

Л.С. Болуспаева<sup>1\*</sup>, А.Б. Абжалелов<sup>1</sup>,  
В. Спыхальский<sup>2</sup>, С.А. Бакин<sup>3</sup>

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

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

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

\*e-mail: boluspaeva82@mail.ru

## СОДЕРЖАНИЕ КИСЛОТОРАСТВОРИМОЙ ФОРМЫ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ Г. УСТЬ-КАМЕНОГОРСКА

В настоящей статье отражены итоги изучения присутствия кислоторастворимой формы тяжелых металлов в почвах крупного промышленного центра. Для проведения химического анализа были отобраны пробы на различных по загрязненности участках города: в северной промышленной зоне, в северо-восточной промышленной зоне, в центральной селитебной зоне, в пригородной зоне. В подготовленных пробах почв определяли концентрацию Zn, Pb, Cu, Cd.

По результатам химического анализа установлено, что средние концентрации кислоторастворимой формы исследованных тяжелых металлов превышают фоновые значения. Необходимо учитывать, валовый запас и физико-химические свойства почв влияют на содержание исследуемой формы данных металлов в среде. Таким образом, в лугово-черноземной почве обнаружены максимальное содержание данных элементов, а в черноземах южных – минимальное. Выявлена большая мозаичность наличия тяжелых металлов в изучаемой местности. Для почв изучаемой территории, характерна цинково-кадмиевая геохимическая специализация исследуемой формы тяжелых металлов.

Результаты исследования показывают, что почвы в селитебных районах и северо-восточных промзонах загрязнены умеренно, северные промзоны сильно загрязнены, восточные пригороды находятся на приемлемом уровне загрязнения.

**Ключевые слова:** почва, промышленный город, геохимическая специализация, экологическая оценка, загрязнение почвы.

L.S. Boluspayeva<sup>1\*</sup>, A.B. Abzhalelov<sup>1</sup>, W. Spychalski<sup>2</sup>, S.A. Bakin<sup>3</sup>

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

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

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

\*e-mail: boluspaeva82@mail.ru

### Content of the acid-soluble form of heavy metals in soils of Ust-Kamenogorsk

The findings of a study on the amount of heavy metals in the soils of a significant industrial area are presented in this scientific publication. Samples were collected in various contaminated locations of the city for chemical analysis: in the northern industrial zone, in the northeastern industrial zone, in the central residential zone, in the suburban zone. The contents of Zn, Pb, Cu, and Cd were determined in the prepared soil samples.

Based on the results of chemical analysis, it was discovered that the average concentrations of the acid-soluble form of the studied heavy metals exceed the background values. The total reserve and physicochemical characteristics of soils determine the amount of acid-soluble heavy metals present in the soil. Thus, the maximum content of mobile heavy metals was discovered in the meadow-chernozem soil, and the minimum in the southern chernozems. A large mosaic content of heavy metals was revealed for the territory under consideration. On average, the acid-soluble heavy metals are characterized by zinc-cadmium geochemical specialization.

It has been established that the soils of residential areas and the northeastern industrial zone are classified as medium pollution, the soils of the northern industrial zone are highly polluted, and the soils of the eastern outskirts are to an acceptable level of pollution.

**Key words:** soil, heavy metals, environmental assessment, soil pollution.

Л.С. Болуспаева<sup>1\*</sup>, А.Б. Абжалелов<sup>1</sup>, В. Спыхальский<sup>2</sup>, С.А. Бакин<sup>3</sup>

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

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

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

\*e-mail: boluspaeva82@mail.ru

### **Өскемен қаласының топырағындағы ауыр металдардың қышқылда еритін формасының мөлшері**

Бұл ғылыми жұмыста ірі өнеркәсіптік орталығының топырақтарындағы ауыр металдардың қышқылда еритін түрінің зерттеу нәтижелері берілген. Химиялық талдау үшін ластануы бойынша әртүрлі қаланың аудандарынан: солтүстік өнеркәсіптік аймақтан, солтүстік-шығыс өнеркәсіптік аймақтан, орталық тұрғын аймақтан, қала маңы аймақтарынан сынамалар алынды. Дайындалған топырақ үлгілерінде Zn, Pb, Cu және Cd мөлшері анықталды.

Химиялық талдау нәтижелері бойынша зерттеліп отырған ауыр металдардың қышқылда еритін формасының орташа концентрациясы фондық мәндерден жоғары екені анықталды. Топырақтағы ауыр металдардың қышқылда еритін формасының мөлшері металдың жалпы қорына және топырақтың физикалық және химиялық қасиеттеріне байланысты екенін атап өткен жөн. Осылайша, ауыр металдардың жылжымалы түрлерінің максималды мөлшері шалғынды-қара топырақта, ал ең азы оңтүстік қара топырақтарда табылды. Қарастырылып отырған аумақ үшін ауыр металдардың мозаикалық құрамы анықталған. Жалпы алғанда Өскемен топырағындағы ауыр металдардың қышқылда еритін түрі мырыш-кадмий геохимиялық мамандануымен сипатталады.

Орталық тұрғын аймақтың және солтүстік-шығыс өнеркәсіптік аймақтың топырақтары орташа ластануға жатады, солтүстік өнеркәсіптік аймақтың топырақтары өте ластанған, ал шығыс шет аймақтарының топырақтары ластанудың қолайлы деңгейінде екені анықталды.

**Түйін сөздер:** топырақ, ауыр металдар, қоршаған ортаның жағдайын бағалау, топырақтың ластануы.

### **Введение**

Урбоэкосистемы – это техногенные территории, которые сегодня являются основными источниками загрязнения окружающей среды, в том числе и высокотоксичными тяжелыми металлами, обладающими канцерогенным и мутагенным эффектами [1,2]. В мегаполисах накопление тяжелых металлов в почвах происходит из природных и антропогенных источников, включая выбросы от транспортных средств, сжигания угля и различных видов промышленной деятельности [3,4,5,6].

