

Код МРНТИ 87.21.09

*Д.К. Сунакбаева¹, Д.Х. Юлдашбек¹, К.У. Айтекова², Н.Ш. Омирзақ²¹Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави
(г. Туркестан, Казахстан),²Международный Таразский университет им. Шерхана Муртазы
(г. Тараз, Казахстан)

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ГОРОДОВ ТУРКЕСТАН И КЕНТАУ

Аннотация. Загрязнение почв тяжелыми металлами является одной из актуальных геоэкологических проблем урбанизированных территорий аридных регионов. Целью настоящего исследования являлась оценка пространственного распределения *Zn*, *Cd*, *Pb* и *Cu* в почвах городов Туркестан и Кентау, а также анализ влияния физико-химических свойств почв на процессы их аккумуляции и миграции. Мониторинговые исследования включали отбор почвенных проб в различных функциональных зонах городов и на условно фоновой территории. Установлено, что почвы Кентау характеризуются значительно более высоким уровнем загрязнения по сравнению с Туркестаном, что связано с историческим техногенным воздействием. Установлено, что автотранспорт является основным диффузным источником *Zn*, *Pb* и *Cu*, тогда как *Cd* служит индикатором техногенного воздействия. Полученные результаты могут быть использованы при оценке экологических рисков, а также при разработке мероприятий по мониторингу и восстановлению почв урбанизированных территорий.

Ключевые слова: почвы, тяжелые металлы, техногенное загрязнение, Туркестан, Кентау, физико-химические свойства.

Түркістан және Кентау қалаларының топырағындағы ауыр металдар құрамына антропогендік әсердің ықпалы

Аннотация. Топырақтың ауыр металдармен ластануы аридті аймақтардағы урбандалған аумақтардың өзекті геоэкологиялық мәселелерінің бірі болып табылады. Осы зерттеудің мақсаты Түркістан және Кентау қалаларының топырағындағы *Zn*, *Cd*, *Pb* және *Cu* элементтерінің кеңістіктік таралуын бағалау, сондай-ақ топырақтың физико-химиялық қасиеттерінің ауыр металдардың аккумуляциясы мен миграциясына әсерін талдау болып табылады. Мониторингтік зерттеулер қалалардың әртүрлі функционалдық аймақтарында және шартты фондық аумақтарда топырақ сынақтарын іріктеуді қамтыды. Зерттеу нәтижелері Кентау қаласының топырағы Түркістанмен салыстырғанда ластанудың едәуір жоғары деңгейімен сипатталатынын көрсетті, бұл тарихи техногендік әсерлермен байланысты. Автокөлік қозғалысы *Zn*, *Pb* және *Cu* элементтерінің негізгі диффузиялық көзі болып табылатыны, ал *Cd* техногендік әсердің көрсеткіші екендігі анықталды. Алынған нәтижелерді экологиялық тәуекелдерді бағалауда және урбандалған аумақтардың топырағын мониторингілеу мен қалпына келтіру шараларын әзірлеуде пайдаланылуға болады.

Түйінді сөздер: топырақтар, ауыр металдар, техногендік ластану, Түркістан, Кентау, физико-химиялық қасиеттер.

Impact of anthropogenic activities on heavy metal content in urban soils of Turkestan and Kentau

Abstract. Soil contamination by heavy metals represents one of the most pressing geoecological issues in urbanized areas of arid regions. The aim of this study was to assess the spatial distribution of *Zn*, *Cd*, *Pb*, and *Cu* in the soils of the cities of Turkestan and Kentau, as well as to analyze the influence of physicochemical soil properties on the processes of heavy metal accumulation and migration. Monitoring investigations included soil sampling within various functional zones of the cities and at conditionally background sites. The results indicate that soils of Kentau are characterized by significantly higher levels of contamination compared to those of Turkestan, which is associated with long-term historical technogenic impacts. It has been established that road traffic is the main diffuse source of *Zn*, *Pb*, and *Cu*, whereas *Cd* serves as an indicator of technogenic impact. The obtained results can be used for environmental risk assessment and for the development of soil monitoring and remediation measures in urbanized areas.

Key words: soils, heavy metals, technogenic pollution, Turkestan, Kentau, physicochemical properties.

Введение

Загрязнение почв тяжелыми металлами является одной из глобальных экологических проблем, особенно в условиях урбанизированных территорий с интенсивной антропогенной нагрузкой. Тяжелые металлы, такие как цинк (*Zn*), кадмий (*Cd*), свинец (*Pb*), и медь (*Cu*), обладают высокой токсичностью, не разлагаются в окружающей среде и могут накапливаться в верхних горизонтах почвы, представляя угрозу для растений, животных и человека [1, 2].

