

МРНТИ 87.21.15; 36.33.27

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-95-109>

Научная статья

## Методы картографирования для оценки загрязнения почв тяжелыми металлами в условиях промышленности Актюбинской области

Е.Х. Какимжанов<sup>1</sup> , К.Т. Кыргызбай<sup>2\*</sup> , Б.Е. Шимшиков<sup>3</sup> ,  
Т.А. Базарбаева<sup>4</sup> , С.М. Жуматаев<sup>5</sup> 

<sup>1,2,3,4</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>5</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

(E-mail: <sup>1</sup>[erkinkakimzhanov@gmail.com](mailto:erkinkakimzhanov@gmail.com), <sup>2</sup>[kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com](mailto:kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com),  
<sup>3</sup>[bshimshikov@gmail.com](mailto:bshimshikov@gmail.com), <sup>4</sup>[Tursynkul.Bazarbaeva@kaznu.kz](mailto:Tursynkul.Bazarbaeva@kaznu.kz),  
<sup>5</sup>[serikzhumatayev@gmail.com](mailto:serikzhumatayev@gmail.com))

**Аннотация.** В работе проведено исследование по загрязнению почв тяжелыми металлами на территории Актюбинской области с применением методов картографирования. Впервые разработаны оценочно-информационные карты в среде ГИС, описывающие пространственное распределение хрома (Cr), никеля (Ni), мышьяка (As), молибдена (Mo), кобальта (Co), цинка (Zn), свинца (Pb), меди (Cu), кадмия (Cd), бора (B) в почве. Научная новизна исследования заключается в определении концентрации тяжелых металлов и их распространения на основе интерполяции по методу обратно взвешенных расстояний (IDW). В работе описываются результаты полевого почвенного обследования, выполненные на санитарно защитных зонах (СЗЗ) Донского горно-обогатительного комбината (ГОК) и Актюбинского завода ферросплавов. Почвенные образцы были исследованы методом химического анализа в лаборатории. Определение тяжелых металлов выполнено на основе химического анализа методом спектрометрии. Результаты исследований представляют комплексную картографическую модель, где указываются карты отбора проб и пространственное распределение отдельных элементов, которые позволяют детерминировать участки повышенной концентрации тяжелых металлов.

**Ключевые слова:** ГИС-технологии, геопространственный анализ, загрязнения почв тяжелыми металлами, интерполяция, IDW, спектрометрия.

Поступила: 11.10.2024. Одобрена: 13.12.2024. Доступна онлайн: 31.12.2024.

## Введение

Промышленная деятельность в западных регионах Казахстана, в частности, в Актюбинской области, оказывает серьёзное воздействие на экологическую обстановку. Этот регион является центром добычи нефти, а также цветных и полиметаллических руд. В результате промышленного развития за последние несколько десятилетий возникли серьёзные экологические проблемы, одной из которых является загрязнение почвы.

Ведущие отрасли региона, включая нефтяную и горнорудную промышленность, способствуют накоплению тяжёлых металлов и углеводородов в почвенных горизонтах, что негативно сказывается на окружающей среде и здоровье населения [1].

Горнорудная промышленность также вносит значительный вклад в загрязнение почв. Основные загрязнители, выделяющиеся при горнодобывающих работах, включают тяжёлые металлы, такие, как свинец, кадмий, мышьяк, медь, цинк и ртуть [2–5]. Эти металлы выделяются в окружающую среду при переработке руды, что приводит к их накоплению в почве и водных системах. Накопление тяжёлых металлов в почве может привести к изменению её свойств и, как следствие, к частичной или полной потере плодородия [5–8].

Загрязнение почвы тяжёлыми металлами может иметь серьёзные последствия для здоровья человека и животных. Эти металлы, попадая в организм через пищу, способны вызывать различные заболевания. В результате количество больных людей и животных растёт, а продолжительность жизни сокращается. Кроме того, снижается урожайность сельскохозяйственных культур и продуктивность животноводства.

Особенно опасным является загрязнение почв мышьяком и кадмием, которые обладают высокой токсичностью для живых организмов. Эти металлы могут накапливаться в растениях и животных, вызывая их гибель или снижая репродуктивные способности, что приводит к нарушению экосистемных процессов и биоразнообразия [5, 9–12].

Загрязнение почвы происходит в результате ряда физических, химических и биологических процессов, которые способствуют миграции и накоплению токсичных веществ в почвенных горизонтах. Основными механизмами загрязнения почвы нефтяными и горнорудными отходами являются адсорбция, инфильтрация, миграция через пористые слои и диффузия загрязняющих веществ.

Одним из важных процессов загрязнения является адсорбция загрязняющих веществ на поверхности почвенных частиц. Например, углеводороды и тяжёлые металлы могут адсорбироваться на органических веществах и глинистых минералах, что замедляет их передвижение через почву, но одновременно увеличивает их токсичность для почвенной биоты [3, 5, 11, 13]. Мышьяк, кадмий и свинец образуют устойчивые комплексы, затрудняющие их разложение и вымывание из почвы.

Загрязнение почвы оказывает сильное воздействие на почвенную биоту, включая микроорганизмы, растения и животных. Тяжёлые металлы, такие, как кадмий, могут ингибировать ферментативную активность микроорганизмов, снижая их способность разлагать органические вещества. Это приводит к нарушению круговорота питательных веществ и ухудшению плодородия почвы [5, 12].

Загрязнение почвы токсичными веществами приводит к изменению её физико-химических свойств, что ухудшает её способность поддерживать растительность и водоудерживающую способность. Тяжёлые металлы накапливаются в верхних горизонтах почвы, что способствует их дальнейшей миграции в водные системы. В районах Актюбинской области с интенсивной промышленной деятельностью

загрязнение грунтовых вод тяжёлыми металлами достигает опасных уровней, что угрожает не только экосистемам, но и населению, использующему воду для питья и орошения [14–16].

## Материалы и методы

Актюбинская область обладает разнообразными природными условиями, начиная от степей и полупустынь до пустынных ландшафтов, и играют важную роль в экономике страны благодаря богатым запасам природных ресурсов, включая нефть, газ и руду [17].

Актюбинская область граничит на севере с Российской Федерацией, на востоке с Костанайской и Улытауской областями, на юго-востоке с Кызылординской областью, на юге с Республикой Узбекистан, на западе с ЗКО, Атырауской и Мангистауской областями (рис. 1).

Климат резко континентальный, характеризуется жарким летом и холодной зимой. Лето обычно длится с июня по август, со средними температурами от +25°C до +40°C, в зависимости от района. Зимы холодные, со средними температурами в январе от -5°C до -20°C. Количество осадков в регионе варьируется от 150 до 300 мм в год, что делает большую часть территории засушливой или полусухой (Казгидромет, <https://kazhydromet.kz>).

Физико-географический ландшафт региона включает невысокие горы Мугоджар, являющиеся южным продолжением Уральских гор, которые находятся на территории Актюбинской области. Высоты достигают 657 метров (гора Большой Боктыбай), и здесь преобладают полупустынные и степные ландшафты [18].

