

УДК 621.398  
МРНТИ 87.26.25

DOI: [10.54859/kjogi108865](https://doi.org/10.54859/kjogi108865)

Получена: 22.04.2025.

Одобрена: 27.08.2025.

Опубликована: 31.12.2025.

## Оригинальное исследование

# Изучение геоэкологического состояния прибрежной зоны Каспийского моря в пределах территории города Актау

Н.Ш. Джаналиева<sup>1</sup>, А.К. Серикбаева<sup>1</sup>, Д.А. Сейткохина<sup>1</sup>, М.Д. Алдакова<sup>2</sup>,

С. Сырлыбеккызы<sup>1</sup>, Ж.К. Алтыбаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Каспийский университет технологий и инженеринга им. Ш. Есенова, г. Актау, Казахстан

<sup>2</sup>Филиал КМГ Инжиниринг «КазНИПИмунайгаз», г. Актау, Казахстан

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Поступление поллютантов (преимущественно тяжёлых металлов) в окружающую среду прибрежных зон Каспийского моря приводит к их накоплению и ухудшению экологического состояния локальных и региональных территорий. Это, в свою очередь, отражается на живых организмах и приводит к переносу вредных веществ по трофическим цепям. Тяжёлые металлы воздействуют на зелёную биомассу на молекулярном уровне, блокируя работу клеток растений. Анализ индекса NDVI, который рассчитывается исходя из активности реакции фотосинтеза по спектрам космических снимков, позволяет изучить динамику жизнеспособности растений в течение определённого периода времени. Определение тяжёлых металлов в почве наряду с использованием NDVI даёт возможность проведения мониторинга на наземном и аэрокосмическом уровнях.

**Цель.** Исследование направлено на комплексный геоэкологический мониторинг состояния почв и растительного покрова прибрежной зоны Каспийского моря у села Шапагатова.

**Материалы и методы.** В данной работе использованы метод атомно-абсорбционной спектрометрии для определения тяжёлых металлов в почвенных образцах, физико-химические методы для определения агрохимических показателей почвы и расчётная методика NDVI.

**Результаты.** Отмечено значительное снижение показателей содержания тяжёлых металлов в почве, которое произошло в ходе естественной фиторемедиации. Это объясняет потерю массы растительного слоя на территории изучения в течение пяти исследуемых лет – с 2019 по 2023 гг.

**Заключение.** Согласно полученным результатам, резкое снижение концентрации всех изучаемых тяжёлых металлов связано с изменением индекса NDVI. В период 2019–2021 гг., когда показатели тяжёлых металлов были выше предельно допустимых концентраций, отмечена низкая фотосинтетическая реакция растений, которая особенно снизилась в 2021 г. Это указывает на пагубное влияние, оказанное на растения, но при этом в 2021 г. также отмечено резкое снижение концентраций тяжёлых металлов, что объясняется аккумуляцией их растениями. Далее в 2023 г. с учётом снизившихся в 20 и более раз показателей тяжёлых металлов заметно повышение NDVI. Данное явление является показателем восстановления растительной биомассы в области изучения.

**Ключевые слова:** мониторинг, тяжёлые металлы, дистанционное зондирование, вегетационный индекс NDVI, Мангистауская область.

## Как цитировать:

Джаналиева Н.Ш., Серикбаева А.К., Сейткохина Д.А., и др. Изучение геоэкологического состояния прибрежной зоны Каспийского моря в пределах территории города Актау // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2025. Том 7, №4. С. 101–111. DOI: [10.54859/kjogi108865](https://doi.org/10.54859/kjogi108865).

**UDC 621.398  
CSCSTI 87.26.25**

**DOI:** [10.54859/kjogi108865](https://doi.org/10.54859/kjogi108865)

Received: 22.04.2025.

Accepted: 27.08.2025.

Published: 31.12.2025.

---

## Original article

# Geo-Ecological Assessment of the Caspian Sea Coastal Zone in Aktau

**Nurgul Sh. Dzhanaliyeva<sup>1</sup>, Akmara K. Serikbayeva<sup>1</sup>, Damira A. Seitkozhina<sup>1</sup>,  
Madina D. Aldakova<sup>2</sup>, Samal Syrlybekkyzy<sup>1</sup>, Zhanssaule K. Altybayeva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Yessenov University, Aktau, Kazakhstan

<sup>2</sup>Branch of KMG Engineering "KazNIPImunaigaz", Aktau, Kazakhstan

## ABSTRACT

**Background:** Pollutants, mainly heavy metals, accumulate in the coastal zone of the Caspian Sea and degrade local and regional ecosystems. Their presence affects living organisms and drives the transfer of toxic substances through food chains. Heavy metals impair green biomass at the molecular level by disrupting plant cell functions. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), derived from satellite imagery, tracks changes in photosynthetic activity and plant vitality over time. Combining soil heavy metals analysis with NDVI enables monitoring at both ground and satellite levels.

**Aim:** The study aims to conduct integrated geo-ecological monitoring of soil and vegetation in the Caspian Sea coastal zone near Shapagatova village.

**Materials and methods:** Atomic absorption spectrometry was used to determine heavy metals in soil samples. Physico-chemical methods were applied to assess agrochemical properties of soils, and NDVI was calculated using standard procedures.

**Results:** A marked decrease in soil heavy metal concentrations, attributed to natural phytoremediation was observed. This process explains the loss of vegetation cover in the study area during the five-year period from 2019 to 2023.

**Conclusion:** The sharp decline in heavy metal concentrations is closely linked to changes in the NDVI index. Between 2019 and 2021, when heavy metal levels exceeded maximum allowable concentrations, plants showed a reduced photosynthetic response, with the lowest values recorded in 2021. This reflects the toxic impact on vegetation, while the concurrent drop in metal concentrations that year is attributed to plant uptake. By 2023, with heavy metal levels decreasing more than twentyfold, NDVI values increased significantly, indicating recovery of plant biomass in the study area.

**Keywords:** monitoring; heavy metals; remote sensing; NDVI vegetation index; Mangistau region.

## To cite this article:

Dzhanaliyeva NS, Serikbayeva AK, Seitkozhina DA, al. Geo-Ecological Assessment of the Caspian Sea Coastal Zone in Aktau. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2025;7(4):101–111.

**DOI:** [10.54859/kjogi108865](https://doi.org/10.54859/kjogi108865)

ӘОЖ 621.398

ФТАХР 87.26.25

DOI: [10.54859/kjogi108865](https://doi.org/10.54859/kjogi108865)

Қабылданғыш: 22.04.2025.

Макулданғыш: 27.08.2025.

Жарияланды: 31.12.2025.