Загрязнение городских почв тяжелыми металлами вызывает серьезные заботы об окружающей среде во всем мире [7,8,9], так как они относительно быстро накапливаются в почве и очень медленно удаляются из него [10]. Из почвы тяжелые металлы поглощаются апопластом корней растений и далее распределяются и накапливаются в их съедобных и несъедобных частях, создавая непосредственную опасность для пищевой цепи [11,12,13].

Таким образом, превышение в почве содержания данных металлов является чрезвычайно важной проблемой, и необходимо разработать и использовать соответствующие методы ее устранения. Рациональное использование городских

земельных ресурсов требует учета сведений о состоянии почвы и характерной информации каждой функциональной зоны. Отказ от использования этих данных может привести к необоснованным материальным затратам и снижению комфортности и безопасности среды обитания граждан [14,15,16].

Усть-Каменогорск – промышленный город с множеством предприятий, которые работают на добыче и переработке сырья. В районе есть цветная и черная металлургия, атомная промышленность и тепловые электростанции. Высокий уровень техногенной нагрузки на регион негативно повлиял на изменение экологической ситуации, что делает возможным рассматривать его как один из самых загрязненных городов республики [17,18,19].

По сведениям РГУ «Департамент экологии по ВКО» (2021 год) в области действуют 788 предприятий, осуществляющих эмиссии в окружающую среду. Фактические суммарные выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников составляют 130,89 тысяч тонн, из которых по объектам 1 категории – 76,95 тысяч тонн, по остальным категориям – 53,94 тысяч тонн. По данным сети наблюдений г. Усть-Каменогорска, уровень загрязнения атмосферного воздуха оценивался как высокий

[20]. В городе отмечаются превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосфере в несколько раз [21].

В пылевых выбросах данных предприятий содержатся тяжелые металлы, которые характеризуются четко выраженными кумулятивными свойствами по отношению к почве и населяющей ее биоте. Важное значение приобретают сведения о подвижности тяжелых металлов в почве. Мобильные химические элементы способны переходить в форму, доступную для поглощения растениями. Избыточное количество этой формы в почве чревато загрязнением растительной продукции. Также, следует иметь в ви-

ду угрозу ухудшения агроэкологического состояния почвы, так как значительная часть города Усть-Каменогорска занимают садово-огородные участки, где выращиваются сельскохозяйственные культуры.

### Материалы и методы

Почвенные пробы отбирали по всей территории города Усть-Каменогорска согласно ГО-СТам [22,23,24] и методическим рекомендациям [25,26].

Отбор проб проводился с глубины 0–25 см, который считается гумусо-аккумулятивным слоем (рисунок 1).

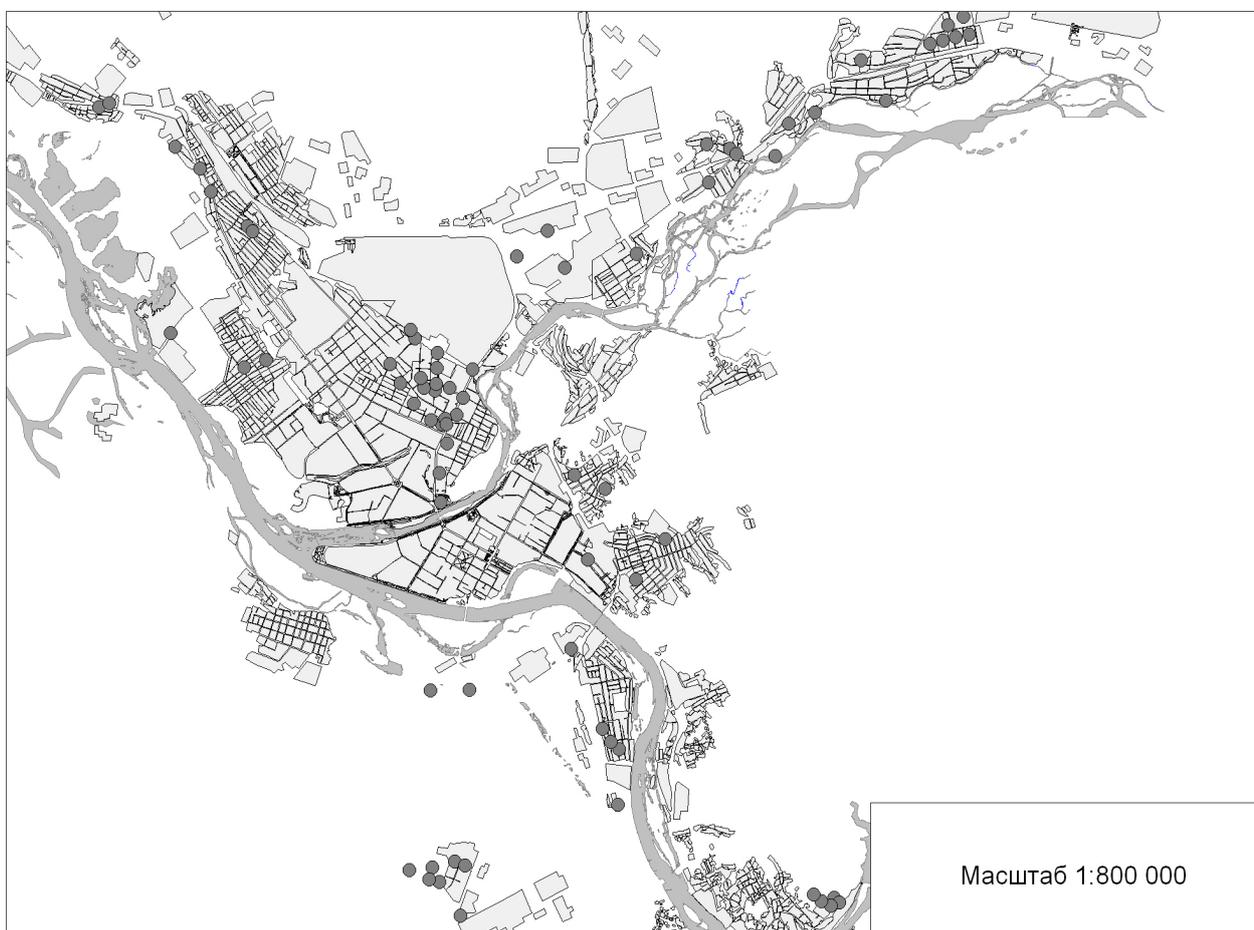


Рисунок 1 – Карта-схема точек отбора проб почв г. Усть-Каменогорска

По литературным источникам в данном слое почвенного покрова локализовано до 80% запасов химических элементов антропогенного происхождения.