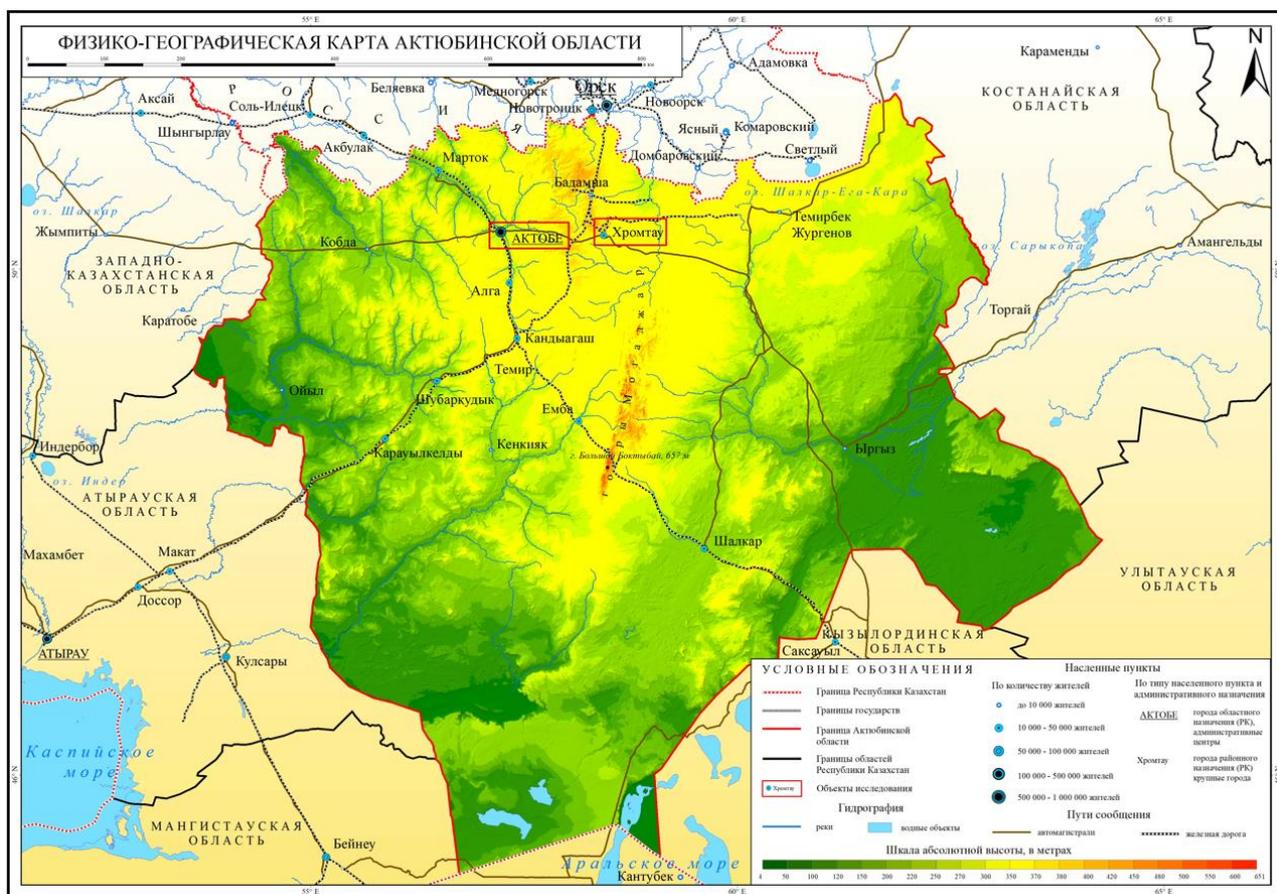


Рисунок 1. Физико-географическое расположение Актюбинской области

В качестве объектов исследования оценки загрязнения почв тяжелыми металлами на территории Актюбинской области были выбраны Донской горно-обогатительный комбинат (ГОК) и Актюбинский завод ферросплавов (рис. 2).

Полевое исследование Донского горно-обогатительного комбината (ГОК) выполнено вблизи города Хромтау на отдалении от санитарно-защитной зоны (СЗЗ). На территории объекта находятся карьеры хромовых руд и отвалы (30-50 м в высоту). В городе Актобе основным объектом был выбран завод хромовых соединений.



**Рисунок 2. Полевое исследование почв на территории санитарно-защитных зон Донского ГОКа и Актюбинского завода ферросплавов**

Одним из наиболее распространённых методов мониторинга загрязнённых почв является химический анализ, который позволяет определить концентрации тяжёлых металлов и других загрязняющих веществ.

Метод спектрофотометрии используется для определения концентраций таких тяжёлых металлов, как свинец, кадмий, ртуть и мышьяк. ААС позволяет с высокой точностью определить даже низкие концентрации этих элементов в почвенных образцах, что делает его одним из ключевых методов исследования загрязнённых почв [19–22].

Полученные показатели тяжелых металлов интегрируются в ГИС среду для дальнейшего анализа распространения на поверхности. Геостатистические методы, такие, как интерполяция кригинга, используются для пространственного анализа и картирования загрязнённых территорий. Эти методы позволяют на основе выборочных данных построить карты загрязнённости почвы, которые помогают визуализировать распределение тяжёлых металлов и углеводородов на больших территориях [23–27].

Геоestatистика позволяет определить «горячие точки» загрязнения, где концентрации вредных веществ особенно высоки. Это даёт возможность эффективно планировать мероприятия по очистке, направляя ресурсы туда, где загрязнение наиболее опасно. ArcGIS 10.6 [5, 27–31] активно используется для пространственного анализа загрязнений.

В исследовании наиболее оптимальным видом детерминированной моделью пространственной интерполяции был выбран метод обратно взвешенных расстояний (IDW). Общая предпосылка этого метода заключается в значении атрибутов любой данной пары точек, связанных друг с другом, но их сходство обратно пропорционально расстоянию между двумя местоположениями [32, 33]. Данный метод был внедрен во все известные ГИС-программные обеспечения и является сравнительно простым при выполнении геоestatистического анализа поверхности [34].

Метод IDW учитывает [35] простую пространственную зависимость при интерполяции точечных наблюдений. Это не требует априорного исследования

пространственной изменчивости рассматриваемой переменной, в отличие от более сложных геостатистических подходов. Формально метод IDW используется для оценки неизвестного значения  $\hat{y}(S_0)$  в местоположении  $S_0$ , учитывая наблюдаемые значения  $y$  в выбранных местоположениях  $S_i$  следующим образом:

$$\hat{y}(S_0) = \sum_{i=1}^n \frac{d_{oi}^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n d_{oi}^{-\alpha}} y(S_i) \quad (1)$$

В уравнении (1) числитель является обратным расстоянию ( $d_{oi}$ ) между  $S_0$  и  $S_i$  со степенью  $\alpha$ , а знаменатель представляет собой сумму всех весов обратного расстояния для всех местоположений  $i$ , так что сумма всех  $l_i$  для точки без выборки будет равна единице [34–36].

Метод IDW позволяет визуализировать распространение тяжелых металлов на основе созданной растровой поверхности.

### Результаты и обсуждение

В результате полевой почвенной экспедиции были отобраны образцы почв в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» [37] с применением GNSS приемника Spectra Geospatial SP85.