## Түпнұсқа зерттеу

# Ақтау қаласының аумағы шегінде Каспий теңізінің жағалау аймағының геоэкологиялық жағдайын зерттеу

Н.Ш. Джаналиева<sup>1</sup>, А.Қ. Серікбаева<sup>1</sup>, Д.А. Сейтқожина<sup>1</sup>, М.Д. Алдакова<sup>2</sup>,

С. Сырлыбекқызы<sup>1</sup>, Ж.Қ. Алтыбаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжинириング университеті, Ақтау қаласы, Қазақстан

<sup>2</sup>ҚМГ Инжинириング «ҚазГЗЖИмұнайгаз» филиалы, Ақтау қаласы, Қазақстан

## АННОТАЦИЯ

**Негіздеу.** Каспий теңізінің жағалау аймақтарының қоршаган ортасына поплютанттардың (негізінен ауыр металдардың) түсі олардың жинақталуына және жергілікті және өнірлік аумақтардың экологиялық жай-күйінің нашарлауына әкеп соғады. Бұл өз кезегінде тірі организмдерге әсер етеді және зиянды заттардың трофикалық тізбектер арқылы тасымалдануына әкеледі. Ауыр металдар молекулалық денгейде жасыл биомассаға әсер етіп, өсімдік жасушаларының жұмысын тежейді. Фарыштық түсірілім спектрлері бойынша фотосинтез реакциясының белсенділігінің негізінде есептелетін NDVI (арылш. Normalized Difference Vegetation Index-өсімдіктер айырмашылығының нормаланған индексі) индексін талдау белгілі бір уақыт аралығында өсімдіктердің өміршемдігінің динамикасын зерттеуге мүмкіндік береді. Топырақтағы ауыр металдарды анықтау NDVI қолданумен қатар жер үсті және аэрогарыш деңгейлерінде мониторинг жүргізуге мүмкіндік береді.

**Мақсаты.** Зерттеу Шапағатов ауылшының маңындағы Каспий теңізінің жағалау аймағының топырағы мен өсімдік жамылғысының жай күйіне кешенді геоэкологиялық мониторинг жүргізуге бағытталған.

**Материалдар мен әдістер.** Аталған жұмыста топырақ үлгілеріндегі ауыр металдарды анықтау үшін атомдық-абсорбциялық спектрометрия әдісі, топырақтың агрехимиялық көрсеткіштерін анықтау үшін физикалық-химиялық әдістер және NDVI есептеу әдісі қолданылды.

**Нәтижелері.** Табиги фиторемедиация кезінде пайдада болған топырақтағы ауыр металдар мөлшерінің айтарлықтай төмөндеуі байқалды. 2019 жылдан 2023 жылға дейінгі кезеңде зерттелген бес жыл ішінде зерттеу аймагында өсімдік қабаты массивінің жоғалуы байқалады.

**Қорытынды.** Альянсан нәтижелерге сәйкес, зерттелетін барлық ауыр металдардың концентрациясының күрт төмөндеуі NDVI индексінің өзгеруіне байланысты. 2019-2021 жылдар аралығында ауыр металдар шекіт рұқсат етілген концентрациядан жоғары болған кезде өсімдіктердің төмен фотосинтетикалық реакциясы байқалды, бұл әсіресе 2021 жылы төмөнделді. Бұл өсімдіктерге зиянды әсерді қөрсетеді, бірақ 2021 жылы ауыр металдар концентрациясының күрт төмөндеуі байқалды, бұл олардың өсімдіктерінің жинақталуымен түсіндіріледі. Бұдан әрі 2023 жылы ауыр металдардың қөрсеткіштері 20 немесе одан да көп есе төмөнделгенін ескере отырып, NDVI айтарлықтай жоғарылайды. Аталған құбылыс зерттеу саласындағы өсімдік биомассасының қалпына кепуінің қөрсеткіші болып табылады.

**Негізгі сөздер:** мониторинг, ауыр металдар, қашықтықтан зондтаяу, NDVI өзегетациялық индексі, Маңғыстау облысы.

## Дәйексөз көлтіру үшін:

Жанәлиева Н.Ш., Серікбаева А.Қ., Сейтқожина Д.А., және т.б. Ақтау қаласының аумағы шегінде Каспий теңізінің жағалау аймағының геоэкологиялық жағдайын зерттеу // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2025. 7 том, №4, 101–111 б. DOI: [10.54859/kjogi108865](https://doi.org/10.54859/kjogi108865).

## Введение

Почвы прибрежной зоны Каспийского моря являются основной средой, подвергаемой влиянию техногенного загрязнения, поступающего в ходе антропогенной деятельности. Среди поллютантов в почвенном слое побережья Каспийского моря стоит отметить преобладание тяжёлых металлов [1], которые поступают в неё из атмосферы и водной среды, а после аккумулируются растениями либо вымываются в ходе эрозии [2]. Поступление тяжёлых металлов в прибрежные почвы, помимо влияния наземных источников, может быть обусловлено разливами [3] и сжиганием нефти, поскольку такие металлы как свинец, медь, цинк, никель и хром, образуют оксиды, которые имеют высокую скорость высвобождения при сжигании нефтяного шлама [4].

Накопление основной массы загрязняющих веществ происходит в гумусовом горизонте почвы, поскольку именно здесь они химически связаны с другими компонентами, включая алюмосиликаты, несилicateные минералы и органическое вещество [5]. Некоторые тяжёлые металлы способны замещать ионы натрия и калия в кристаллической структуре почвы [6], таким образом мигрируя и закрепляясь в плодородном слое почвы. Таким образом, переносимые соединения металлов связаны с вредными экологическими последствиями загрязнения почвы [7].

Миграция и накопление тяжёлых металлов в почве приводит к их переносу по трофической цепи, в которой последующим аккумулятором являются растения и животные. Для предотвращения экологического риска, возможного по причине недолжного наблюдения, необходим экологический контроль.

С целью экологического контроля за состоянием объектов окружающей среды проведение мониторинга является основным инструментом геоэкологических исследований.

Дистанционный мониторинг почвы и наблюдение за загрязнением проводятся на различных уровнях, включающих наземный мониторинг, аэрокосмическую съёмку и компьютерные методы обработки спутниковых данных [8]. В данной работе были использованы все уровни мониторинга для получения более полного объёма данных об экологическом состоянии почв прибрежной зоны Каспийского моря у с. Шапагатова (Мангистауская область).

Учитывая негативное воздействие тяжёлых металлов на растительность [9], а также на агротехнический состав почвы [10], уровень деградации биомассы является одним из показателей экологического состояния объектов окружающей среды.

Таким образом, цель работы заключается в комплексном геоэкологическом исследовании, что включает оценку временной динамики индекса NDVI (анал. Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный индекс разности растительности), на территории с. Шапагатова для определения его потенциала как индикатора накопления тяжёлых металлов в почвах и направлена на анализ влияния антропогенной деятельности на морскую и прибрежную зоны Каспийского моря.