Нами были выделены четыре зоны: северная промышленная, северо-восточная промышленная, центральная селитебная и пригородная.

В северной промышленной зоне расположены крупные промышленные объекты, как АО AES Усть-Каменогорский ТЭЦ, АО Ульбинский металлургический завод, ТОО «Казцинк». Во второй – северо-восточной промышленной зоне – территории Согринской ТЭЦ и АО Усть-Каменогорского титано-магниевого комбината. В третьей – селитебной зоне находятся жилые кварталы областного центра. Район КШТ (комбината шелковых тканей), Район КШТ, левобережье и жилые массивы в районе Усть-Каменогорской ГЭС отнесены к четвертому району – пригороду.

Пробы отбирали на расстоянии 500 м, 1, 5, 7, 10 и 15 км от источника загрязнения в районах, близких к крупнейшим источникам выбросов в атмосферу — свинцово-цинковым, титано-магниевым и другим предприятиям.

Отобранные пробы почв объединяли, перемешивали, просеивали через сито 1 мм и отправ-

ляли в лабораторию. Для извлечения кислоторастворимой формы тяжелых металлов применяли экстрагент – 1 н. раствор HCl, который используется для извлечения общих подвижных форм тяжелых металлов.

В образцах почв определяли свинец, цинк, медь и кадмий.

Статистическую обработку данных проводили по Н.А. Плохинскому [27] с использованием программы Microsoft® Excel.

### Результаты и их обсуждение

Проведенные химические анализы показали, что средняя концентрация тяжелых металлов в кислоторастворимой форме колеблется от 0,9 мг/кг (Cd) до 108,6 мг/кг (Zn). Геохимический состав почв города Усть-Каменогорска имеет следующий вид: Zn (108,6) > Cu (15,8) > Pb (12,5) > Cd (0,9) (таблица 1).

**Таблица 1** – Кислоторастворимая форма тяжелых металлов (мг/кг) в почвах г. Усть-Каменогорска

Элемент	Общее содержание исследуемых металлов в почве, мг/кг	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\sigma$	Cv, %	Lim	Фон
Cu	84,7±2,1	15,8±0,3	5,3	33,1	1,4-59,4	4,1
Zn	306,8±17	108,6±4,4	78,8	72,5	4,9-921,3	5,3
Pb	59,5±0,9	12,5±0,2	4,0	32,1	2,9-46,7	4,9
Cd	2,49±0,1	0,9±0,03	0,5	61,6	0,07-5,75	0,11

Предел изменения коэффициента вариации кислоторастворимой формы исследуемых металлов составляет от 32,1% (Pb) до 72,5% (Zn).

По коэффициенту вариации тяжелые металлы расположены в убывающий ряд: Zn > Cd > Cu > Pb.

В исследованных образцах почв коэффициент вариаций исследуемой формы Pb превышает

фоновый уровень в 2,6 раза, Cu в 3,9 раза, Cd в 8,1 раза, Zn превышает в 20,5 раза.

Содержание кислоторастворимой формы Cu не превышает допустимый уровень (ОДК=50-100 мг/кг) по сравнению с утвержденными ОДК [28]. Превышение по Zn (ОДК=60 мг/кг) составило в 1,8 раза.

**Таблица 2** – Процентное содержания кислоторастворимой формы химических элементов в почвах г. Усть-Каменогорска

Элемент		Элемент	
Cu	$\frac{25,2}{3,6-51,5}$	Cd	$\frac{49,9}{16,1-80,1}$
Zn	$\frac{42,4}{15,8-90,1}$	Pb	$\frac{25,5}{11,2-46,5}$

**Примечание:** в числителе – средняя арифметическая; в знаменателе – предел колебаний, %.

Рассматриваемая территория характеризуется повышенным содержанием тяжелых металлов, которые неравномерно распределяются по всему городу. В городских почвах максимальное содержание цинка в кислоторастворимой форме превышало минимальное в 188,9 раза, кадмия в 82,1 раза, меди в 42,4 раза, свинца в 16,1 раза.

По подвижности (%) от общего содержания, рассматриваемые тяжелые металлы показывают следующий порядок убывания (таблица 2): кадмий (49,9) > цинк (42,4) > свинец (25,5) > медь (25,2).

На подвижность тяжелых металлов влияет ряд факторов: содержание органического вещества, реакция среды, дисперсный состав почв, буферная способность почвы, емкость катионного обмена и др. Подвижность тем выше, чем меньше рН почвенного раствора. Чем выше емкость катионного обмена, тем больше металла задерживается в почве, и тем меньше тяжелых

металлов попадает в растения и живые организмы (таблица 3).

Исследования показывают, что наибольшее наличие мобильных форм данных металлов выявлено в лугово-черноземной почве, что может быть связано с высоким уровнем валового содержания изученных элементов в данной почве.

Наименьшие концентрации тяжелых металлов в кислоторастворимой форме обнаружены в черноземах южных, характеризующихся умеренной буферной способностью и более тяжелым гранулометрическим составом, также в этих почвах обнаружено наименьшее количество общего содержания вышеуказанных металлов.