Для определения влияния Донского ГОКа и карьеров на загрязнение почв заложен почвенный разрез и отбирались образцы почв методом конверта в юго-восточном и северо-западном направлениях согласно розе ветров на отдалении 100 м, 250 м, 500 м, 1000 м и 5000 м, а также на территории городских парков (Аллея горняков и Центральный парк города Хромтау). Всего по исследуемой территории отобраны 18 образцов: Разрез №1 (0-8 см); 100 м, 250 м, 500 м на юго-восток от Разреза №1; Подножия отвала; 100 м, 250 м, 500 м, 1000 м и 5000 м на северо-запад от отвала; Центральный парк и Аллея горняков города Хромтау, граница города Хромтау (рис. 3).

На границе промзоны Актюбинского завода феррасплавов заложен почвенный разрез и отобраны образцы почв в санитарно-защитной зоне и за ней на отдалении 100 м, 250 м, 500 м и 1000 м в западном и северном направлениях, а также на территории Центрального парка города Актобе. Всего отобрано 9 образцов: Разрез-3; 100 м, 250 м, 500 м и 1000 м на запад от СЗЗ; 100 м, 250 м и 500 м на север от СЗЗ; Центральный парк города Актобе (рис. 4).

Отобранные пробы были отправлены в сертифицированные испытательные лаборатории ТОО «Экосервис-С» и «Казахский НИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова» для определения концентраций тяжелых металлов. В лаборатории ТОО «Экосервис-С» применялись следующие инструменты – Specord 210 PLUS, Ионметр лабораторный тип И-160, Пламенный фотометр Тип FLAPHO-4, Весы электронные AR 2140, Весы электронные ScoutSPS202F. В качестве средства измерений в лаборатории Казахского НИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова использовался портативный XRF-анализатор, работающий на основе рентгенофлуоресцентной спектрометрии. Результаты показателей содержания тяжелых металлов показаны на рисунках 3 и 4 в мг/кг.

На территории города Хромтау (рис. 3) наибольшая концентрация тяжелых металлов присуща следующим местам отбора:

- показатели никеля (ПДК – 85 мг/кг) превышают норму во всех точках отбора, кроме образцов №1, 12, 15, а наиболее завышенные показатели присутствуют в образцах №7, 9, 10, 11 (превышает ПДК в 20 раз);
- показатели молибдена (ПДК – 0,07 мг/кг) повышены в образцах №1, 10, 16 (в среднем ПДК завышено в 300 раз);
- показатели кобальта (ПДК – 50 мг/кг) повышены в образцах №7, 9, 10, 11 (превышает ПДК в 2 раза);
- показатели хрома (ПДК – 100 мг/кг) повышены во всех местах отбора, но наибольший показатель (7335 мг/кг) в образце № 17;
- показатели мышьяка (ПДК – 2 мг/кг) сравнительно повышены в образцах №1, 6, 8, 13, 15, 18 (в среднем ПДК завышено в 5 раз);
- показатели подвижного цинка (ПДК – 23 мг/кг), подвижной меди (ПДК – 3 мг/кг), подвижного свинца (ПДК – 6 мг/кг), подвижного бора (ПДК – 30 мг/кг) не превышают норму;
- показатели подвижного кадмия (ПДК – 0,5 мг/кг) наиболее повышены в образцах №6, 8, 15, 17 (превышает ПДК в 2 раза);
- показатели валового цинка (ПДК – 100 мг/кг) повышены в образце №7 (превышает ПДК в 1,5 раза);
- показатели валовой меди (ПДК – 3 мг/кг) и валового кадмия (ПДК – 0,5 мг/кг) повышены во всех образцах (в среднем превышает ПДК в 6 раз);
- показатели валового свинца (ПДК – 32 мг/кг) не превышают норму.

Номер образца	Наименования образца	Показатели элементов в почве, в мг/кг													
		Никель	Молибден	Кобальт	Хром	Мышьяк	Подвижный цинк	Подвижная медь	Подвижный кадмий	Подвижный свинец	Подвижный бор	Валовый цинк	Валовая медь	Валовый кадмий	Валовый свинец
1	Разрез №1 (0-8 см)	19	124	7	1550	16	0,9	0,7	0,5	0,9	0,22	91,2	22,8	1,2	5,6
6	100 м на юго-восток от Разреза №1	739	5	56	2434	12	0,6	0,4	1,5	1,1	0	87,2	28,4	0,8	7,2
7	250 м на юго-восток от Разреза №1	2225	0	134	3307	9	0,5	0,2	0,9	1,4	0,14	146	26,4	3,6	6
8	500 м на юго-восток от Разреза №1	487	11	0	2849	13	0,5	0,1	1,1	1,5	0,01	72,4	21,2	3,2	3,6
9	Подножия отвала	1971	10	176	1416	6	1,4	1	0,1	0,7	0,07	60,8	18,8	3,6	2,4
10	100 м на северо-запад от отвала	1718	13	165	1479	0	1,1	0,7	0,6	0,7	0,13	68,8	15,2	1,2	3,6
11	250 м на северо-запад от отвала	1738	12	132	1171	0	0,3	0,6	0,6	0,6	0,11	64	17,2	2,4	2
12	500 м на северо-запад от отвала	52	8	17	180	0	1,7	0,5	0,8	1,1	0,15	65,2	17,6	2	5,6
13	1000 м на северо-запад от отвала	321	6	66	2205	11	0,6	0,3	0,8	0,7	0,08	74,4	16,4	2,4	3,6
15	Центральный парк города Хромтау	71	0	0	485	14	7,3	0,4	1,3	1,8	0,22	72,8	20,4	4,8	9,2
16	Аллея горняков, город Хромтау	563	10	51	3708	11	1,2	0,5	0,9	1,7	0,1	87,6	26,8	2	4,8
17	Граница города Хромтау	537	13	0	7335	10	5	0,6	1,1	1,3	0,38	99,2	21,6	3,6	5,6
18	5000 м на северо-запад от террикона	714	4	0	2524	12	0,2	0,5	0,9	0,6	0,17	66,4	18,4	1,6	5,2

**Рисунок 3. Результаты лабораторных исследований образцов почв на территории СЗЗ Донского ГОКа, г. Хромтау**

Наибольшие показатели тяжелых металлов на территории города Актобе (рис. 4) преобладают в следующих образцах:

- показатели никеля превышают норму в образцах №23, 26 (в среднем в 1,5 раза);
- показатели молибдена, хрома и показатели мышьяка повышены во всех образцах (превышает ПДК в 150 раз), кроме №34;
- показатели подвижного цинка, подвижной меди, подвижного свинца, подвижного бора не превышают норму;
- показатели подвижного кадмия повышены во всех образцах (превышает ПДК в 2 раза), кроме №23;
- показатели валового цинка повышены в образцах №27, 31, 34 (в среднем в 1,5 раза);
- показатели валовой меди и валового кадмия повышены во всех образцах;
- показатели валового свинца (ПДК – 32 мг/кг) не превышают норму.