Тяжелые металлы поступают в почву через промышленные выбросы, выхлопные газы транспорта, бытовые отходы, а также эрозию и осадочные процессы в урбанизированных районах. Накапливаясь в почве, металлы могут мигрировать в подземные воды, проникать в растительность и поступать в пищевую цепь, что создает долгосрочные экологические и санитарные риски [3, 4].

Города южного Казахстана, такие как Туркестан и Кентау, расположены в аридной зоне с резко континентальным климатом, что сопровождается низкой влажностью воздуха и ограниченным выпадением осадков. Эти природно-климатические условия определяют характер почв, преобладание карбонатных щелочных типов (серозем и легкие каштановые почвы), низкое содержание органического вещества и высокую буферную способность [5, 6].

Особенности физико-химических свойств почв, такие как pH, содержание органического вещества, карбонатов и растворимых солей, играют ключевую роль в миграции, аккумуляции и биодоступности тяжелых металлов. Щелочные карбонатные почвы способствуют формированию устойчивых геохимических барьеров, ограничивающих подвижность металлов, однако локальные зоны техногенного воздействия могут создавать очаги повышенной концентрации [7, 8].

Туркестан – город с развивающейся инфраструктурой, значительной транспортной нагрузкой и активным строительством, где интенсивное движение транспорта и бытовая деятельность являются основными источниками загрязнения почв [2, 9]. В то же время Кентау имеет исторический профиль горнодобывающего и металлургического города, где остаточные загрязнения прошлых промышленных объектов влияют на современные уровни тяжелых металлов в почвах [6, 10].

Несмотря на актуальность проблемы, систематические данные о распределении тяжелых металлов в почвах этих городов отсутствуют, а влияние физико-химических параметров почв на их аккумуляцию изучено недостаточно. Получение таких данных является необходимым условием для оценки экологического состояния террито-

рий и разработки мер по снижению антропогенной нагрузки [3, 5, 7].

Цель настоящего исследования состоит в оценке пространственного распределения *Zn*, *Cd*, *Pb* и *Cu* в почвах городов Туркестан и Кентау, а также в изучении влияния физических и химических свойств почв на миграцию и аккумуляцию металлов. Для достижения цели были решены следующие задачи: отбор проб почвы в различных функциональных зонах, определение содержания металлов методом инверсионно-вольтамперометрического анализа, исследование физико-химических характеристик почв и статистическая обработка данных для выявления закономерностей загрязнения [1, 4, 8].

Материалы и методы

Объектом исследования являлись почвы урбанизированных территорий городов Туркестан и Кентау, расположенных в южной части Казахстана и характеризующихся аридными климатическими условиями и высокой антропогенной нагрузкой. Предметом исследования было содержание и пространственное распределение тяжелых металлов (*Zn*, *Cd*, *Pb* и *Cu*), а также физико-химические свойства почв, влияющие на их миграцию и аккумуляцию.

Мониторинговые исследования проводились в пределах функционально различных зон городов. Всего было заложено 14 точек отбора проб: 7 точек в городе Туркестан и 7 точек в городе Кентау, охватывающих жилые, придорожные, транспортные, коммунально-бытовые, промышленные зоны и территории техногенного воздействия. Для оценки естественного геохимического фона дополнительно были отобраны почвенные пробы на условно фоновой территории, удаленной от промышленных объектов и интенсивных транспортных потоков.

Отбор почвенных проб осуществлялся из верхнего горизонта (0–20 см) методом «конверта» в соответствии с общепринятыми требованиями экологического и геохимического мониторинга. Каждая интегральная проба формировалась путем смешивания не менее пяти точечных подпроб. Отобранные образцы высушивались при комнатной температуре, очищались от растительных остатков и механических примесей, после чего просеивались через сито с размером ячеек 1 мм.

Определение концентраций *Zn*, *Cd*, *Pb* и *Cu* проводилось методом инверсионно-вольтамперометрического анализа. Метод основан на предварительном электрохимическом накоплении определяемых элементов на рабочем электроде с последующей анодной разверткой потенциала.

Измерения выполнялись с использованием стандартной трехэлектродной системы, включающей рабочий электрод, вспомогательный электрод и электрод сравнения.