Валовое количество изучаемых металлов влияет на количественное содержание мобильных форм изучаемых металлов. Поэтому для сравнения приведены данные о концентрациях исследуемых металлов в разных загрязненных районах города. (таблица 4).

Таблица 3 – Количество кислоторастворимых тяжелых металлов в различных почвах г. Усть-Каменогорска

Элемент	Lim, мг/кг	Cv, %	$\sigma$	$\bar{x} \pm \bar{Sx}$ мг/кг
Лугово-черноземные				
Cu	10,5-94,3	20,6	9,7	47,2±1,1
Zn	20,1-601,4	39,8	78,5	196,3±8,9
Pb	14,8-52,8	15,9	5,0	31,6±0,6
Cd	0,45-5,64	26,1	0,7	2,7±0,08
Черноземы южные				
Cu	1,4-14,6	20,7	1,6	7,7±0,2
Zn	4,9-53,8	39,5	6,9	17,4±0,8
Pb	3,6-25,1	27,1	2,6	9,6±0,3
Cd	0,07-0,2	17,9	0,02	0,1±0,002
Пойменные луговые черноземные				
Cu	6,4-31,3	17,3	2,5	14,6±0,3
Zn	9,9-218,7	52,5	28,2	53,7±2,9
Pb	4,5-25,4	23,5	2,6	11,2±0,3
Cd	0,11-1,3	38,7	0,2	0,4±0,01
Черноземы обыкновенные				
Cu	5,2-43,3	38,8	5,9	15,1±0,6
Zn	11,8-210,8	42,5	25,8	60,6±2,8
Pb	3,8-50,5	30,6	6,5	21,1±0,7
Cd	0,08-4,9	58,6	0,7	0,9±0,06

**Таблица 4** – Количественное содержание мобильной формы металлов (мг/кг) в различных типах почв

Функциональная зона	Почвы	Cu	Zn	Pb	Cd
Северная промышленная	Лугово-черноземные	$\frac{39,5}{9,8-94,3}$	$\frac{210,5}{16,7-901,3}$	$\frac{32,5}{10,9-63,7}$	$\frac{2,1}{0,26-5,75}$
Центральная селитебная	Пойменные луговые черноземные	$\frac{12,5}{6,4-20,1}$	$\frac{65,0}{9,9-218,7}$	$\frac{8,5}{4,5-18,2}$	$\frac{0,5}{0,11-1,3}$
	Черноземы обыкновенные	$\frac{10,4}{6,7-22,5}$	$\frac{58,6}{16,8-148,6}$	$\frac{11,3}{3,8-13,8}$	$\frac{0,3}{0,08-0,35}$
Восточная пригородная	Черноземы южные	$\frac{7,8}{1,4-14,6}$	$\frac{17,4}{4,9-53,8}$	$\frac{9,6}{3,6-25,1}$	$\frac{0,1}{0,07-0,2}$
	Черноземы обыкновенные	$\frac{7,5}{5,4-10,2}$	$\frac{73,8}{60,6-85,7}$	$\frac{16,9}{12,9-24,8}$	$\frac{0,9}{0,6-1,4}$
Северо-восточная промышленная	Черноземы обыкновенные	$\frac{19,9}{5,2-43,3}$	$\frac{56,7}{11,8-210,8}$	$\frac{26,9}{10,1-50,5}$	$\frac{1,3}{0,12-4,9}$
	Пойменные луговые черноземные	$\frac{20,8}{14,2-31,3}$	$\frac{21,9}{14,4-35,5}$	$\frac{18,8}{12,1-25,4}$	$\frac{0,4}{0,22-0,8}$

Из данной таблицы видно, что при одинаковом уровне загрязнения, почвы с высокой буферностью и тяжелым гранулометрическим составом эффективнее переводят тяжелые металлы в малодоступные для растений слабо мигрирующие соединения.

По степени накопления тяжелых металлов почвы располагаются в следующем убывающем

ряду: лугово-черноземные > пойменные луговые черноземные > черноземы обыкновенные > черноземы южные.

Установлено, что максимальное среднее содержание кислоторастворимой формы тяжелых металлов, как и их валового количества, наблюдается в почвах, отобранных в северной промышленной зоне города (таблица 5).

**Таблица 5** – Кислоторастворимая форма тяжелых металлов (мг/кг) в почвах различных по загрязненности зонах г. Усть-Каменогорска

Элемент	Северо-восточная промышленная	Северная промышленная	Восточный пригород	Центральная селитебная
Cu	$\frac{20,2 \pm 0,6}{5,2-43,3}$	$\frac{39,5 \pm 1,4}{9,8-94,3}$	$\frac{7,7 \pm 0,2}{1,4-14,6}$	$\frac{11,8 \pm 0,2}{6,4-22,5}$
Zn	$\frac{47,5 \pm 2,6}{11,8-210,8}$	$\frac{210,5 \pm 15,3}{16,7-901,3}$	$\frac{32,3 \pm 1,9}{4,9-85,7}$	$\frac{63,1 \pm 2,8}{9,9-218,6}$
Cd	$\frac{1,04 \pm 0,6}{0,12-4,87}$	$\frac{2,1 \pm 0,1}{0,26-5,75}$	$\frac{0,3 \pm 0,4}{0,07-1,42}$	$\frac{0,4 \pm 0,2}{0,08-1,3}$
Pb	$\frac{24,7 \pm 0,05}{10,1-50,5}$	$\frac{32,5 \pm 0,9}{10,9-63,7}$	$\frac{11,1 \pm 0,03}{3,6-25,1}$	$\frac{9,3 \pm 0,01}{3,8-18,3}$

**Примечание:** средняя арифметическая и ее ошибка - в числителе; предел колебаний - в знаменателе.

В среднем наличие тяжелых металлов в почвах северной промышленной зоны было выше, чем в восточных районах: меди – в 5,1 раза, цинка – в 6,5, кадмия – в 7, свинца – в 3,4 раза. Содержание тяжелых металлов в почве северо-восточной промзоны выше, чем в вос-

точной пригородной почве: меди – в 2,6 раза, кадмия – в 3,4, цинка – в 1,9, свинца – в 2,1 раза.