Номер образца	Наименования образца	Показатели элементов в почве, в мг/кг												
		Никель	Молибден	Хром	Мышьяк	Подвижной цинк	Подвижная медь	Подвижной кадмий	Подвижной свинец	Подвижной бор	Валовый цинк	Валовая медь	Валовый кадмий	Валовый свинец
23	Разрез-3	114	12	25165	4	1.4	0.6	0.3	0.3	0.06	55.6	22	0.4	4.4
26	100 м на запад от СЗЗ	110	17	16863	11	5.1	1.4	1.6	1.2	0.28	94.4	21.6	3.2	7.2
27	250 м на запад от СЗЗ	49	19	14197	14	6.6	1.1	1.6	1.3	0.21	150.8	21.2	5.2	7.2
28	500 м на запад от СЗЗ	88	20	2851	9	3.2	0.6	0.9	0.5	0.21	94.4	23.8	3.2	4.8
29	1000 м на запад от СЗЗ	76	11	3238	5	1.6	0.6	0.8	0.2	0.15	84.8	21.6	2.4	4.4
30	100 м на север от СЗЗ	84	11	10655	10	4	1.2	1.5	0.6	0.13	83.2	19.6	4	3.6
31	250 м на север от СЗЗ	80	5	9231	15	4.9	1.2	1.5	0.8	0.12	132	19.2	1.6	4
32	500 м на север от СЗЗ	83	9	6029	4	4.4	0.8	1	0.4	0.03	90.4	18.4	2.4	5.6
34	Актобе Центральный парк, 8000 м	0	0	0	0	3.7	0.7	0.9	0.4	0.42	102	23.2	1.2	4

Рисунок 4. Сравнение результатов лабораторных исследований образцов почв на территории СЗЗ Актыбинского завода феррасплавов

Пространственное распределение тяжелых металлов в почве было выполнено в программном обеспечении ArcGIS с применением группы инструментов ArcToolBox. В качестве области исследования были выбраны экстенты с площадью 80,97 км<sup>2</sup> и 92,25 км<sup>2</sup> для г. Хромтау (рис. 5) и г. Актобе (рис. 6), соответственно. Алгоритм создания растровых поверхностей включает обработку точечных данных в Spatial Analyst Tools – Interpolation – IDW.

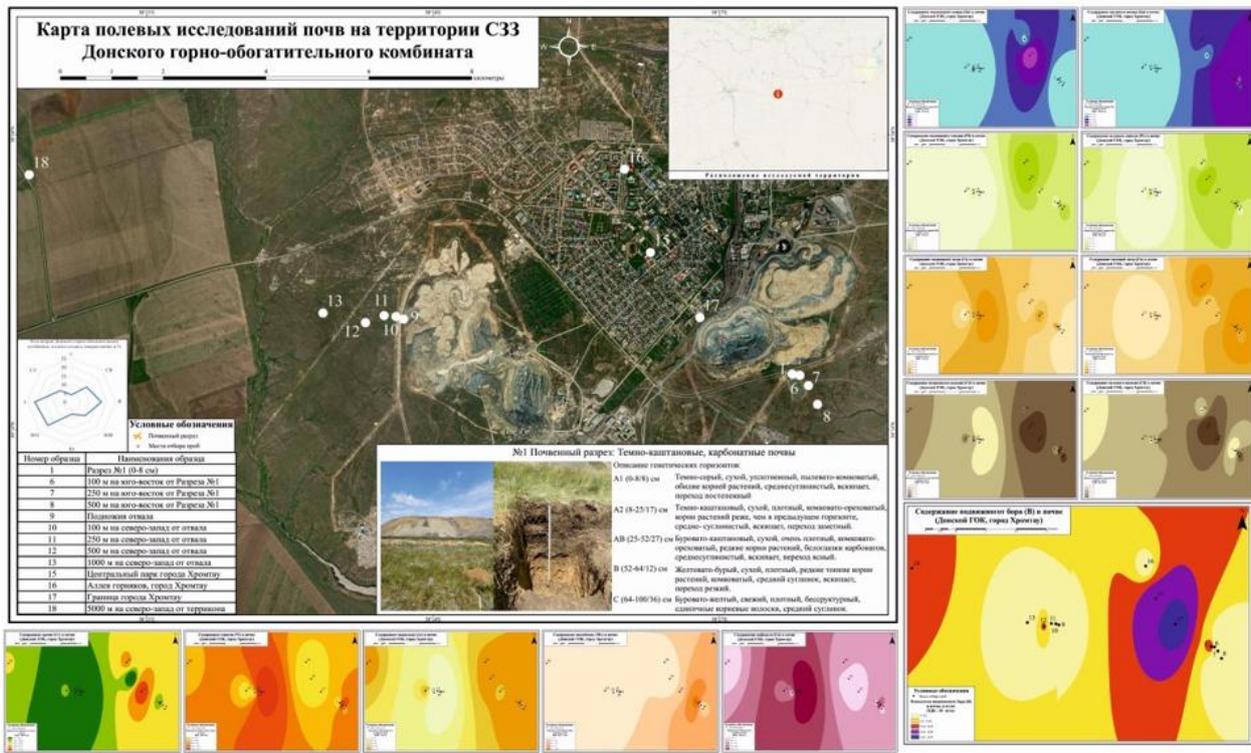
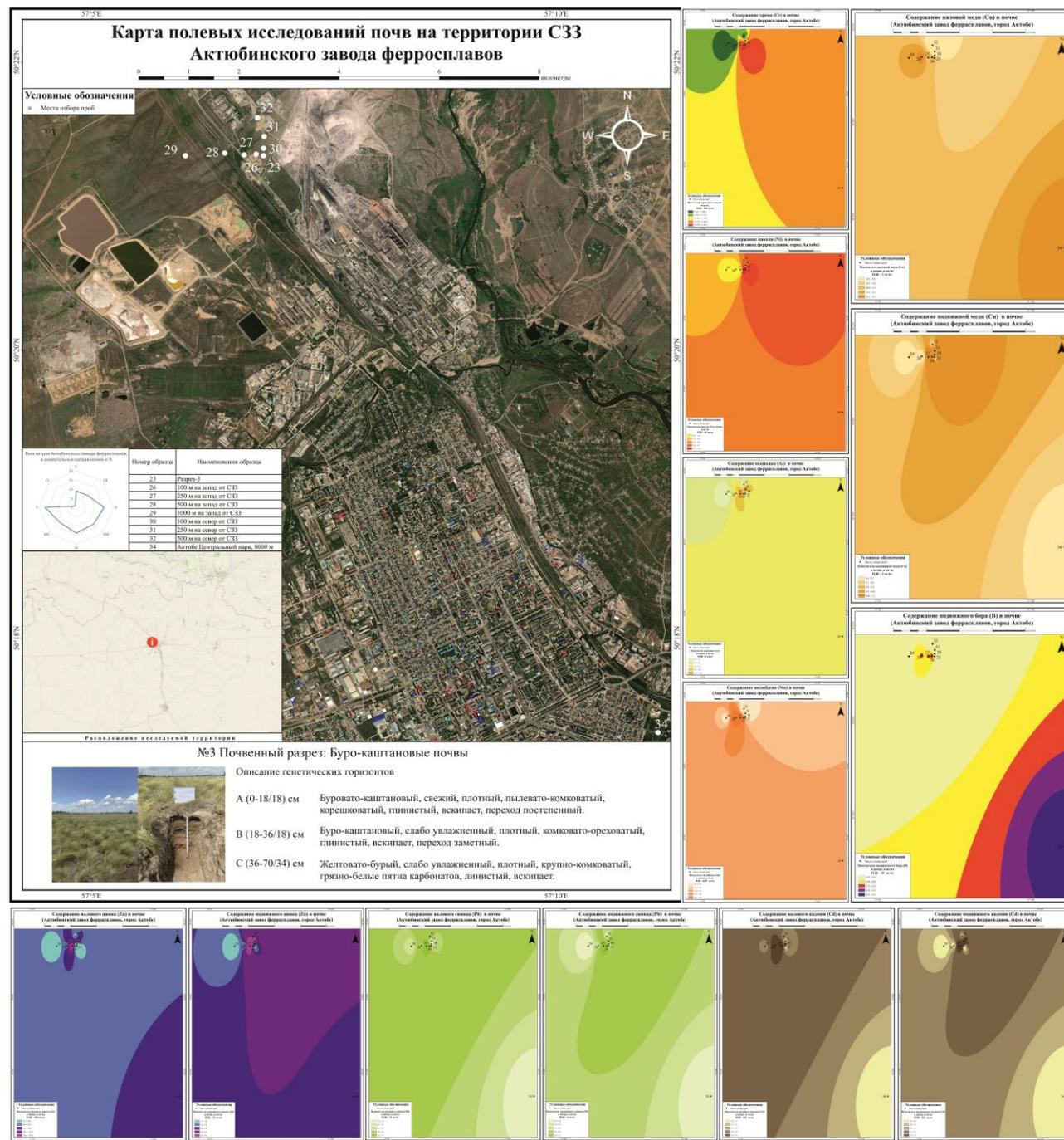