## Материалы и методы

Объектом исследования являются почвенные образцы на 4 исследовательских площадках (далее – ИП) и анализ спутниковых снимков территории, на которой расположены точки отбора проб.

Исследования проводились по маршрутной методике, в рамках которой были определены четыре исследовательские площадки: ИП-1, ИП-2, ИП-3 и контрольная площадка ИП-4. Отбор проб осуществлялся в 2019, 2021 и 2023 гг.

## Почвенный анализ

Почвенные пробы были отобраны в соответствии с общепринятой методикой, описанной в стандарте ГОСТ 17.4.4.02.84<sup>1</sup>. Пробы были взяты на глубине от 5 до 20 см единовременно в течение дня. После этого образцы почвы были высушены до состояния воздушной сухости при комнатной температуре и просеяны через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Для определения содержания тяжёлых металлов в почве использовался метод атомно-абсорбционной спектрометрии на установке МГА-915М<sup>2</sup> в аккредитованной лаборатории ТОО «Accu Test»<sup>3</sup>. Измерены подвижные формы таких металлов, как свинец, никель, хром, ртуть, ванадий, медь, железо, цинк.

Для изучения агрохимических свойств почв были определены содержание гумуса, цвет, гранулометрический состав, валовый азот, подвижные соединения калия и фосфора, а также подвижные соединения для карбонатных почв и другие характеристики.

Точка мониторинга ИП-1 находится вблизи пос. Акшукур, на расстоянии 303,65 м от береговой линии моря. ИП-2 расположена у автомагистрали Актау – Форт-Шевченко, на расстоянии 1635,1 м от ИП-1, рядом с открытым складом удобрений и материалов для дорожного строительства.

ИП-3 находится в районе частных построек в пригороде с. Шапагатова, на расстоянии 2135 м от ИП-2. Контрольная точка ИП-4 находится на расстоянии 9578 м от ИП-3 и была выбрана

<sup>1</sup> ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.

<sup>2</sup> Атомно-абсорбционная спектрометрия с электротермической атомизацией и Зеемановской коррекцией неселективного поглощения. [lumex.ru/news/113.php](http://lumex.ru/news/113.php).

<sup>3</sup> Основная деятельность – проведение тестирования и сертификации продукции на соответствие стандартам безопасности и качества. [eng.yu.edu.kz/ru/accutest-zhshs](http://eng.yu.edu.kz/ru/accutest-zhshs).

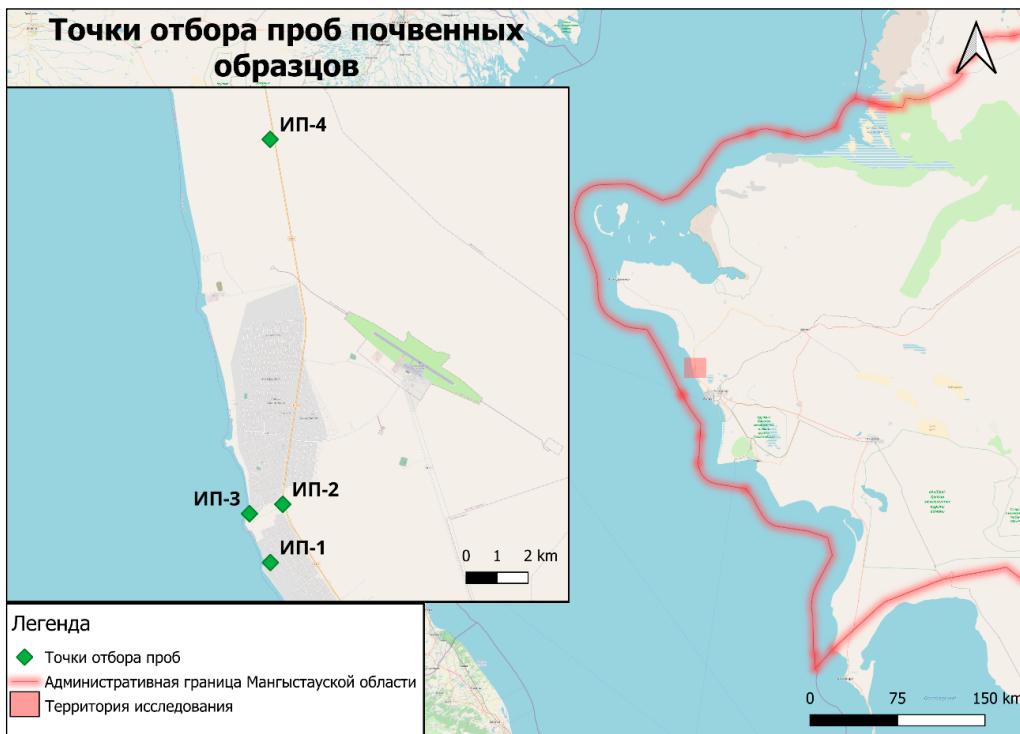


Рисунок 1. Карта точек отбора проб почвы  
Figure 1. Map of soil sampling sites

для мониторинга воздействия окружающей среды. На рис. 1 изображена карта точек отбора проб почвы в прибрежной зоне, составленная в программном комплексе (далее – ПК) QGIS 3.32<sup>4</sup>.

### Методы геоинформационных технологий

Для загрузки космоснимков и выбора лучших вариантов использовалась платформа Sentinel Hub через сервер EO Browser. Снимки, отобранные с облачностью до 30%, обеспечивали хорошую видимость. Использовались снимки от космического спутника Sentinel-2 с разрешением до 10 м [11]. В ПК QGIS 3.32 обрабатывались спутниковые снимки, проводились расчёт индекса NDVI и создание карт сбора образцов почв.

NDVI является показателем, отражающим уровень здоровья и количества растительности на участке земной поверхности. Для вычисления NDVI применяется формула, основанная на значениях инфракрасного и красного каналов снимков.

Индекс NDVI рассчитывается по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

где NIR (англ. Near Infrared – ближний инфракрасный) – значения пикселей из ближнего инфра-

красного канала; RED (пер. с. англ. «красный») – значения пикселей из красного канала [12].

Результаты вычисления NDVI представлены численным значением, которое изменяется в пределах от -1 до 1 (рис. 2). Эти значения отражают степень зелёного покрытия на анализируемой территории. Высокие значения индекса NDVI, приближенные к 1, свидетельствуют о наличии обширного и здорового растительного слоя. Низкие значения индекса NDVI, приближенные к -1, указывают на ограниченное или отсутствующее густое покрытие растительностью. Значение индекса NDVI около нуля говорят о преобладании негустой растительности или обнажённых грунтовых поверхностей. Путём применения данного расчёта создается карта NDVI, которая визуализирует пространственные данные зелёных областей на исследуемой территории [11].