В целом, вышеуказанные тяжелые металлы, по коэффициенту вариации образуют следующие убывающие ряды:

Северо-восточная промзона – Cd (52,9) > Zn (49,9) > Cu (25,3) > Pb (22,5);

Центральная (селитебная зона) – Zn (44,9) > Cd (41,9) > Pb (18,7) > Cu (16,8);

Северная промзона – Zn (63,9) > Cd (44,9) > Cu (32,0) > Pb (23,4);

Восточный пригород – Cd (63,5) > Zn (48,0) > Pb (29,7) > Cu (22,5).

Анализ полученных нами данных показывает, что между изучаемыми элементами существуют различные корреляционные взаимозависимости (таблица 6).

Сильная – для цинка и кадмия, средняя-для меди и кадмия, цинка и свинца, слабая-для меди и цинка, меди и свинца.

Выявленная корреляционная зависимость может быть связана с загрязнением почв из постоянных источников. Регрессионные уравнения прямой функции, показывают линейную зависимость валового содержания и кислоторастворимой формой исследуемых элементов (рисунок 2).

Концентрация и общее содержание мобильных форм исследованных металлов уменьшались с преобладающим направлением ветра (северо-западное, юго-восточное), что показано на рисунке 3.

Наличие кислоторастворимой формы меди в почве на расстоянии от 0,5 до 7 км от УК ТОО «Казцинк» меньше в 9 раз, Zn – в 14,7 раз, Cd – в 4,6 раз, Pb – в 1,7 раза соответственно (рисунок 3).

Таблица 6 – Показатели корреляционной зависимости между кислоторастворимыми формами исследуемых элементов в почвах

Элемент	Cu	Zn	Cd	Pb
Cu		0,54	0,56	0,53
Zn			0,77	0,58
Cd				0,71
Pb				

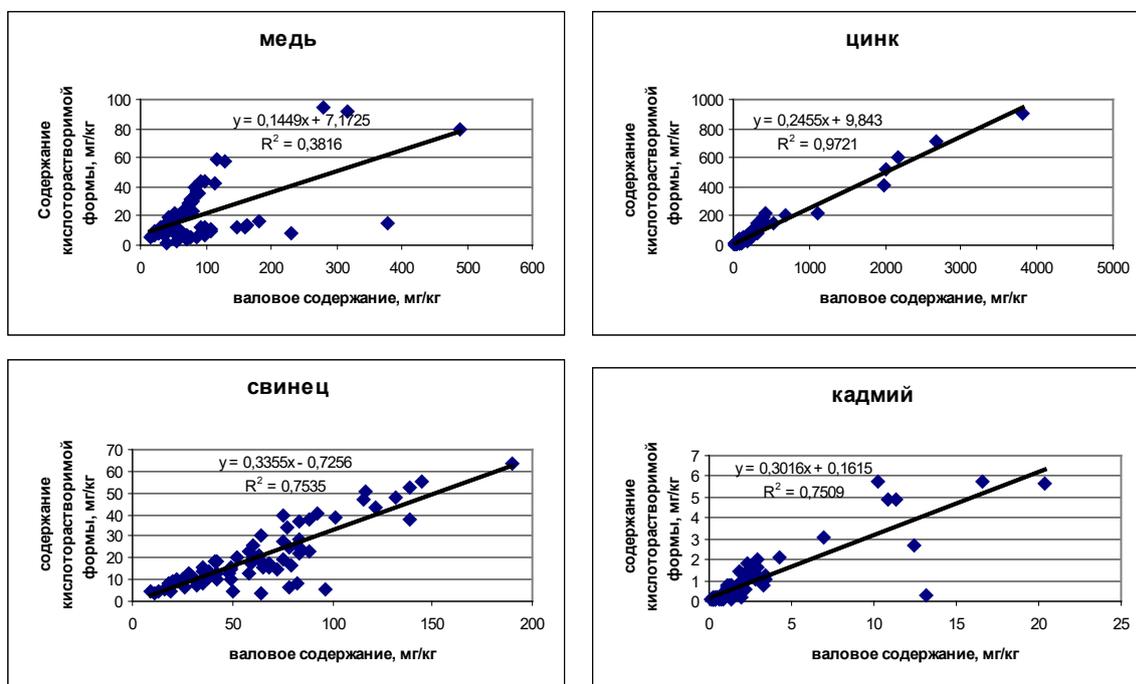


Рисунок 2 – Зависимость валового содержания ТМ и их кислоторастворимой формой в почвах г. Усть-Каменогорска