Физико-химические свойства почв, включая содержание органического вещества, углерода, подвижных форм фосфора и калия, pH водной вытяжки, общую минерализацию и ионный состав почвенного раствора (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+}), определялись по стандартным методикам, принятым в почвенно-геохимических исследованиях.

Пространственный анализ распределения тяжелых металлов осуществлялся путем сопоставления concentra-

ций элементов между функциональными зонами городов и с фоновыми значениями.

Результаты

Пространственное распределение тяжелых металлов в почвах городов Туркестан и Кентау

Мониторинговые исследования охватывали 14 точек отбора проб: 7 – в пределах города Туркестан и 7 – в городе Кентау. Дополнительно были отобраны фоновые пробы на условно чистой территории за пределами городской застройки для оценки естественного уровня содержания тяжелых металлов.

Содержание тяжелых металлов в почвах города Туркестан

Результаты определения концентраций *Zn*, *Cd*, *Pb* и *Cu* в почвах различных функциональных зон города Туркестан представлены в таблице 1. Анализ данных показывает выраженную пространственную неоднородность распределения тяжелых металлов, обусловленную характером антропогенной нагрузки.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в почвах города Туркестан

Кесте 1

Туркістан қаласы топырағындағы ауыр металдар құрамы

Table 1

Heavy metal content in soils of the city of Turkestan

Характеристика точки	<i>Zn</i> (мг/кг)	<i>Cd</i> (мг/кг)	<i>Pb</i> (мг/кг)	<i>Cu</i> (мг/кг)
Жилая зона (малоэтажная застройка)	178	0,014	26	31.4
Придорожная территория (магистраль)	190	0.057	35	30.9
Жилая зона с рекреационной нагрузкой	206	0.028	33	43.9
Район интенсивного автотранспорта	235	0.089	48	58.1
Коммунально-бытовая зона	229	0.046	52	52.7
Территория вблизи промышленных объектов	254	0.219	69	63.3
Смешанная жилая и транспортная зона	243	0.182	57	60.9

Минимальные концентрации большинства исследованных элементов зафиксированы в жилой зоне с малоэтажной застройкой, где содержание *Zn* составляет 178 мг/кг, *Cd* – 0,014 мг/кг, *Pb* – 26 мг/кг, *Cu* – 31,4 мг/кг. Повышение концентраций отмечается в придорожных и транспортно-нагруженных зонах, что указывает на существенную роль

автомобильного транспорта как источника поступления **Pb**, **Cu** и **Zn** в почвы.

Наиболее высокие значения содержания всех металлов зарегистрированы на территории вблизи промышленных объектов: **Zn** – 254 мг/кг, **Cd** – 0,219 мг/кг, **Pb** – 69 мг/кг, **Cu** – 63,3 мг/кг. Коммунально-бытовая зона и районы интенсивного автотранспорта также характеризуются повышенными концентрациями **Pb** и **Cu**, что свидетельствует о комплексном воздействии техногенных факторов.

Содержание тяжелых металлов в почвах города Кентау

Данные по содержанию тяжелых металлов в почвах города Кентау приведены в таблице 2. В целом для исследуемой территории характерны более высокие концентрации **Zn**, **Cd**, **Pb** и **Cu** по сравнению с городом Туркестан, что связано с исторически сложившейся промышленной специализацией города.

Таблица 2
Содержание тяжелых металлов в почвах города Кентау

Кесте 2
Кентау қаласы топырағындағы ауыр металдар құрамы

Table 2
Heavy metal content in soils of the city of Kentau

Характеристика точки	Zn (мг/кг)	Cd (мг/кг)	Pb (мг/кг)	Cu (мг/кг)
Жилая зона	212	0,155	47	51,1
Придорожная зона	259	0,241	85	58,7
Центральная часть города	228	0,298	63	49,5
Жилая зона	216	0,173	54	53,2
Промышленная зона (бывшие предприятия)	301	0,644	170	88,2
Территория техногенного воздействия	315	0,589	203	96,3
Промышленно-транспортный узел	296	0,537	191	74,9

Наименьшие значения зафиксированы в жилых зонах, однако даже здесь содержание **Cd** (0,155–0,173 мг/кг) и **Pb** (47–54 мг/кг) остается повышенным. Существенный рост концентраций всех металлов наблюдается в придорожной зоне и центральной части города, что отражает влияние транспортных потоков и плотной застройки.