Рисунок 2. Дискретная шкала NDVI  
Figure 2. Discrete NDVI scale

Для оценки здоровья и плотности растительного покрова был выбран участок у береговых линий г. Актау, что охватывает район отбора проб почв.

<sup>4</sup> Настольная ГИС для создания, редактирования, визуализации, анализа и публикации геопространственной информации. [qgis.org](http://qgis.org).

## Результаты и обсуждения

На изучаемых участках в северо-восточном направлении преобладают бурые пустынные почвы, а на глубине, где расположен верхний засоленный горизонт, преимущественно встречаются солончаковые или солончаковые почвы. Содержание гумуса в верхнем слое варьируется от 1,18 до 2,63%, но снижается до 0,42–0,97% в глубоких слоях. Биогенные элементы в этих почвах представлены на невысоком уровне. Обычно чем более тяжелый гранулометрический состав, тем выше обменная ёмкость, которая варьируется от 9,62 до 32,15 мг-экв/100 г. В почвенно-поглощающем комплексе преобладает обменный магний (40–80% от общей ёмкости обмена). Реакция водных суспензий в этих почвах слабощелочная или близка к нейтральной (рН 6,85–7,41).

Характеристика агрохимических показателей почв (табл. 1) на данной территории указывает на низкое содержание органического вещества, щелочную реакцию почвенных растворов, их подверженность засалению и слабую устойчивость к воздействию человеческой деятельности.

рН почвы является основным показателем, влияющим на растворимость и мобильность тя-

жёлых металлов в почве, учитывая то, что влияние на удерживаемость тяжёлых металлов иных агрохимических показателей может различаться в зависимости от вида растительности, характерного для исследуемых почв [13]. Исходя из результатов данного исследования, можно отметить небольшое повышение рН (табл. 1) при тенденции снижения индекса NDVI (рис. 2). Вероятно, это связано с влиянием Каспийского моря, в котором также отмечено постепенное повышение рН с 8,47 до 8,54 в период с 1996 по 2022 гг. [14]. Растения, произрастающие в области исследования, аккумулировали тяжёлые металлы (рис. 3) и погибали, по причине чего происходила эрозия, и почвенные слои, больше не удерживаемые корнями растений, имели более высокую подверженность проникновению воды. Подобное влияние, вероятно, способствовало постепенному увеличению кислотно-щелочного показателя почвы, особенно на участках ИП-2 и ИП-3, где отмечен сдвиг реакции среды в сторону слабощелочной (до рН 7,52 и 7,63 соответственно в 2021 г.). Таким образом, повышение рН в этих точках рассматривается как вторичный эффект, обусловленный нарушением растительного покрова и усилением эрозионных процессов.

**Таблица 1. Физико-химические свойства почвы исследовательских площадок в 2019 и 2021 гг.**  
**Table 1. Physico-chemical soil indicators at research sites, 2019–2021**

Физико-химические характеристики почвы Soil physico-chemical characteristics	Исследовательские площадки / Research sites							
	ИП-1 / RS-1		ИП-2 / RS-2		ИП-3 / RS-3		ИП-4 (фон) / RS-4 (background)	
	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021
Гумус, % Humus, %	1,18	1,19	1,39	1,41	1,47	1,48	2,62	2,63
Азот общий, % Total nitrogen, %	0,26	0,24	0,34	0,36	0,39	0,41	0,27	0,28
Фосфор (валовый), мг/кг Phosphorus (total), mg/kg	1660,3	1662	472,5	473,4	515,17	516,15	2004	2003,8
Карбонаты, % Carbonates, %	3,11	3,13	1,77	1,78	1,82	1,84	2,75	2,77
Ёмкость обмена, мг-экв/100 г Cation exchange capacity, meq/100 g	9,62	9,65	22,85	22,89	24,15	24,89	32,15	32,19
Обменный кальций, мг-экв/100 г Exchangeable calcium, meq/100 g	1,5	1,7	4	4,2	5	5,2	1,3	1,4
Обменный магний, мг-экв/100 г Exchangeable magnesium, meq/100 g	7,11	7,12	17	17,2	18,45	18,5	11,7	11,8
Обменный натрий, мг-экв/100 г Exchangeable sodium, meq/100 g	0,61	0,63	0,93	0,95	0,97	0,98	16,13	16,29
Сумма солей, мг-экв/100 г Total salts, meq/100 g	0,57	0,59	1,06	1,07	1,3	1,33	0,2	0,24
pH	7,39	7,42	7,1	7,52	7,41	7,63	6,85	6,87

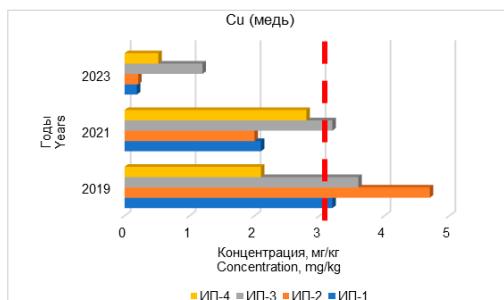
*Красной пунктирной линией на рисунке обозначена предельно допустимая концентрация (далее – ПДК) 3 мг/кг  
The red dashed line indicates the maximum allowable concentration (MAC) of 3 mg/kg*

Изучение наличия содержания тяжёлых металлов в почве имеет важное практическое значение. Учитывая потенциально негативный эффект тяжёлых металлов, важно следить за их содержанием с целью недопущения превышений нормативов ПДК [15].

Полученные результаты анализа почв свидетельствуют о резком снижении концентраций всех тяжёлых металлов в течение пяти лет исследования. Данная динамика представлена на рис. 3 на примере меди. Было отмечено превышение ПДК меди в 2019 г. в 1,6 раз, однако зна-

чения данного показателя снизились в 22 раза к 2023 г. Подобное явление может быть связано с несколькими факторами, включающими естественную ремедиацию почв, эрозионные процессы и выщелачивание.

Учитывая то, что основными источниками загрязнения вблизи территории исследования являются автотранспорт, хвостохранилище «Кошкар-Ата» и промышленные объекты, нельзя не отметить начатые в 2021 г. рекультивационные работы по засыпке местного грунта на хвостохранилище и создание защитной зелёной полосы [16].



**Рисунок 3. Динамика концентрации обнаруженной в почвенных образцах меди в 2019, 2021 и 2023 гг.**

**Figure 3. Dynamics of copper concentration in soil samples in 2019, 2021, and 2023**

Стоит также отметить высокие фоновые концентрации хрома, цинка, никеля и мышьяка, характерные для местных почв (табл. 2).