Рисунок 5. Картографическая модель точек отбора проб и распространения тяжелых металлов в почве (г. Хромтау, Донской ГОК)

В инструменте IDW в ячейку входных данных (Input point features) импортируем точки отбора проб с указанием столбца (z value field) показателя концентрации тяжелых металлов. Сохранение растра и выбор директории выполняется в output raster. Выбор, ограничивающий поверхности в виде выбранных экстентов, выполнялся в среде Environment Settings – Processing Extent и Raster Analysis. Шаг перехода интерполяции равен 5-ти для дифференциации спрогнозированных концентраций тяжелых металлов.

Ниже приводится описание зон с повышенными показателями тяжелых металлов в почве. По результатам интерполяции на территории г. Хромтау (рис. 6) наблюдается повышенное содержание никеля в почве, в пределах от 614,1 и до 2213,1 мг/кг.



**Рисунок 6. Картографическая модель точек отбора проб и распространения тяжелых металлов в почве (Актюбинский завод ферросплавов)**

Наибольший охват повышенного содержания элемента зарегистрирован в местах расположения отвала. Концентрация молибдена превышает норму в юго-восточном направлении в районе почвенного разреза (12,9 – 122,2 мг/кг). Наибольшее содержание кобальта в пределах 57,1-175,6 мг/кг распространен в центральной и восточной части исследуемого региона, куда входит центральная часть города и места отвала. Содержание хрома в почве превышает допустимую норму, однако самый высокий показатель в пределах от 4752,7 до 7333,6 мг/кг охватывает юго-восточную границу города. Показатели мышьяка на всем экстенде выше допустимых норм, но на территории отвалов сравнительно ниже 4,5 мг/кг.

Показатели подвижного кадмия повышены на всей территории, помимо западной части города. Самый высокий показатель (1,0-1,4 мг/кг) наблюдается в восточной и центральной частях города. Зоны с содержанием валового цинка выше 100 мг/кг расположены в восточной части исследуемой территории. Показатели валовой меди свыше 15,2 мг/кг и валового кадмия свыше 2,0 мг/кг распространены во всей территории экстенда.

На территории г. Актобе к превышающим предельно допустимую концентрацию элементам относятся никель, молибден, хром, мышьяк, кадмий, валовый цинк, валовая медь и валовый кадмий. Показатели никеля в почве повышены (выше 83,8 мг/кг) в северо-восточной и южной частях исследуемой территории. Содержание молибдена (5,0 – 19,9 мг/кг), хрома (290,7 – 24 402,1 мг/кг), мышьяка (4,3-14,9 мг/кг), валовой меди (18,4 – 23,5 мг/кг), валового кадмия (0,5 – 5,1 мг/кг) и валового цинка (57,8 – 149,6 мг/кг) в почве имеет повышенный характер на всей территории экстенда.

## Заключение

Загрязнение почвы в Актюбинской области остаётся серьёзной экологической проблемой, вызванной активной деятельностью горнорудной промышленности. Накапливание в почвах тяжёлых металлов и их производных приводит к нарушению экосистем, снижению плодородия земель и ухудшению здоровья населения. В статье были рассмотрены ключевые источники загрязнения, механизмы миграции токсичных веществ, методы мониторинга и ремедиации загрязнённых земель.

В рамках исследования выполнено полевое обследование почв и отбор проб на санитарно-защитных зонах Донского ГОКа и Актюбинского завода феррасплавов, также построена растровая поверхность.

Впервые разработанные картографические модели, охватывающие территории городов Хромтау и Актобе, иллюстрируют пространственное распределение тяжелых металлов в почве по методу IDW. Результаты полевого, лабораторного и камеральных этапов исследования показывают повышенные показатели предельно допустимых концентраций хрома, молибдена, кобальта, никеля в среднем в два раза. Проведенные исследования являются ключевыми при принятии мер по очистке и уменьшению концентрации тяжелых металлов в почве для исполнительных органов. Однако в будущих работах планируется провести мониторинг и определить динамику изменения концентраций тяжелых металлов в почве.

Для эффективного решения проблемы необходим комплексный подход, включающий постоянный мониторинг с использованием химических, биоиндикационных и геостатистических методов, а также применение современных технологий очистки почв, таких, как биоремедиация, химическая и термальная обработка.

Повышение экологической безопасности региона требует улучшения экологического учёта и контроля, а также активного взаимодействия между промышленностью, правительством и научными учреждениями для разработки эффективных стратегий защиты окружающей среды.

**Финансирование:** Научно-исследовательская работа выполнена в рамках Программы BR21882122 «Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии», финансируемый ГУ «Комитет науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан».

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов:** существенный вклад в концепцию или дизайн работы; сбор, анализ или интерпретация результатов работы: Какимжанов Е.Х., Кыргызбай К.Т., Шимшиков Б.Е., Базарбаева Т.А., Жуматаев С.М.; написание текста и/или критический пересмотр его содержания: Какимжанов Е.Х., Кыргызбай К.Т., Шимшиков Б.Е.; утверждение окончательного варианта статьи для публикации: Какимжанов Е.Х., Кыргызбай К.Т.; согласие нести ответственность за все аспекты работы, надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с достоверностью данных или целостностью всех частей статьи: Какимжанов Е.Х., Кыргызбай К.Т.