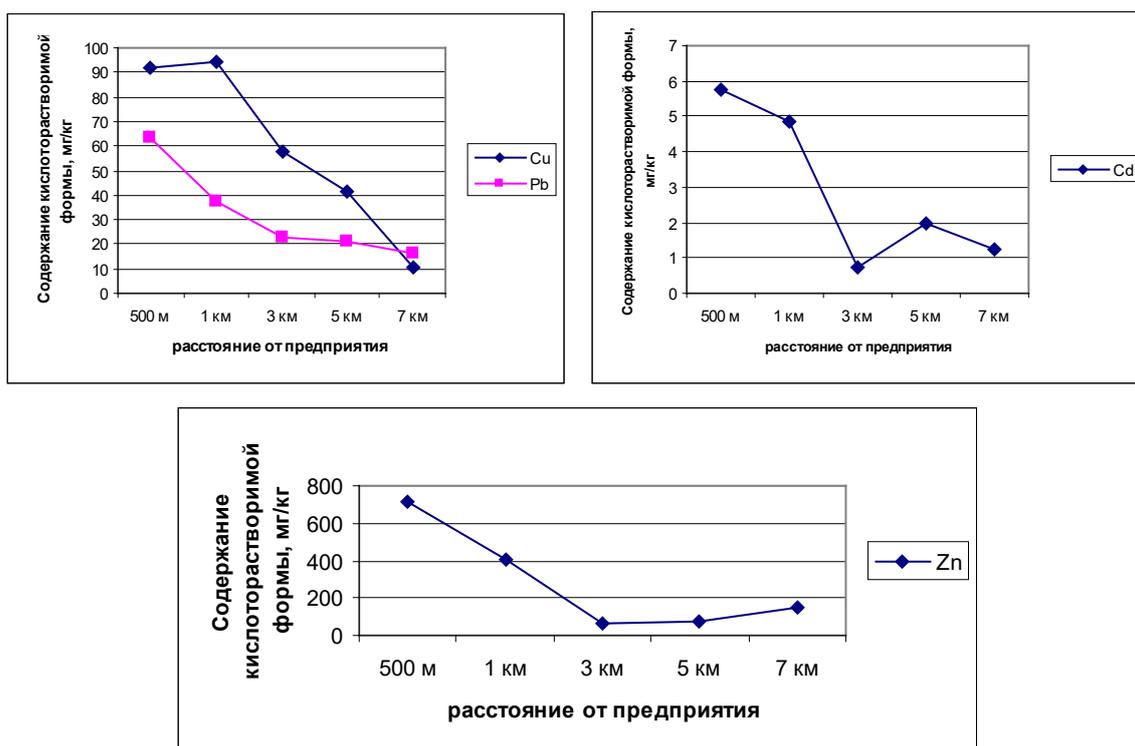


Рисунок 3 – Содержание мобильной формы исследуемых металлов в зависимости от расстояния от предприятия УК МК ТОО «Казцинк» (северо-восточное направление)

Такая же ситуация наблюдалась и по данной форме исследуемых металлов по удаленности от АО УК «Титано-магний комбинат», как показано на рисунке 4.

Почвенное состояние различных городских территорий оценивали по общему содержанию исследуемой формы [29,30] данных элементов

(таблица 7, рисунок 5).

Результаты исследования установили, что почвы г. Усть-Каменогорска по наличию исследуемой формы химических элементов, характеризуются цинково-кадмиевой геохимической специализацией:  $Zn_{20,5} Cd_{8,2} Cu_{3,9} Pb_{2,6}$ .

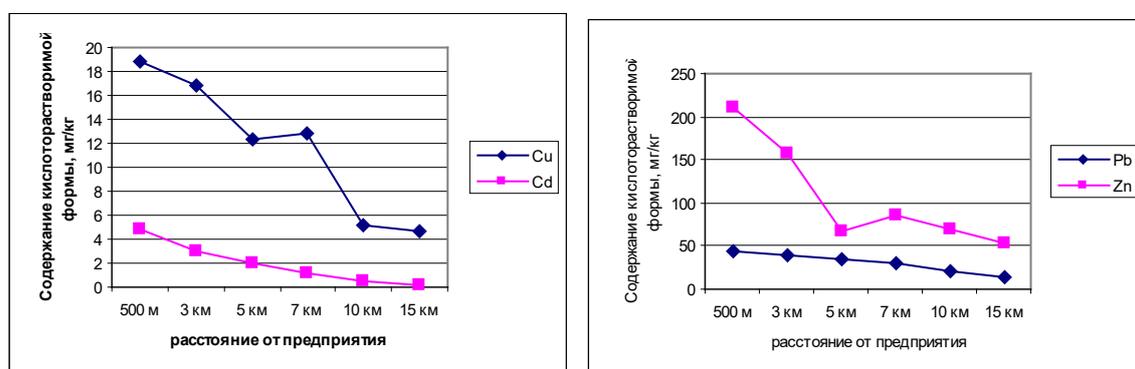


Рисунок 4 – Кислоторастворимая форма исследуемых элементов в зависимости от расстояния от предприятия АО УК титано-магний комбинат (северо-восточное направление)

Таблица 7 – Характеристика почв различных зон города

Зоны города	Значение Zc		Формула геохимической специализации
	Пределы колебания	В среднем по ареалу	
Северная промзона	11,5-235,8	72,3	Zn <sub>39,7</sub> Cd <sub>19,1</sub> Cu <sub>9,6</sub> Pb <sub>6,6</sub>
Северо-восточная промзона	5,7-66,5	25,4	Zn <sub>11,9</sub> Cd <sub>9,2</sub> Cu <sub>4,9</sub> Pb <sub>4,1</sub>
Центральная (селитебная)	5,8-52,7	17,3	Zn <sub>8,9</sub> Cd <sub>3,6</sub> Cu <sub>2,9</sub> Pb <sub>2,3</sub>
Восточный пригород	1,6-32,9	10,5	Zn <sub>6,1</sub> Cd <sub>2,7</sub> Cu=Pb <sub>1,9</sub>
Общее по городу	5,7-235,8	32,1	Zn <sub>20,5</sub> Cd <sub>8,2</sub> Cu <sub>3,9</sub> Pb <sub>2,6</sub>

Почвы селитебной зоны и северо-восточной промышленной зоны относятся к средней степени загрязнения ( $Z_c=25,4$  и  $17,3$  соответственно), почвы северной промышленной зоны – к высокой степени загрязнения ( $Z_c=72,3$ ), почвы восточного пригорода – к допустимому уровню загрязнения ( $Z_c=10,5$ ).

### Выводы

1. Содержание кислоторастворимой формы исследованных металлов в почвах данного промышленного города подчиняется общим законо-

мерностям – влияние содержания гумуса, гранулометрического состава, обменных катионов, реакций среды почвенного раствора и их валового запаса.