**Таблица 2. Концентрации тяжёлых металлов в кларках земной коры и их фоновое содержание в почвах исследуемого района, мг/кг**

**Table 2. Heavy metal concentrations in crustal clarke values and their background levels in soils of the study area, mg/kg**

Элемент Element	Кларки <sub>з.к</sub> Crustal clarke value	Фон Background
Медь (Cu)	47	6,4
Никель (Ni)	58	17,2
Мышьяк (As)	1,7 (5,0)	7,7
Кадмий (Cd)	0,13	0,9
Хром (Cr)	83 (70)	21,2
Свинец (Pb)	16	10,1
Цинк (Zn)	83	16

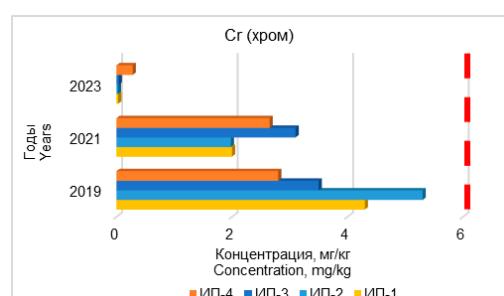
Мышьяк превышает ПДК на всех исследованных участках, причём наибольшее превышение отмечается именно на фоновой ИП-4. Это объясняется природными процессами, характерными для Мангистауской области, связанными с влиянием разливов и сжигания нефти на почвы прибрежной зоны в области исследования.

Наиболее распространённым в 2019 г. являлось загрязнение цинком, которое показало резкое снижение в 2021 г. и оставалось стабильным по данным 2023 г. При этом содержание меди ощущимо снизилось в 2023 г. в сравнении с изменениями между 2019 и 2021 гг. Похожую динамику показало содержание никеля и хрома в почвенных образцах: сначала снижение в 3,1 раз и 2,7 раз в 2021 г., далее снижение в 21 раз и в 79 раз в 2023 г. (рис. 4–5). Особое внимание стоит обратить на снижение концентраций свинца и мышьяка, которые относительно мышьяка (рис. 6), никеля и хрома не должны иметь высоких фоновых значений, и хотя превышение ПДК для этих показателей не было отмечено, снижение их концентраций говорит о наличии техногенного воздействия, которое снизилось в период 2021–2023 гг. (рис. 8–9), что соответствует времени начала remediationных работ на хвостохранилище «Кошкар-Ата».

Это приводит к выводу, что влияние разливов и сжигания нефти на почвы прибрежной зоны в области исследования было минимальным.

Таким образом, наибольшее снижение было характерно для точек ИП-2 и ИП-3, что очень чётко коррелирует с результатами анализа NDVI (рис. 10). Согласно рис. 10, по дискретной шкале NDVI (рис. 2) наиболее низкие показатели индекса характерны в местах отбора проб ИП-2 и ИП-3. В данных точках отмечены более высокие концентрации тяжёлых металлов относительно других точек отбора.

В особенности превышения в данных точках отбора отмечены для кадмия, никеля и меди. Содержание цинка в анализируемых почвах не превышало ПДК и показало дальнейшую тенденцию к уменьшению с каждым годом исследования (рис. 7).

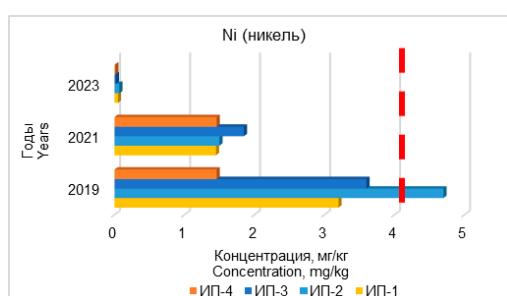


**Рисунок 4. Динамика концентрации обнаруженного в почвенных образцах хрома в 2019, 2021 и 2023 гг.**

**Figure 4. Dynamics of chromium concentration in soil samples in 2019, 2021, and 2023.**

Красной пунктирной линией на рисунке обозначена ПДК 6 мг/кг.

The red dashed line indicates the MAC of 6 mg/kg.

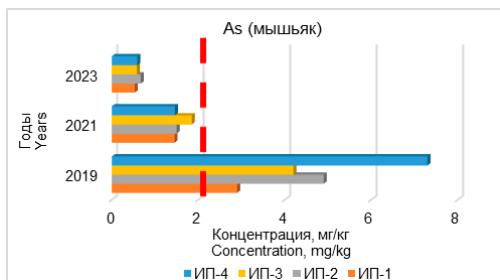


**Рисунок 5. Динамика концентрации обнаруженного в почвенных образцах никеля в 2019, 2021 и 2023 гг.**

**Figure 5 Dynamics of nickel concentration in soil samples in 2019, 2021, and 2023**

Красной пунктирной линией на рисунке обозначена ПДК 4 мг/кг.

The red dashed line indicates the MAC of 4 mg/kg.

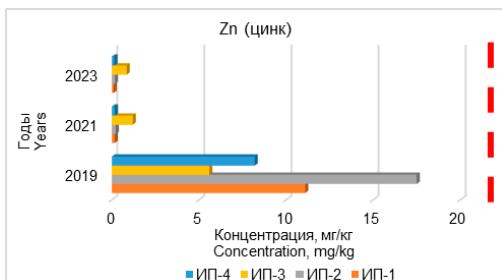


**Рисунок 6. Динамика концентрации обнаруженного в почвенных образцах мышьяка в 2019, 2021 и 2023 гг.**

**Figure 6. Dynamics of arsenic concentration in soil samples in 2019, 2021, and 2023**

Красной пунктирной линией на рисунке обозначена ПДК 2 мг/кг.

The red dashed line indicates the MAC of 2 mg/kg.

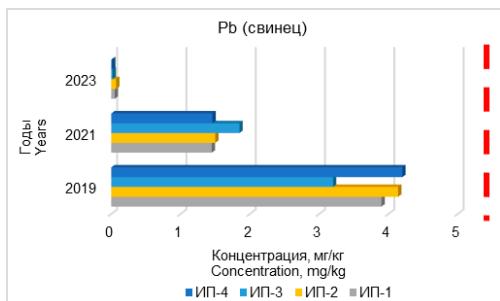


**Рисунок 7. Динамика концентрации обнаруженного в почвенных образцах цинка в 2019, 2021 и 2023 гг.**

**Figure 7. Dynamics of zinc concentration in soil samples in 2019, 2021, and 2023**

Красной пунктирной линией на рисунке обозначена ПДК 23 мг/кг.

The red dashed line indicates the MAC of 23 mg/kg.

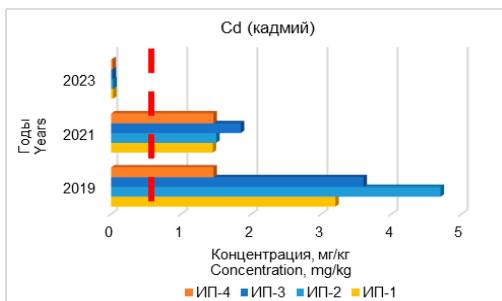


**Рисунок 8. Динамика концентрации обнаруженного в почвенных образцах свинца в 2019, 2021 и 2023 гг.**

**Figure 8. Dynamics of lead concentration in soil samples in 2019, 2021, and 2023**

Красной пунктирной линией на рисунке обозначена ПДК 32 мг/кг.