Максимальные значения установлены в промышленной зоне бывших предприятий и на территории техногенного воздействия. В этих районах содержание **Zn** достигает 301–315 мг/кг, **Cd** – 0,589–0,644 мг/кг, **Pb** – 170–203 мг/кг, **Cu** – 88,2–96,3 мг/кг. Промышленно-транспортный узел также характеризуется высоким уровнем загрязнения, что указывает на устойчивый техногенный характер накопления металлов в почвенном покрове.

Содержание тяжелых металлов в фоновых почвенных пробах

Результаты определения содержания **Zn**, **Cd**, **Pb** и **Cu** в условно фоновых почвенных пробах представлены в таблице 3. Отбор проб осуществлялся в зонах, удаленных от прямого воздействия промышленных и транспортных источников загрязнения, что позволяет рассматривать полученные данные как региональный фон.

Таблица 3
Содержание тяжелых металлов в фоновых почвенных пробах

Кесте 3
Фондық топырақ үлгілеріндегі ауыр металдар құрамы

Table 3
Heavy metal content in background soil sample

№	Характеристика точки	Zn (мг/кг)	Cd (мг/кг)	Pb (мг/кг)	Cu (мг/кг)
1	Условно фоновая зона	85	–	28.1	24.2
2	Условно фоновая зона	106	–	25.9	29.3
Среднее значение	–	95.5	–	27.0	26.7

Содержание цинка в фоновых почвах варьирует от 85 до 106 мг/кг, при среднем значении 95,5 мг/кг. Для свинца установлены значения 25,9–28,1 мг/кг, при среднем уровне 27,0 мг/кг, что соответствует естественному геохимическому фону исследуемой территории. Концентрации меди находятся в диапазоне 24,2–29,3 мг/кг, со средним значением 26,7 мг/кг.

Кадмий в анализируемых пробах не был зафиксирован аналитическим методом, что указывает на его содержание ниже предела обнаружения и подтверждает отсутствие значимого природного накопления данного элемента в фоновых почвах региона.

Физико-химические и геохимические характеристики почв

Физико-химические свойства почв городов Туркестан и Кентау, представленные в таблицах 4 и 5, отражают особенности почвенного покрова урбанизированных территорий аридной зоны.

Почвы города Туркестан характеризуются содержанием углерода 1,43% и органического вещества 2,8%, что указывает на умеренный уровень гумусированности. Реакция почвенного раствора слабощелочная – pH 8,0, что типично для карбонатных почв региона. Содержание доступного фосфора составляет 163,1 мг/кг, тогда как концентрация калия относительно низкая (3,08 мг/кг). Общая минерализация почвенного раствора незначительна и составляет 0,066%. Среди ионного состава преобладают бикарбонаты (0,019%), при низком содержании хлоридов (0,0016%) и сульфатов (< 0,072%). Концентрации кальция и магния составляют 0,046% и 0,059% соответственно.

Таблица 4
Физико-химические характеристики почв
города Туркестан

Кесте 4
Түркістан қаласы топырағының физика-химиялық
сипаттамалары

Table 4
Physicochemical characteristics of soils in the city
of Turkestan

Параметр	Значение
Углерод (C)	1,43 %
Органическое вещество	2,8%
Фосфор (P_2O_5), доступный	163,1 мг/кг
Калий (K_2O), доступный	3,08 мг/кг
pH (водный экстракт)	8,0
Общие растворенные вещества	0,066%
Аммонийный азот (NH_4^+)	0,012 мг/кг
Бикарбонаты	0,019%
Хлориды	0,0016%
Сульфаты	< 0,072%
Кальций	0,046%
Магний	0.059%

Таблица 5
Физико-химические характеристики почв
города Кентау

Кесте 5
Кентау қаласы топырағының физика-химиялық
сипаттамалары

Table 5
Physicochemical characteristics of soils in the city
of Kentau

Параметр	Значение
Углерод (C)	1,18%
Органическое вещество	2,1%
Фосфор (P_2O_5), доступный	140,9 мг/кг
Калий (K_2O), доступный	2,62 мг/кг
pH (водный экстракт)	8,5
Общие растворенные вещества	0,089%
Аммонийный азот (NH_4^+)	0,024 мг/кг
Бикарбонаты	0,029%
Хлориды	0,0040%
Сульфаты	< 0,093%
Кальций	0,079%
Магний	0,042%

Почвы города Кентау отличаются более выраженной щелочной реакцией среды (pH 8,5) и несколько пониженным содержанием углерода (1,18%) и органического вещества (2,1%) по сравнению с Туркестаном. Содержание доступного фосфора составляет 140,9 мг/кг, калия – 2,62 мг/кг. Общие растворенные вещества достигают

0,089%, что указывает на более высокую минерализацию почвенного раствора. Ионный состав характеризуется повышенным содержанием бикарбонатов (0,029%) и хлоридов (0,0040%), при относительно высоких концентрациях кальция (0,079%) и магния (0,042%).