2. По степени накопления кислоторастворимой формы тяжелых металлов почвы располагаются в следующем убывающем ряду: лугово-черноземные > пойменные луговые черноземные > черноземы обыкновенные > черноземы южные.

3. Концентрации тяжелых металлов в почвах меняются в зависимости от удаленности от крупных промышленных центров и направления преобладающих ветров.

### Литература

- Xiangyang Bi, Mohai Zhang, Yunjie Wu, Zhongbiao Fu, Guangyi Sun, Lihai Shang, Zhonggen Li, Pengcong Wang. Distribution patterns and sources of heavy metals in soils from an industry undeveloped city in Southern China // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. -2020. No 205.
- Jia, Z.Y., Wang, J.X., Zhou, X.D., Zhou, Y.J. Identification of the sources and influencing factors of potentially toxic elements accumulation in the soil from a typical karst region in Guangxi, Southwest China // *Environ. Pollut.* -2020. No 256.
- Liang, S., Cui, J., Bi, X., Luo, X., Li, X. Deciphering source contribution of trace metal contamination in urban soil, road dust, and foliar dust of Guangzhou, southern China // *Sci. Total Environ.* -2019. 695, 133596.
- Liu, L., Liu, Q., Ma, J., Wu, H., Qu, Y., Gong, Y., Yang, S., An, Y., Zhou, Y. Heavy metal(loid)s in the topsoil urban parks in Beijing, China: concentrations, potential sources, and risk assessment // *Environ. Pollut.* -2020. 260, 114083.
- Bi, X.Y., Li, Z.G., Wang, S.X., Zhang, L., Xu, R., Liu, J.L., Yang, H.M., Guo, M.Z. Lead isotopic compositions of selected coals, Pb/Zn ores and fuels in China and the application for source tracing // *Environ. Sci. Technol.* -2017. No 51 (22), -P. 13502–13508.
- Krzyzanowski P.K., Lee, S.S., Zhang, M., Tsang, Y.F., Kim, K.H. Heavy metals in food crops: health risks, fate, mechanisms, and management // *Environment International*. -2019. -P. 365–385. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.067>.
- Marta Crispo, Miriam C. Heavy metals and metalloids concentrations across UK urban horticultural soils and the factors influencing their bioavailability to food crops // *Environmental Pollution*. -2021. 288, 117960
- Rose M., Julius K., Stephen N., Mailu A. Heavy metal contamination of water, soil and vegetables in urban streams in Machakos municipality // *Kenya Scientific African*. – 2020. No 9.
- L. Yang, G. Zhu, H. Pan, P. Shi, J. Li, Y. Liu, H. Tong Surface dust heavy metals in the major cities, China // *Environmental Earth Science*. – 2017. – V. 76. – P. 757–771.
- Stearns J.C., Shah S., Glick B.R. Increasing plant tolerance to metals in the environment. *Phytoremediation: Methods and Reviews*. Humana Press // -2006. P. 15-26.
- Asmaa A., Hamad Khalid H. The Accumulation Risk of Heavy Metals in Vegetables which Grown in Contaminated Soil // *Baghdad Science Journal*.- 2021. No 18(3). – P. 471-479 <https://doi.org/10.17159/wsa/2020.v46.i2.8244>
- Mohamed Y. Health risk assessment quantification from heavy metals contamination in the urban soil and urban surface deposited sediment // *Journal of Taibah University for Science*. – 2020. No 14:1. – P. 285-293. DOI: 10.1080/16583655.2020.1735735
- Babra Moyo, Vhahangwele Matodzi, Malebogo A. Determination of Cd, Mn and Ni accumulated in fruits, vegetables and soil in the Thohoyandou town area, South Africa Water // *SA*. -2020. No 46(2). – P. 285–290.

14. Yelikbayev B.K., Marcela C., Jamalova G.A. Hyperaccumulator plants for phytoremediation of soil contaminated with heavy metals // *Bulletin of national academy of sciences of the republic of Kazakhstan*. -2020. -Vol. 5, No 387 – P. 34 – 40. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.140>
15. Жарикова Е.А. Тяжелые металлы в городских почвах: оценка содержания и экологического риска// *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. -2021.- Т. 332. -№ 1. С.164–173
16. Жарикова Е.А. Особенности агрохимических свойств и элементного состава почв урбанизированных ландшафтов (на примере г. Уссурийска) // *Вестник Алтайского ГАУ*. – 2019. – № 3. – С.71–76.
17. Мамбетказиева Р.А., Данилова А.Н., Мамбетказиев Э.А. Региональные особенности природной среды Восточного Казахстана // *Вестник КАСУ*. -2011. №6.- С.35-39.
18. Woszczyk M., Spychalski W., Boluspaeva L. Trace metal (Cd, Cu, Pb, Zn) fractionation in urban-industrial soils of Ust-Kamenogorsk (Oskemen), Kazakhstan-implications for the assessment of environmental quality // *Environ Monit Assess*. -2018. No190 (6). P.362 (1-16).
19. Zhumadilov K., Ivannikov A., Zharlyganova D., Zhumadilov Z., Stepanenko V., Apsalikov K., Ali MR., Zhumadilova A., Toyoda S., Endo S., Tanaka K., Okamoto T., Hoshi M. ESR dosimetry study on population of settlements nearby Ust-Kamenogorsk city, Kazakhstan // *Radiat Environ Biophys*. -2009. No 48(4).- P.419-425.
20. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан, январь 2021, Министерство экологии, геологии и природных ресурсов, РГП «Казгидромет»
21. Cherednichenko V.S., Cherednichenko A.V., Cherednichenko Al.V., Zheksenbaeva A.K., Madibekov A.S. Heavy metal deposition through precipitation in Kazakhstan// *Heliyon*. -2021.No 7.
22. ГОСТ 5681-84. Полевые исследования почвы. Порядок и способ определения работ. Основные требования к результатам. – М.: Изд-во стандартов, 1984.
23. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. – М.: Изд-во стандартов, 1989.
24. ГОСТ 4979-49. Почвы. Отбор, хранение и транспортировка проб. – М.: Изд-во стандартов, 1980.
25. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв при контроле загрязнения окружающей среды металлами.-М.: Метеоиздат,1982. – 109 с.
26. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. – М., 1982
27. Плохинский Н.А. Биометрия. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1970. –С. 367.
28. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – С. 151.
29. Сагит Ю.Е., Баршакевич И.Л., Ревич Б.А. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 111 с.
30. Сагит Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – С.334.