The red dashed line indicates the MAC of 32 mg/kg.



**Рисунок 9. Динамика концентрации обнаруженного в почвенных образцах кадмия в 2019, 2021 и 2023 гг.**

**Figure 9. Dynamics of cadmium concentration in soil samples in 2019, 2021, and 2023**

Красной пунктирной линией на рисунке обозначена ПДК 0,5 мг/кг.

The red dashed line indicates the MAC of 0.5 mg/kg.

Превышения ПДК кадмия на 2019 г. составляли 9,4 и 7,2 ПДК для ИП-2 и ИП-3 соответственно. Данные показатели снизились в 2023 г. в 156 и 164 раза для ИП-2 и ИП-3 соответственно.

В 2019 г. отмечается высокий вегетационный индекс (рис. 10, а). Это может указывать на отложенный эффект загрязнения или компенсаторные механизмы растений.

В 2021 г. при снижении загрязнения, но сохранении Cd выше ПДК, фотосинтетическая активность растительности снизилась (рис. 10, б), это может указывать на включение ремедиационных механизмов растений.

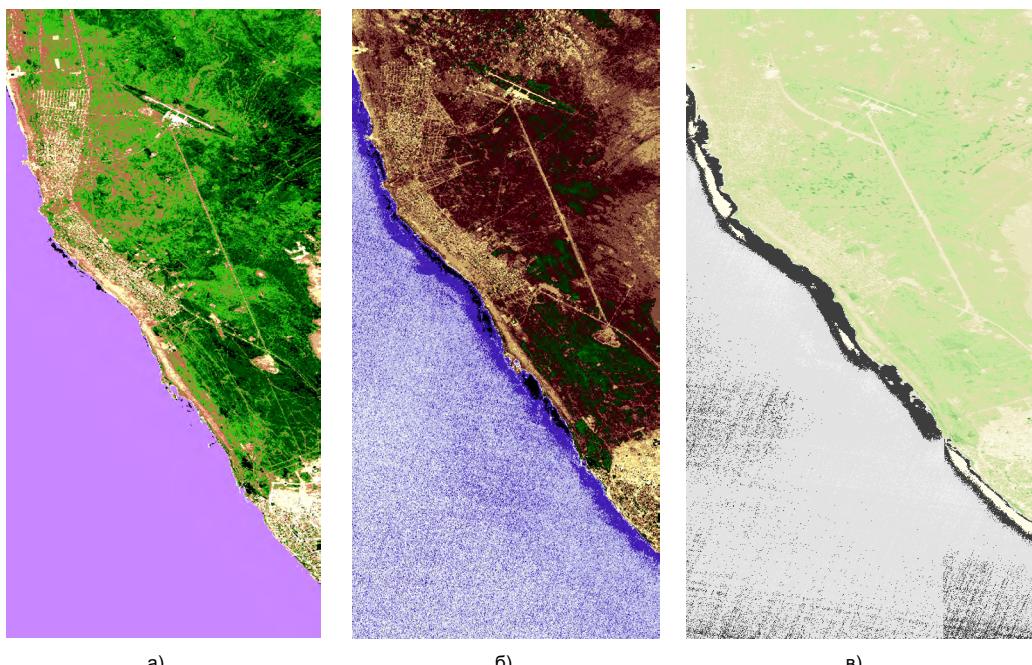
В 2023 г. NDVI имел показатель от -1 до 0,66 (рис. 10, в), что указывают на отсутствие растительности на некоторых участках и зоны с относительно здоровой и густой растительностью. В целом это указывает на некоторое восстановление деградированной экосистемы.

На исследуемом участке первоначальные значения NDVI были высокими, что указывало на здоровую и густую растительность. Например, значения NDVI в районе ИП-1, ИП-2 и ИП-3 находились в диапазоне от 0,5 до 0,7, что свидетельствовало о высокой плотности и активности фотосинтетической деятельности растений (рис. 10, а). Однако в ходе последующих наблюдений было зафиксировано значительное снижение показателей NDVI. В 2021 г. значения NDVI на всех исследовательских площадках упали до 0 или ниже, что указывает на серьёзные проблемы с растительностью (рис. 10, б). Значения NDVI, близкие к 0, свидетельствуют о слабой или мёртвой растительности либо об отсутствии растительного покрова. Такое резкое снижение NDVI может быть вызвано несколькими факторами, включая загрязнение тяжёлыми металлами, засуху, истощение почвенного покрова, заболевания растений

или антропогенное воздействие. Таким образом, снижение значений NDVI до 0 является тревожным сигналом, указывающим на ухудшение здоровья растительности и возможное разрушение экосистемы на исследуемом участке.

Согласно анализу спектрального снимка за 2023 г., минимальное значение NDVI состав-

ляет -1 (рис. 10, в), что может указывать на отсутствие растительности или её существенные проблемы. Максимальное значение 0,667642 находится в среднем диапазоне, что может свидетельствовать о частичном сохранении растительности, но всё ещё может указывать на присутствие проблем.



**Рисунок 10. Космоснимки с индексом NDVI**

**Figure 10. Satellite images with NDVI index**  
a) 26.04.2019; б) 15.04.2021; в) 10.04.2023

### Заключение

В области исследования обнаружено влияние техногенных факторов на почву и растительность. Загрязнение преимущественно исходило от наземных источников, поскольку с учётом естественной фиторемедиации и отсутствия постоянного повышения концентрации тяжёлых металлов понижение показателей тяжёлых металлов в период исследования было резким, но стабильным. Это соответствует периоду начала рекультивации земель хвостохранилища

«Кошкар-Ата». Несмотря на то, что частым источником загрязнения тяжёлыми металлами почв прибрежных зон является сжигание или разлив нефти, непосредственно в данном случае подобные источники оказали минимальное влияние.

Анализ индекса NDVI за 2023 г. показал, что растительный слой, подвергенный в ранние годы исследованиям вредному воздействию, начал восстанавливаться, что чётко коррелирует с очень низкими концентрациями тяжёлых металлов в почве в 2023 г.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНО

**Источник финансирования.** Данные исследования финансировались Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, ИРН AP19175679 «Комплексное исследование и оценка экологического состояния Восточного побережья Каспийского моря в районе города Актау».

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

### ADDITIONAL INFORMATION

**Funding source.** This research was funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under grant IRN AP19175679 “Comprehensive Study and Assessment of the Ecological State of the Eastern Caspian Coast in the Aktau Area.”