Обсуждение

Пространственное распределение и факторы аккумуляции тяжелых металлов в почвах урбанизированных территорий

Анализ фоновых значений тяжелых металлов, представленных в таблице 4, позволяет охарактеризовать естественный геохимический фон исследуемой территории и использовать его в качестве базового уровня для оценки степени техногенного загрязнения урбанизированных почв городов Туркестан и Кентау. Полученные фоновые концентрации **Zn**, **Pb** и **Cu** соответствуют типичным значениям для почв аридных и полуаридных регионов Южного Казахстана, сформированных на карбонатных и лесовидных породах. Отсутствие кадмия в фоновых пробах свидетельствует о его преимущественно техногенном происхождении и подтверждает, что выявленные ранее повышенные концентрации **Cd** в городских почвах не обусловлены природными геохимическими факторами.

Сопоставление фоновых показателей с данными по городским территориям (таблицы 1 и 2) демонстрирует многократное превышение естественного уровня содержания тяжелых металлов, особенно **Zn**, **Pb** и **Cd** в промышленных и транспортных зонах. Так, среднее фоновое содержание **Zn** (95,5 мг/кг) существенно ниже концентраций, зафиксированных в почвах Кентау и Туркестана, что указывает на интенсивную аккумуляцию данного элемента в условиях урбанизации. Аналогичная тенденция характерна для **Pb** и **Cu**, содержание которых в городских почвах превышает фоновые значения в 2–6 раз в зависимости от функциональной зоны.

Сравнительный анализ пространственного распределения металлов показывает, что для города Туркестан характерен умеренный уровень загрязнения, при котором максимальные концентрации **Zn**, **Pb** и **Cu** приурочены к зонам интенсивного автотранспортного движения и локального промышленного воздействия. Это указывает на преимущественно современный характер поступления загрязняющих веществ, связанный с выбросами автотранспорта, износом шин и тормозных механизмов, а также деятельностью отдельных промышленных объектов. Относительно низкие концентрации **Cd** в большинстве функциональных зон Туркестана свидетельствуют об отсутствии мощных источников данного элемента и о вторичном, эпизодическом характере его поступления.

В отличие от Туркестана, почвы города Кентау характеризуются значительно более высокими концентрациями всех исследованных металлов, особенно **Cd** и **Pb**. Это отражает влияние длительного техногенного воздействия, связанного с исторической деятельностью горнодобывающих и перерабатывающих предприятий. Высокие значения **Cd** и **Pb** в промышленной зоне и на территориях техногенного воздействия указывают на их устойчивую аккумуляцию в верхнем горизонте почв и ограниченную

способность почвенных экосистем к естественной самоочистке.

Наряду с источниками загрязнения важную роль в формировании пространственного распределения и форм нахождения тяжелых металлов играют физико-химические свойства почв (таблицы 5 и 6). Слабощелочная и щелочная реакция среды (рН 8,0–8,5), характерная для почв обоих городов, является ключевым фактором, определяющим поведение металлов. В таких условиях подвижность **Cd**, **Pb** и **Cu**, как правило, снижается за счет образования труднорастворимых карбонатных и гидроксидных форм, а также их сорбции на поверхности минеральных частиц. Однако при высоких уровнях загрязнения, особенно в Кентау, данный буферный эффект оказывается недостаточным для предотвращения накопления металлов в верхнем почвенном горизонте.

Содержание органического вещества в почвах Туркестана и Кентау (2,1–2,8%) способствует связыванию **Cu** и **Pb** в устойчивые органо-минеральные комплексы, снижая их миграционную способность. В то же время относительно более низкое содержание органического вещества в почвах Кентау может способствовать повышенной биодоступности и аккумуляции **Cd**, особенно в промышленных зонах города.

Повышенная минерализация почвенного раствора и более высокие концентрации бикарбонатов, кальция и хлоридов в почвах Кентау указывают на усиленное техногенное и литогенное влияние. С одной стороны, наличие значительных количеств кальция способствует коагуляции коллоидов и снижению миграции ряда металлов, с другой – повышенное содержание хлоридов может увеличивать подвижность **Cd** и **Zn** за счет образования растворимых комплексных соединений.