### Список литературы

1. Korabayev B. et al. The model of environmental accounting and auditing as a factor in increasing the efficiency of management decisions at industrial enterprises in the Republic of Kazakhstan // Regional Science Policy and Practice. Elsevier B.V. - 2024. Vol. 16, № 3. - 12727 <https://doi.org/10.1111/rsp3.12727>
2. Mirzaee S. et al. Spatial variability of soil organic matter using remote sensing data // Catena (Amst). Elsevier B.V. - 2016. - Vol. 145. - P. 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.023>
3. Wang Z. et al. Effects of land use types and environmental factors on spatial distribution of soil total nitrogen in a coalfield on the Loess Plateau, China // Soil Tillage Res. - 2021. - Vol. 211. - 105027 <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105027>
4. Zhou W. et al. Hyperspectral inversion of soil heavy metals in Three-River Source Region based on random forest model // Catena (Amst). - 2021. - Vol. 202. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105222>
5. Song Y. et al. Estimating the spatial distribution of soil heavy metals in oil mining area using air quality data // Atmospheric Environment. - 2022. - Vol. 287. - 119274 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119274>
6. Gao Y., Ji H. Microscopic morphology and seasonal variation of health effect arising from heavy metals in PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>: One-year measurement in a densely populated area of urban Beijing // Atmos Res. - 2018. - Vol. 212. - P. 213–226. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.04.027>
7. Costa-Böddeker S. et al. The hidden threat of heavy metal pollution in high sedimentation and highly dynamic environment: Assessment of metal accumulation rates in the Thi Vai Estuary, Southern Vietnam // Environmental Pollution. - 2018. - Vol. 242. - P. 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.096>
8. Zhou J. et al. The bioavailability and contribution of the newly deposited heavy metals (copper and lead) from atmosphere to rice (*Oryza sativa* L.) // J Hazard Mater. - 2020. - Vol. 384. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121285>
9. Moghimi Dehkordi M. 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. Elsevier B.V. - 2024. - Vol. 23. - 102729 <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102729>
10. Pelta R., Ben-Dor E. Assessing the detection limit of petroleum hydrocarbon in soils using hyperspectral remote-sensing // Remote Sens Environ. Elsevier Inc. - 2019. - Vol. 224. - P. 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.026>
11. Tan K. et al. Estimating the distribution trend of soil heavy metals in mining area from HyMap airborne hyperspectral imagery based on ensemble learning // J Hazard Mater. Elsevier B.V. - 2021. - Vol. 401. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123288>
12. Khosravi V. et al. Monitoring soil lead and zinc contents via combination of spectroscopy with extreme learning machine and other data mining methods // Geoderma. Elsevier B.V. - 2018. - Vol. 318. - P. 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.025>
13. Yaseen Z.M. An insight into machine learning models era in simulating soil, water bodies and adsorption heavy metals: Review, challenges and solutions // Chemosphere. Elsevier Ltd. - 2021. - Vol. 277. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130126>
14. Meng F. et al. Shaping the concentration of petroleum hydrocarbon pollution in soil: A machine learning and resistivity-based prediction method // J Environ Manage. Academic Press. - 2023. - Vol. 345.

15. Шайхудинов Е.М., Касанова А.Г. Последствие нефтяного загрязнения для окружающей среды Атырауской области Республики Казахстан // *Science Time*. - 2020. - P. 68-72.
16. Boiko G.I. et al. Prospects for the use of energy-accumulating substances in solving environmental problems in the oil industry // *Kazakhstan journal for oil & gas industry. KMG Engineering*. - 2023. - Vol. 5, № 2. - P. 99–116.
17. Министерство экологии, геологии и природных ресурсов РК. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2022 год. - Астана, 2023.
18. Национальный атлас Республики Казахстан: научное издание. Т.1. Природные условия и ресурсы. Т.2. Социально-экономическое развитие. Т.3. Окружающая среда и экология. - Алматы, 2010.
19. Enuneku A.A. et al. Mapping soil susceptibility to crude oil pollution in the region of Delta, South-South Nigeria: A proportional study of environmetrics, health, ecological risks, and geospatial evaluation // *Sci Afr. Elsevier B.V.* - 2021. - Vol. 14.
20. Bhardwaj R., Gupta A., Garg J.K. Evaluation of heavy metal contamination using environmetrics and indexing approach for River Yamuna, Delhi stretch, India // *Water Science. Taylor and Francis Ltd.* - 2017. - Vol. 31, № 1. - P. 52–66.
21. Sello Likuku A., B. Mmolawa K., Kabelo Gaboutloeloe G. Assessment of Heavy Metal Enrichment and Degree of Contamination around the Copper-Nickel Mine in the Selebi Phikwe Region, Eastern Botswana // *Environment and Ecology Research. Horizon Research Publishing Co., Ltd.* - 2013. - Vol. 1, № 2. - P. 32–40.
22. Massadeh A.M., Al-Massaedh A.A.T. Determination of heavy metals in canned fruits and vegetables sold in Jordan market // *Environmental Science and Pollution Research. Springer Verlag*. - 2018. - Vol. 25, № 2. - P. 1914–1920.
23. Oliver M.A., Webster R. Kriging: A method of interpolation for geographical information systems // *International Journal of Geographical Information Systems*. - 1990. - Vol. 4, № 3. - P. 313–332.
24. Tao S. Kriging and mapping of copper, lead, and mercury contents in surface soil in Shenzhen area // *Water Air Soil Pollut. Kluwer Academic Publishers*. - 1995. - Vol. 83, № 1–2. - P. 161–172.
25. Tepanosyan G et al. Geospatial mapping, source identification and human health risk assessment of heavy metals in soils of Gyumri (Armenia). - Greece, 2017. - 31 p.
26. Wang X.J. et al. Kriging and PAH pollution assessment in the topsoil of Tianjin area // *Bull Environ Contam Toxicol*. - 2003. - Vol. 71, № 1. - P. 189–195.
27. Léandre F. et al. Natural degradation of spilled fuel oil on seacoasts: Modelling, mapping, and spatial analysis // *Reg Stud Mar Sci. Elsevier B.V.* - 2023. - Vol. 58.
28. Kuznetsov A.N., Fedorov Y.A., Fattal P. Les effets et le comportement du fioul déversé en 2007 dans le détroit de Kertch suite à un naufrage de pétrolier // *Mediterranee. Presses Universitaires de Provence*. - 2013. - Vol. 119, № 2. - P. 91–99.
29. Kuznetsov A., Fedorov Y. Oil Pollution of the Coastal Zone of the Black Sea in an Area of Intensive Navigation (Novorossiysk Bay, Kerch Strait) and the Dynamics of Natural Attenuation Process. - 2020.
30. Nikanorov AM, Stradomskaya AG. Problems of Oil Pollution of Freshwater Ecosystems. - 2008.
31. Paegelow M. Expression (carto-)graphique, cours et travaux dirigés. - 2000.
32. Longley Paul. et al. Geographical information systems. Volume 1, Principles and technical issues. John Wiley. - 1999. - 580 p.
33. Mcdonnell R.A. Principle of Geographic Information Systems. - 1998.
34. Lu G.Y., Wong D.W. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique // *Comput Geosci*. - 2008. - Vol. 34, № 9. - P. 1044–1055.
35. Shepard D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data // *Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference on*. - New York, New York, USA: ACM Press. - 1968. - P. 517–524.
36. Berndt C., Haberlandt U. Spatial interpolation of climate variables in Northern Germany—Influence of temporal resolution and network density // *J Hydrol Reg Stud. Elsevier B.V.* - 2018. - Vol. 15. - P. 184–202.

37. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа [Electronic resource] // ГОСТ 17.4.4.02-2017. 2017.

**Е.Х. Какимжанов<sup>1</sup>, К.Т. Кыргызбай<sup>2</sup>, Б.Е. Шимшиков<sup>3</sup>, Т.А. Базарбаева<sup>4</sup>,  
С.М. Жуматаев<sup>5</sup>**

*<sup>1,2,3,4</sup> Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан  
<sup>5</sup> Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы,  
Қазақстан*

### **Ақтөбе облысының өнеркәсіп жағдайында топырақтың ауыр металдармен ластануын картографиялық әдістер негізінде бағалау**

**Аңдатпа.** Жұмыста картаға түсіру әдістерін қолдана отырып, Ақтөбе облысының аумағында топырақтың ауыр металдармен ластануы бойынша зерттеу жүргізілді. Хром (Cr), никель (Ni), мышьяк (As), молибден (Mo), кобальт (Co), мырыш (Zn), қорғасын (Pb), мыс (Cu), кадмий (Cd), бор (B) элементтерінің топырақта кеңістіктік таралуын сипаттайтын ГАЗ ортасында ақпараттық-бағалау карталары әзірленді. Зерттеудің ғылыми жаңалығы - ауыр металдардың таралу концентрациясын кері өлшенген қашықтық (IDW) интерполяция әдісі бойынша анықтау. Жұмыста Дөң тау-кен байыту комбинаты мен Ақтөбе ферроқорытпа зауытының санитарлық қорғау аймақтарында (СҚА) орындалған далалық топырақты зерттеу нәтижелері сипатталған. Топырақ сынамаларының үлгілері зертханалық жағдайда химиялық талдауға зерттелді. Ауыр металдарды анықтау спектрометрия әдісімен химиялық талдау негізінде жүзеге асырылады. Зерттеу нәтижелері ауыр металдардың жоғары концентрациясының аймақтарын анықтауға мүмкіндік беретін іріктеу карталары мен жеке элементтердің кеңістіктік таралуын көрсететін кешенді картографиялық модельді ұсынады.

**Түйін сөздер:** ГАЗ технологиялары, геокеңістіктік талдау, топырақтың ауыр металдармен ластануы, интерполяция, IDW, спектрометрия.

**Ye. Kakimzhanov<sup>1</sup>, K. Kyrgyzbay<sup>2</sup>, B. Shimshikov<sup>3</sup>, T. Bazarbayeva<sup>4</sup>, S. Zhumatayev<sup>5</sup>**

*<sup>1,2,3,4</sup> Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

*<sup>5</sup> Satbayev University, Almaty, Kazakhstan*

### **Mapping methods for assessing soil pollution with heavy metals in the industrial conditions of Aktobe region**

**Abstract.** The paper conducted a study on soil pollution with heavy metals in the Aktobe region using mapping methods. Evaluation and information maps have been developed in the GIS environment describing the spatial distribution of chromium (Cr), nickel (Ni), arsenic (As), molybdenum (Mo), cobalt (Co), zinc (Zn), lead (Pb), copper (Cu), cadmium (Cd), boron (B) in the soil. The scientific novelty of the study is to determine the concentration of heavy metal propagation based on inversely weighted distance interpolation (IDW). The paper describes the results of a field soil survey performed in sanitary protection zones (SPZ) of Donskoy Ore Mining and Processing Plant and Aktobe Ferroalloy Plant. Soil samples were examined for chemical analysis in the laboratory. The determination of heavy metals was carried out on the basis of chemical analysis by spectrometry. The results of the research represent a comprehensive cartographic model, which indicates sampling maps and the spatial distribution of individual elements, which make it possible to determine areas of increased concentration of heavy metals.

**Keywords:** GIS technologies, geospatial analysis, soil contamination with heavy metals, interpolation, IDW, spectrometry.

## References

1. Korabayev B. et al. The model of environmental accounting and auditing as a factor in increasing the efficiency of management decisions at industrial enterprises in the Republic of Kazakhstan // *Regional Science Policy and Practice*. Elsevier B.V. - 2024. Vol. 16, № 3. - 12727 <https://doi.org/10.1111/rsp3.12727>
2. Mirzaee S. et al. Spatial variability of soil organic matter using remote sensing data // *Catena (Amst)*. Elsevier B.V. - 2016. - Vol. 145. - P. 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.023>
3. Wang Z. et al. Effects of land use types and environmental factors on spatial distribution of soil total nitrogen in a coalfield on the Loess Plateau, China // *Soil Tillage Res.* - 2021. - Vol. 211. - 105027 <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105027>
4. Zhou W. et al. Hyperspectral inversion of soil heavy metals in Three-River Source Region based on random forest model // *Catena (Amst)*. - 2021. - Vol. 202. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105222>
5. Song Y. et al. Estimating the spatial distribution of soil heavy metals in oil mining area using air quality data // *Atmospheric Environment*. - 2022. - Vol. 287. - 119274 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119274>
6. Gao Y., Ji H. Microscopic morphology and seasonal variation of health effect arising from heavy metals in PM2.5 and PM10: One-year measurement in a densely populated area of urban Beijing // *Atmos Res.* - 2018. - Vol. 212. - P. 213–226. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.04.027>
7. Costa-Böddeker S. et al. The hidden threat of heavy metal pollution in high sedimentation and highly dynamic environment: Assessment of metal accumulation rates in the Thi Vai Estuary, Southern Vietnam // *Environmental Pollution*. - 2018. - Vol. 242. - P. 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.096>
8. Zhou J. et al. The bioavailability and contribution of the newly deposited heavy metals (copper and lead) from atmosphere to rice (*Oryza sativa* L.) // *J Hazard Mater.* - 2020. - Vol. 384. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121285>
9. Moghimi Dehkordi M. 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*. Elsevier B.V. - 2024. - Vol. 23. - 102729 <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102729>
10. Pelta R., Ben-Dor E. Assessing the detection limit of petroleum hydrocarbon in soils using hyperspectral remote-sensing // *Remote Sens Environ*. Elsevier Inc. - 2019. - Vol. 224. - P. 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.026>
11. Tan K. et al. Estimating the distribution trend of soil heavy metals in mining area from HyMap airborne hyperspectral imagery based on ensemble learning // *J Hazard Mater*. Elsevier B.V. - 2021. - Vol. 401. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123288>
12. Khosravi V. et al. Monitoring soil lead and zinc contents via combination of spectroscopy with extreme learning machine and other data mining methods // *Geoderma*. Elsevier B.V. - 2018. - Vol. 318. - P. 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.025>
13. Yaseen Z.M. An insight into machine learning models era in simulating soil, water bodies and adsorption heavy metals: Review, challenges and solutions // *Chemosphere*. Elsevier Ltd. - 2021. - Vol. 277. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130126>
14. Meng F. et al. Shaping the concentration of petroleum hydrocarbon pollution in soil: A machine learning and resistivity-based prediction method // *J Environ Manage*. Academic Press. - 2023. - Vol. 345.
15. Shaikhudinov E.M., Khasanova A.G. Posledstvie neftjanogo zagrjaznenija dlja okruzhajushhej sredy Atyrauskoj oblasti respubliki Kazahstan [The consequence of oil pollution for the environment of the Atyrau region of the Republic of Kazakhstan] // *Science Time*. 2020. P. 68-72 [In Russian].
16. Boiko G.I. et al. Prospects for the use of energy-accumulating substances in solving environmental problems in the oil industry // *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. KMG Engineering. - 2023. - Vol. 5, № 2. - P. 99–116.
17. Committee on Ecology of the Republic of Kazakhstan. A report on the state of the environment in the western regions of Kazakhstan. Astana: Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan, 2022 [In Russian].