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Джаналиева Н.Ш., Серикбаева А.К. – анализ и проверка результатов исследований, написание и редактирование рукописи; Сейткожина Д. и Алдакова М.Д. – детальный анализ, проведение исследований, интерпретация и систематизация результатов, подготовка рисунков; Сырлыбеккызы С., Алтыбаева Ж.К. – работа с источниками, подготовка литературного обзора и табличных данных.

of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. The greatest contribution is distributed as follows: Nurgul Sh. Dzhanaliyeva, Akmaral K. Serikbayeva analyzed and validated the data and contributed to writing and editing the manuscript; Damira A. Seitkozhina, Madina DZh. Aldakova carried out detailed analyses, conducted the experiments, interpreted and systematized the results, and prepared the figure; Samal Syrlybekkyzy, Zhanssaule K. Altybayeva reviewed the literature, analyzed the sources, and prepared the tables.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ramazanova E., Bahetur Y., Yessenbayeva K., et al. Spatiotemporal evaluation of water quality and risk assessment of heavy metals in the northern Caspian Sea bounded by Kazakhstan // *Marine Pollution Bulletin*. 2022. Vol. 181. doi: [10.1016/j.marpolbul.2022.113879](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113879).
2. El-Sharkawy M., Alotaibi M.O., Li J., et al. Heavy Metal Pollution in Coastal Environments: Ecological Implications and Management Strategies: A Review // *Sustainability*. 2025. Vol. 17, N 2. doi: [10.3390/su17020701](https://doi.org/10.3390/su17020701).
3. Udoifia U.U., Joseph A.P. Impact of Oil Spillage on the Levels of Heavy Metals and Petroleum Hydrocarbons in Millipede and Soil from Ikot Ada Udo, Akwa Ibom State, South-South Nigeria // *International Journal of Environment and Waste Management*. 2022. Vol. 30, N 4. P. 425–439. doi: [10.1504/IJEW.M.2022.128218](https://doi.org/10.1504/IJEW.M.2022.128218).
4. Gong Z., Wang Z., Wang Z. Study on migration characteristics of heavy metals during oil sludge incineration // *Petroleum Science and Technology*. 2018. Vol. 36, N 6. P. 469–474. doi: [10.1080/10916466.2018.1430156](https://doi.org/10.1080/10916466.2018.1430156).
5. Yang J., Zhao Y., Ruan X., Zhang G. Anthropogenic Contribution and Migration of Soil Heavy Metals in the Vicinity of Typical Highways // *Agronomy*. 2023. Vol. 13, N 2. doi: [10.3390/agronomy13020303](https://doi.org/10.3390/agronomy13020303).
6. Скрипко Т.В., Мальгина И.Л. Экологические последствия загрязнения почв тяжёлыми металлами // Успехи современного естествознания. 2019. N 6. С. 105–110.
7. Bharti R., Sharma R. Effect of heavy metals: An overview // *Materials Today: Proceedings*. 2022. Vol. 51, Part 1. P. 880–885. doi: [10.1016/j.matpr.2021.06.278](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.278).
8. Dehkordi M.M., Nodeh Z.P., Dehkordi K.S., et al. Soil, air, and water pollution from mining and industrial activities: sources of pollution, environmental impacts, and prevention and control methods // *Results in Engineering*. 2024. Vol. 23. doi: [10.1016/j.rineng.2024.102729](https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102729).
9. Sperdouli I. Heavy Metal Toxicity Effects on Plants // *Toxics*. 2022. Vol. 10, N 12. doi: [10.3390/toxics10120715](https://doi.org/10.3390/toxics10120715).
10. Зыбалов В.С., Полкова М.А. Влияние тяжёлых металлов на агрохимические показатели почв Южного Урала // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Химия. 2018. Т. 10, № 2. С. 33–40. doi: [10.14529/chem180204](https://doi.org/10.14529/chem180204).
11. Huang S., Tang L., Hupry J.P., et al. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing // *Journal of Forestry Research*. 2021. Vol. 32, N 1. С. 1–6. doi: [10.1007/s11676-020-01155-1](https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1).
12. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. 2011. № 2. С. 98–102.
13. Xu D., Shen Zh., Dou Ch., et al. Effects of soil properties on heavy metal bioavailability and accumulation in crop grains under different farmland use patterns // *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. doi: [10.1038/s41598-022-13140-1](https://doi.org/10.1038/s41598-022-13140-1).
14. ncos.kz [интернет]. Ретроспективный аналитический отчёт по результатам морских экологических исследований период с 2017 по 2022 гг. [дата обращения: 13.04.2025]. Доступ по ссылке: [www.ncos.kz/public/publications/ncos/\\_Ретроспективный\\_аналитический\\_отчет\\_по\\_результатам\\_морских\\_экологических\\_исследований\\_за\\_период\\_с\\_2017\\_по\\_2022\\_годы.pdf](http://www.ncos.kz/public/publications/ncos/_Ретроспективный_аналитический_отчет_по_результатам_морских_экологических_исследований_за_период_с_2017_по_2022_годы.pdf).
15. Liu Y., Ma Z., Lv J., Bi J. Identifying sources and hazardous risks of heavy metals in topsoils of rapidly urbanizing East China // *Journal of Geographical Sciences*. 2016. Vol. 26. P. 735–749. doi: [10.1007/s11442-016-1296-x](https://doi.org/10.1007/s11442-016-1296-x).
16. gov.kz [интернет]. Рекультивация хвостохранилища "Кошкар Ата" продолжается в Мангистау [дата обращения: 17.04.2025]. Доступ по ссылке: [www.gov.kz/memleket/entities/mangystau/press/news/details/450034?lang=ru](http://www.gov.kz/memleket/entities/mangystau/press/news/details/450034?lang=ru).
17. Кенжетаев Г.Ж., Сырлыбеккызы С., Жидебаева А.Е. Содержание тяжёлых металлов и мышьяка в почвах района цементного завода // *Spirit Time*. 2020. № 4(28). С. 12–16.

## REFERENCES

1. Ramazanova E., Bahetur Y., Yessenbayeva K., et al. Spatiotemporal evaluation of water quality and risk assessment of heavy metals in the northern Caspian Sea bounded by Kazakhstan. *Marine Pollution Bulletin*. 2022;181:113879. doi: [10.1016/j.marpolbul.2022.113879](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113879).
2. El-Sharkawy M., Alotaibi MO., Li J., et al. Heavy Metal Pollution in Coastal Environments: Ecological Implications and Management Strategies: A Review. *Sustainability*. 2025;17(2):701. doi: [10.3390/su17020701](https://doi.org/10.3390/su17020701).