Общей закономерностью для обоих городов является увеличение содержания **Zn**, **Pb** и **Cu** в придорожных и транспортных зонах, что подтверждает ведущую роль автотранспорта как диффузного источника загрязнения в условиях урбанизированных территорий. При этом **Cd** демонстрирует более выраженную связь с промышленными зонами, особенно в Кентау, что позволяет рассматривать его как индикатор накопленного техногенного воздействия и экологического наследия прошлых промышленных периодов.

Таким образом, использование фоновых концентраций тяжелых металлов в сочетании с анализом физико-химических свойств почв подтверждает техногенную природу загрязнения почв городов Туркестан и Кентау. Полученные результаты создают основу для обоснованного расчета коэффициентов концентрации, индексов загрязнения и оценки экологических рисков, а также подчеркивают

необходимость дифференцированного подхода к мониторингу и восстановлению почвенных экосистем: для Туркестана – за счет снижения транспортной нагрузки и контроля локальных источников загрязнения, для Кентау – посредством приоритетной ремедиации территорий бывших промышленных объектов и зон накопленного экологического ущерба.

Заключение

В результате проведенных мониторинговых исследований установлены закономерности пространственного распределения и аккумуляции тяжелых металлов (**Zn**, **Cd**, **Pb** и **Cu**) в почвах городов Туркестан и Кентау. Показано, что уровень загрязнения и характер распределения металлов существенно различаются в зависимости от функционального зонирования и истории техногенного воздействия.

Для города Туркестан характерен умеренный уровень загрязнения почв, при котором максимальные концентрации **Zn**, **Pb** и **Cu** приурочены к зонам интенсивного автотранспортного движения и локального промышленного влияния. Низкие концентрации **Cd** в большинстве функциональных зон указывают на отсутствие значимых источников данного элемента и преимущественно вторичный характер его поступления.

Почвы города Кентау характеризуются значительно более высокими концентрациями всех исследованных металлов, особенно **Cd** и **Pb**, что отражает влияние длительного техногенного воздействия, связанного с деятельностью горнодобывающих и перерабатывающих предприятий в прошлом. Высокие уровни загрязнения в промышленных зонах и на территориях техногенного воздействия свидетельствуют о накопленном экологическом ущербе и ограниченной способности почв к естественной самоочистке.

Установлено, что слабощелочная и щелочная реакция среды, содержание органического вещества и ионный состав почвенного раствора оказывают существенное влияние на миграцию и формы нахождения тяжелых металлов. При этом в условиях высокой минерализации и повышенного содержания хлоридов, характерных для почв Кентау, возрастает потенциальная подвижность **Cd** и **Zn**.

Полученные результаты подтверждают техногенную природу загрязнения почв исследуемых городов и подчеркивают необходимость дифференцированного подхода к экологическому мониторингу и управлению качеством почв: для Туркестана – с акцентом на снижение транспортной нагрузки, для Кентау – на приоритетную ремедиацию территорий бывших промышленных объектов и зон накопленного экологического ущерба.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гончаров Г., Соктоев Б., Фархутдинов И., Матвеев И. (15 сентября 2024 г.). Тяжелые металлы в городской почве: уровни загрязнения, пространственное распределение и оценка риска для здоровья человека (на примере города Уфа, Россия). *Environmental Research*. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119216> (на английском языке)
2. Фиторемедиация загрязненных городских почв, насыпанных тяжелыми металлами / Еликбаев Б. [и др.] // *Eurasian Journal of Soil Science*. 2024. № 13 (4). С. 348–357 (на английском языке)
3. Шуя Тан, Чуньхуэй Ван, Цзин Сонг, Стэнли Чуквемека Ихенету, Ганг Ли. (Январь 2024 г.). Достижения в изучении тяжелых металлов в городской почве: библиометрический анализ. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su16020860> (на английском языке)

