mohammad Kakar, Abdul Qadeer Baseer, Abdul Wahid Monib, Parwiz Niazi</i> Exploration of the therapeutic and biotechnological applications of defective interfering viruses and particles (divsdips) in modern medicine and biotechnology .....	124
Авторларға арналған ақпарат.....	138