18. Nacional'nyj atlas Respubliki Kazahstan: nauchnoe izdanie. T.1. Prirodnye uslovija i resursy. T.2. Social'no-jekonomicheskoe razvitie. T.3. Okruzhajushhaja sreda i jekologija. [National Atlas of the Republic of Kazakhstan: scientific publication. V.1. Natural conditions and resources. V.2. Socio-economic development. V.3. Environment and ecology.] Almaty, 2010 [In Russian].
19. Enuneku A.A. et al. Mapping soil susceptibility to crude oil pollution in the region of Delta, South-South Nigeria: A proportional study of environmetrics, health, ecological risks, and geospatial evaluation // *Sci Afr. Elsevier B.V.* - 2021. - Vol. 14.
20. Bhardwaj R., Gupta A., Garg J.K. Evaluation of heavy metal contamination using environmetrics and indexing approach for River Yamuna, Delhi stretch, India // *Water Science. Taylor and Francis Ltd.* - 2017. - Vol. 31, № 1. - P. 52–66.
21. Sello Likuku A., B. Mmolawa K., Kabelo Gaboutloeloe G. Assessment of Heavy Metal Enrichment and Degree of Contamination around the Copper-Nickel Mine in the Selebi Phikwe Region, Eastern Botswana // *Environment and Ecology Research. Horizon Research Publishing Co., Ltd.* - 2013. - Vol. 1, № 2. - P. 32–40.
22. Massadeh A.M., Al-Massaedh A.A.T. Determination of heavy metals in canned fruits and vegetables sold in Jordan market // *Environmental Science and Pollution Research. Springer Verlag.* - 2018. - Vol. 25, № 2. - P. 1914–1920.
23. Oliver M.A., Webster R. Kriging: A method of interpolation for geographical information systems // *International Journal of Geographical Information Systems.* - 1990. - Vol. 4, № 3. - P. 313–332.
24. Tao S. Kriging and mapping of copper, lead, and mercury contents in surface soil in Shenzhen area // *Water Air Soil Pollut. Kluwer Academic Publishers.* - 1995. - Vol. 83, № 1–2. - P. 161–172.
25. Tepanosyan G et al. Geospatial mapping, source identification and human health risk assessment of heavy metals in soils of Gyumri (Armenia). - Greece, 2017. - 31 p.
26. Wang X.J. et al. Kriging and PAH pollution assessment in the topsoil of Tianjin area // *Bull Environ Contam Toxicol.* - 2003. - Vol. 71, № 1. - P. 189–195.
27. Léandre F. et al. Natural degradation of spilt fuel oil on seacoasts: Modelling, mapping, and spatial analysis // *Reg Stud Mar Sci. Elsevier B.V.* - 2023. - Vol. 58.
28. Kuznetsov A.N., Fedorov Y.A., Fattal P. Les effets et le comportement du fioul déversé en 2007 dans le détroit de Kertch suite à un naufrage de pétrolier // *Mediterranee. Presses Universitaires de Provence.* - 2013. - Vol. 119, № 2. - P. 91–99.
29. Kuznetsov A., Fedorov Y. Oil Pollution of the Coastal Zone of the Black Sea in an Area of Intensive Navigation (Novorossiysk Bay, Kerch Strait) and the Dynamics of Natural Attenuation Process. - 2020.
30. Nikanorov AM, Stradomskaya AG. Problems of Oil Pollution of Freshwater Ecosystems. - 2008.
31. Paegelow M. Expression (carto-)graphique, cours et travaux dirigés. - 2000.
32. Longley Paul. et al. Geographical information systems. Volume 1, Principles and technical issues. John Wiley. - 1999. - 580 p.
33. Mcdonnell R.A. Principle of Geographic Information Systems. - 1998.
34. Lu G.Y., Wong D.W. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique // *Comput Geosci.* - 2008. - Vol. 34, № 9. - P. 1044–1055.
35. Shepard D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data // *Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference on* -. New York, New York, USA: ACM Press. - 1968. - P. 517–524.
36. Berndt C., Haberlandt U. Spatial interpolation of climate variables in Northern Germany—Influence of temporal resolution and network density // *J Hydrol Reg Stud. Elsevier B.V.* - 2018. - Vol. 15. - P. 184–202.
37. Mezghosudarstvennyj standart. Ohrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlja himicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza [Interstate standard. Nature protection. Soils. Methods of sampling and sample preparation for chemical, bacteriological, helminthological analysis] [Electronic resource] // GOST 17.4.4.02-2017. 2017.

**Сведения об авторах:**

**Какимжанов Е.Х.** – PhD, и.о. доцента кафедры картографии и геоинформатики факультета географии и природопользования, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, проспект аль-Фараби, 71, 050040, Алматы, Казахстан.

ORCID 0000-0001-6454-681X

**Кыргызбай К.Т.** – автор для корреспонденции, PhD, преподаватель кафедры картографии и геоинформатики факультета географии и природопользования Казахский национальный университет имени аль-Фараби, проспект аль-Фараби, 71, 050040, Алматы, Казахстан.

ORCID 0000-0002-4279-6436

**Шимшиков Б.Е.** – к.б.н., доцент кафедры ЮНЕСКО по устойчивому развитию факультета географии и природопользования Казахский национальный университет имени аль-Фараби, проспект аль-Фараби, 71, 050040, Алматы, Казахстан.

ORCID 0000-0002-0196-3373

**Базарбаева Т.А.** – к.г.н., доцент, заведующая кафедрой ЮНЕСКО по устойчивому развитию факультета географии и природопользования Казахский национальный университет имени аль-Фараби, проспект аль-Фараби, 71, 050040, Алматы, Казахстан.

ORCID 0009-0008-5685-5215

**Жуматаев С.М.** – докторант Горно-металлургического института имени О.А. Байконурова, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22, 050013, Алматы, Казахстан.

ORCID 0009-0008-1618-7881

**Kakimzhanov Y.H.** – PhD, Associate professor, teacher, Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Al Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Avenue, 050040, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0000-0001-6454-681X

**Kyrgyzbay K.T.** – corresponding author, PhD candidate, Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Al Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Avenue, 050040, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-4279-6436

**Shimshikov B.Y.** – Candidate of biological sciences, Associate professor, UNESCO department in Sustainable Development, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Al Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Avenue, 050040, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0000-0002-0196-3373

**Bazarbayeva T.A.** – Candidate of geographical science, Associate professor, Head of department, UNESCO department in Sustainable Development, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Al Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Avenue, 050040, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0009-0008-5685-5215

**Zhumatayev S.M.** – PhD student, Department of Surveying and Geodesy, Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University, Satbayev street 22, 050013, Almaty, Kazakhstan.

ORCID 0009-0008-1618-7881



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).