4. Чайыр Г., Рухани А., Аль Соуки К.С., Блажалек Л., Ньютон Р.А., Шюкюр Ф.З., Пидлиснюк В. (24 ноября 2025 г.). Загрязнение городской почвы в Турции: обзор потенциально токсичных элементов, полициклических ароматических углеводородов и микропластика в крупных городах. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14834-5> (на английском языке)
5. Систематический обзор и характеристика основных угроз для городской почвы в Европейском Союзе / Биннер Х. [и др.] // *Water Air Soil Pollution*. 2024. Т. 235. № 494. С. 1–16 (на английском языке)
6. Оценка загрязнения почв Западно-Казахстанской области тяжелыми металлами в результате промышленной деятельности / Какымжанов Ю.К. [и др.] // *Новости Национальной Академии Наук Республики Казахстан. Серия Геологические и Технические Науки*. 2025. Т. 1. № 469. С. 72–90 (на английском языке)
7. Елич И., Топалович Д., Райкович М., Йовашевич Д., Павичевич К., Янкович М., Шливич-Иванович М. (9 октября 2025 г.). Оценка концентраций тяжелых металлов в городской почве Нови-Сада: корреляционный анализ и потенциал вымывания. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app151910842> (на английском языке)
8. Влияние расширения города на загрязнение почв тяжелыми металлами: сравнение новых и старых городских кварталов / Хонглин Лю [и др.] // *Ecological Frontiers*. 2025. Т. 45. № 5. С. 1407–1418 (на английском языке)
9. Мхонза Н.П., Зондо С., Вилакази С. Распределение токсичных тяжелых металлов в городских почвах Африки: систематический обзор // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2026. Т. 198. № 205. С. 1–29 (на английском языке)
10. Потенциальное влияние урбанизации на аккумуляцию тяжелых металлов в поверхностных почвах быстро развивающихся городов / Зандыбай А. [и др.] // *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2025. № 11 (4). С. 1547–1566 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Гончаров Г., Соктоев Б., Фархутдинов И., Матвеев И. (2024 жылғы 15 қыркүйек). Қалалық топырақтағы ауыр металдар: ластану деңгейлері, кеңістіктік таралуы және адам денсаулығына қауіп бағалау (Ресей, Уфа қаласы мысалында). *Environmental Research*. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119216> (ағылшын тілінде)
2. Ауыр металдармен ластанған қалалық топырақтарды фиторемедиациялау / Елікбаев Б. [және т. б.] // *Eurasian Journal of Soil Science*. 2024. № 13 (4). Б. 348–357 (ағылшын тілінде)
3. Шуя Тан, Чуньхуэй Ван, Цзин Сонг, Стэнли Чуквумека Ихенету, Ганг Ли. (Қаңтар 2024). Қалалық топырақтағы ауыр металдарды зерттеудегі жетістіктер: библиометриялық талдау. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su16020860> (ағылшын тілінде)
4. Чайыр Г., Рухани А., Аль Соуки К.С., Блажалек Л., Ньютон Р.А., Шюкюр Ф.З., Пидлиснюк В. (24 қараша, 2025). Түркиядағы қалалық топырақтың ластануы: негізгі токсикалық элементтер, полицикликалық ароматикалық көмірсутектер және микропластиктер жөніндегі шолу. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14834-5> (ағылшын тілінде)
5. Еуропалық Одақтағы қалалық топыраққа ең үлкен қауіп төндіретін факторларды жүйелі шолу және сипаттау / Биннер Х. [және т. б.] // *Water Air Soil Pollution*. 2024. Т. 235. № 494. Б. 1–16 (ағылшын тілінде)
6. Батыс Қазақстан облысының топырақтарының өнеркәсіптік қызмет нәтижесінде ауыр металдармен ластануын бағалау / Қакимжанов Ю.К. [және т. б.] // *Қазақстан Республикасы Ұлттық Ғылым Академиясының Хабарлары. Геологиялық-Техникалық Ғылымдар сериясы*. 2025. Т. 1. № 469. Б. 72–90 (ағылшын тілінде)
7. Елич И., Топалович Д., Райкович М., Йовашевич Д., Павичевич К., Янкович М., Шливич-Иванович М. (9 қазан 2025). Нови-Сад қаласындағы қалалық топырақтағы ауыр металдардың концентрациясын бағалау: корреляциялық талдау және жуылу әлеуеті. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app151910842> (ағылшын тілінде)
8. Қалалық кеңеюдің топырақтағы ауыр металдармен ластануға әсері: жаңа және ескі қалалық блоктарды салыстыру / Хонглин Лю [және т. б.] // *Ecological Frontiers*. 2025. Т. 45. № 5. Б. 1407–1418 (ағылшын тілінде)
9. Мхонза Н.П., Зондо С., Вилакази С. Африканың қалалық топырақтарындағы токсикалық ауыр металдардың таралуы: жүйелі шолу // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2026. Т. 198. № 205. Б. 1–29 (ағылшын тілінде)
10. Қалалардың жылдам урбанизациясы жағдайында жер бетіндегі топырақтардағы ауыр металдардың жиналуына қалалық құрылыс ықтимал әсері / Зандыбай А. [және т. б.] // *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2025. № 11(4). Б. 1547–1566 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Goncharov G., Soktoev B., Farkhutdinov I., Matveenko I. (September 15, 2024). Heavy metals in urban soil: Contamination levels, spatial distribution and human health risk assessment (the case of Ufa city, Russia). *Environmental Research*. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119216> (in English)
2. Phytoremediation of contaminated urban soils spiked with heavy metals / Yelikbayev B. [et al.] // *Eurasian J. Soil Sci.* 2024. No. 13 (4). 348–357 pp. (in English)
3. Shuya Tang, Chunhui Wang, Jing Song, Stanley Chukwumeka Ihenetu, Gang Li. (January 2024). *Advances in Studies on Heavy Metals in Urban Soil: A Bibliometric Analysis*. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su16020860> (in English)
4. Chaiyr G., Rouhani A., Al Souki K.S., Blazhalek L., Newton R.A., Shyukur N.F., Pidlisnyuk Z.V. (November 24, 2025). Urban soil pollution in Türkiye: a review of potentially toxic elements, polycyclic aromatic hydrocarbons, and microplastics in major cities. *Environ Monit Assess*. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14834-5> (in English)
5. A Systematic Review and Characterization of the Major and Most Studied Urban Soil Threats in the European Union Binner H. [et al.] // *Water Air Soil Pollut.* 2024. V. 235. No. 494. 1–16 (in English)
6. Assessment of Soil Contamination of the West Kazakhstan Region with Heavy Metals as a Result of Industrial Activity / Kakimzhanov Y.K. [et al.] // *News Natl. Acad. Sci. Repub. Kazakhstan Ser. Geol. Tech. Sci.* 2025. V. 1. No. 469. 72–90 pp. (in English)
7. Yelich I., Topalovich D., Raikovich M., Jovashevich D., Pavichevich K., Yankovich M. M. V. Lomonosov. (October 9, 2025). Assessment of Heavy Metal Concentrations in Urban Soil of Novi Sad: Correlation Analysis and Leaching Potential. *Appl. Sci*. <https://doi.org/10.3390/app151910842> (in English)
8. Impact of urban expansion on soil heavy metal pollution: A comparison of new and old urban blocks / Honglin Liu [et al.] // *Ecological Frontiers*. 2025. V. 45. No. 5. 1407–1418 pp. (in English)
9. Mkhonza N.P., Zondo S., Vilakazi S. Toxic heavy metals distribution in urban soils of Africa: a systematic review // *Environ Monit Assess*. 2026. V. 198. No. 205. 1–29 pp. (in English)
10. Potential impact of urbanization on heavy metals accumulation in surface soils of rapidly urbanizing cities / Zandybay A. [et al.] // *Global J. Environ. Sci. Manage.* 2025. No. 11 (4). 1547–1566 pp. (in English)