3. Udoifia UU, Joseph AP. Impact of Oil Spillage on the Levels of Heavy Metals and Petroleum Hydrocarbons in Millipede and Soil from Ikot Ada Udo, Akwa Ibom State, South-South Nigeria. *International Journal of Environment and Waste Management*. 2022;30(4):425–439. doi: [10.1504/IJEWVM.2022.128218](https://doi.org/10.1504/IJEWVM.2022.128218).
4. Gong Z, Wang Z, Wang Z. Study on migration characteristics of heavy metals during oil sludge incineration. *Petroleum Science and Technology*. 2018;36(6):469–474. doi: [10.1080/10916466.2018.1430156](https://doi.org/10.1080/10916466.2018.1430156).
5. Yang J, Zhao Y, Ruan X, Zhang G. Anthropogenic Contribution and Migration of Soil Heavy Metals in the Vicinity of Typical Highways. *Agronomy*. 2023;13(2):303. doi: [10.3390/agronomy13020303](https://doi.org/10.3390/agronomy13020303).
6. Skripko TV, Malgina IL. Environmental Consequences of Soil Pollution by Heavy Metals. *Advances in current natural sciences*. 2019;6:105–110. (In Russ).
7. Bharti R, Sharma R. Effect of heavy metals: An overview. *Materials Today: Proceedings*. 2022;51(1):880–885. doi: [10.1016/j.matpr.2021.06.278](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.278).
8. Dehkordi MM, Nodeh ZP, Dehkordi KS, et al. Soil, air, and water pollution from mining and industrial activities: sources of pollution, environmental impacts, and prevention and control methods. *Results in Engineering*. 2024;23:102729. doi: [10.1016/j.rineng.2024.102729](https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102729).
9. Sperdouli I. Heavy Metal Toxicity Effects on Plants. *Toxics*. 2022;10(12):715. doi: [10.3390/toxics10120715](https://doi.org/10.3390/toxics10120715).
10. Zybalov VS, Popkova MA. Influence of heavy metals on agrochemical indicators of The South Ural soils. *Bulletin of the Ural State University*. 2018;10(2):33–40. (In Russ). doi: [10.14529/chem180204](https://doi.org/10.14529/chem180204).
11. Huang S, Tang L, Hupy JP, et al. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*. 2021;32(1):1–6. doi: [10.1007/s11676-020-01155-1](https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1).
12. Cherepanov AS. Vegetatsionnye indeksy. *Geomatika*. 2011;2:98–102. (In Russ).
13. Xu D, Shen Z, Dou C, et al. Effects of soil properties on heavy metal bioavailability and accumulation in crop grains under different farmland use patterns. *Scientific Reports*. 2022;12:9211. doi: [10.1038/s41598-022-13140-1](https://doi.org/10.1038/s41598-022-13140-1).
14. ncoc.kz [Internet]. Retrospective analytical report on the results of 2017–2022 offshore environmental survey [cited 2025 Apr 13]. Available from: [www.ncoc.kz/public/publications/ncoc/\\_Retrospective Analytical Report on the Results of 2017–2022 Offshore Environmental Survey.pdf](http://www.ncoc.kz/public/publications/ncoc/_Retrospective Analytical Report on the Results of 2017–2022 Offshore Environmental Survey.pdf).
15. Liu Y, Ma Z, Lv J, Bi J. Identifying sources and hazardous risks of heavy metals in topsoils of rapidly urbanizing East China. *Journal of Geographical Sciences*. 2016;26:735–749. doi: [10.1007/s11442-016-1296-x](https://doi.org/10.1007/s11442-016-1296-x).
16. gov.kz [Internet]. Rekul'tivatsiya khvostokhranilishcha "Koshkar Ata" prodolzaetsya v Mangistau [cited 2025 Apr 17]. Available from: [www.gov.kz/memlekет/entities/mangystau/press/news/details/450034?lang=ru](http://www.gov.kz/memlekет/entities/mangystau/press/news/details/450034?lang=ru).
17. Kenzhetaev GZ, Syrlybekkyzy S, Zhedebayeva AE. The content of heavy metals and arsenic in the soils of the cement plant area. *Spirit Time*. 2020;4(28):12–16. (In Russ).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Джаналиева Нургуль Шарипкалиевна**  
PhD  
ORCID 0000-0002-9823-0255  
e-mail: [nurgul.janaliyeva@yu.edu.kz](mailto:nurgul.janaliyeva@yu.edu.kz).

**Серикбаева Акмарал Кабылбековна**  
профессор  
ORCID 0000-0001-8030-8934  
e-mail: [serikbayeva.akmaral@yu.edu.kz](mailto:serikbayeva.akmaral@yu.edu.kz).

**Сейткохина Дамира Ардаковна**  
ORCID 0009-0001-7535-9750  
e-mail: [damiraseit@gmail.com](mailto:damiraseit@gmail.com).

**\*Алдакова Мадина Джиенбековна**  
ORCID 0009-0009-5737-7216  
e-mail: [m.aldakova@kmge.kz](mailto:m.aldakova@kmge.kz).

**Сырлыбеккызы Самал**  
PhD, профессор  
ORCID 0000-0002-0260-0611  
e-mail: [syrylybekkyzy.samal@yu.edu.kz](mailto:syrylybekkyzy.samal@yu.edu.kz).

**Алтыбаяева Жансауле Кадыргалиевна**  
ORCID 0000-0002-8404-2157  
e-mail: [zhahsaule.altybayeva@yu.edu.kz](mailto:zhahsaule.altybayeva@yu.edu.kz).

## AUTHORS' INFO

**Nurgul Sh. Dzhanaliyeva**  
PhD  
ORCID 0000-0002-9823-0255  
e-mail: [nurgul.janaliyeva@yu.edu.kz](mailto:nurgul.janaliyeva@yu.edu.kz).

**Akmaral K. Serikbayeva**  
Professor  
ORCID 0000-0001-8030-8934  
e-mail: [serikbayeva.akmaral@yu.edu.kz](mailto:serikbayeva.akmaral@yu.edu.kz).

**Damira A. Seitkozhina**  
ORCID 0009-0001-7535-9750  
e-mail: [damiraseit@gmail.com](mailto:damiraseit@gmail.com).

**\*Madina D. Aldakova**  
ORCID 0009-0009-5737-7216  
e-mail: [m.aldakova@kmge.kz](mailto:m.aldakova@kmge.kz).

**Samal Syrlybekkyzy**  
PhD, Professor  
ORCID 0000-0002-0260-0611  
e-mail: [syrylybekkyzy.samal@yu.edu.kz](mailto:syrylybekkyzy.samal@yu.edu.kz).

**Zhanssaule K. Altybayeva**  
ORCID 0000-0002-8404-2157  
e-mail: [zhahsaule.altybayeva@yu.edu.kz](mailto:zhahsaule.altybayeva@yu.edu.kz).

\*Автор, ответственный за переписку / Corresponding Author