Сведения об авторах:

Сунакбаева Д.К., к.т.н., Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан), dilara.sunakbayeva@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0009-0006-3727-4891>

Юлдашбек Д.Х., магистр химии, ст. научный сотрудник НИИ «Экология», Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан), davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-9342-7502>

Айтекова К.У., к.т.н., ассистент профессора, Международный Таразский университет им. Шерхана Муртазы (г. Тараз, Казахстан), Aytekova1972@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8439-944X>

Омирзак Н.Ш., магистр сельскохозяйственных наук, ассистент, Международный Таразский университет им. Шерхана Муртазы (г. Тараз, Казахстан), mr.n_01@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-8419-7016>

Авторлар туралы мәліметтер:

Сунакбаева Д.К., т.ғ.к., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

Юлдашбек Д.Х., химия магистрі, «Экология» ҒЗИ-ның аға ғылыми қызметкері, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

Айтекова К.У., т.ғ.к., профессордың ассистенті, Шерхан Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз университеті (Тараз қ., Қазақстан)

Өмірзақ Н.Ш., ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, ассистент, Шерхан Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз университеті (Тараз қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Sunakbaeva D.K., candidate of technical sciences, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan)

Yuldashbek D.Kh., Master of Chemistry, Senior Researcher of the Research Institute «Ecology», Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan)

Aitekova K.U., candidate of technical sciences, assistant professor, Sherkhan Murtaza International Taraz University (Taraz, Kazakhstan)

Omirzak N.Sh., Master of Agricultural Sciences, Assistant, Sherkhan Murtaza International Taraz University (Taraz, Kazakhstan)