## References

1. Xiangyang Bi, Mohai Zhang, Yunjie Wu, Zhongbiao Fu, Guangyi Sun, Lihai Shang, Zhonggen Li, Pengcong Wang. Distribution patterns and sources of heavy metals in soils from an industry undeveloped city in Southern China// *Ecotoxicology and Environmental Safety*. -2020. No 205.
2. Jia, Z.Y., Wang, J.X., Zhou, X.D., Zhou, Y.J. Identification of the sources and influencing factors of potentially toxic elements accumulation in the soil from a typical karst region in Guangxi, Southwest China // *Environ. Pollut*. -2020. No 256.
3. Liang, S., Cui, J., Bi, X., Luo, X., Li, X. Deciphering source contribution of trace metal contamination in urban soil, road dust, and foliar dust of Guangzhou, southern China // *Sci. Total Environ*. -2019. 695, 133596.
4. Liu, L., Liu, Q., Ma, J., Wu, H., Qu, Y., Gong, Y., Yang, S., An, Y., Zhou, Y. Heavy metal(loid)s in the topsoil urban parks in Beijing, China: concentrations, potential sources, and risk assessment // *Environ. Pollut*. -2020. 260, 114083.
5. Bi, X.Y., Li, Z.G., Wang, S.X., Zhang, L., Xu, R., Liu, J.L., Yang, H.M., Guo, M.Z. Lead isotopic compositions of selected coals, Pb/Zn ores and fuels in China and the application for source tracing // *Environ. Sci. Technol*. -2017. No 51 (22), -P. 13502–13508.
6. Krzyzanowski P.K., Lee, S.S., Zhang, M., Tsang, Y.F., Kim, K.H. Heavy metals in food crops: health risks, fate, mechanisms, and management// *Environment International*. -2019. -P. 365–385. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.067>.
7. Marta Crispo, Miriam C. Heavy metals and metalloids concentrations across UK urban horticultural soils and the factors influencing their bioavailability to food crops // *Environmental Pollution*. -2021. 288, 117960
8. Rose M., Julius K., Stephen N., Mailu A. Heavy metal contamination of water, soil and vegetables in urban streams in Machakos municipality // *Kenya Scientific African*. – 2020. No 9.
9. L. Yang, G. Zhu, H. Pan, P. Shi, J. Li, Y. Liu, H. Tong Surface dust heavy metals in the major cities, China // *Environmental Earth Science*. – 2017. – V. 76. – P. 757–771.
10. Stearns J.C., Shah S., Glick B.R. Increasing plant tolerance to metals in the environment. *Phytoremediation: Methods and Reviews*. Humana Press // -2006. P. 15-26.
11. Asmaa A., Hamad Khalid H. The Accumulation Risk of Heavy Metals in Vegetables which Grown in Contaminated Soil // *Baghdad Science Journal*.- 2021. No 18(3). – P. 471-479 <https://doi.org/10.17159/wsa/2020.v46.i2.8244>
12. Mohamed Y. Health risk assessment quantification from heavy metals contamination in the urban soil and urban surface deposited sediment // *Journal of Taibah University for Science*. – 2020. No 14:1. – P. 285-293. DOI: 10.1080/16583655.2020.1735735

13. Babra Moyo, Vhahangwele Matodzi, Malebogo A. Determination of Cd, Mn and Ni accumulated in fruits, vegetables and soil in the Thohoyandou town area, South Africa Water //SA. -2020. No 46(2). – P. 285–290.
14. Yelikbayev B.K., Marcela C., Jamalova G.A. Hyperaccumulator plants for phytoremediation of soil contaminated with heavy metals //Bulletin of national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. -2020. -Vol. 5, No 387 – P. 34 – 40. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.140>
15. Jarikova E.A. «Tyajelie metalli v gorodskih pochvah: ocenka soderjaniya i ekologicheskogo riska» Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Injiniiring georesursov, no 1(2021): 164–173.
16. Jarikova E.A. «Osobennosti agrohimicheskikh svoystv i elementnogo sostava pochv urbanizirovannih landshaftov na primere g. Ussurijsk». Vestnik Altaiskogo GAU, no 3. (2019): 71–76.
17. Mambetkazieva R.A., Danilova A.N., Mambetkaziev E.A. «Regional’nye osobennosti prirodnoi sredy Vostochnogo Kazakhstana». Vestnik KASU, no 6 (2011): 35-39.
18. Woszczyk M., Spsychalski W., Boluspaeva L. «Trace metal (Cd, Cu, Pb, Zn) fractionation in urban-industrial soils of Ust-Kamenogorsk (Oskemen), Kazakhstan-implications for the assessment of environmental quality». Environ Monit Assess. no 190 (6). (2018): 362 (1-16). K., Ivannikov A.,
19. Zharlyganova D., Zhumadilov Z., Stepanenko V., Apsalikov K., Ali MR., Zhumadilova A., Toyoda S., Endo S., Tanaka K., Okamoto T., Hoshi M. «ESR dosimetry study on population of settlements nearby Ust-Kamenogorsk city, Kazakhstan». Radiat Environ Biophys, no 48(4). 2009: 419–425.
20. Informacionnyj byulleten’ o sostoyanii okruzhayushchej sredy Respubliki Kazahstan, yanvar’ 2021, Ministerstvo ekologii, geologii i prirodnyh resursov, RGP «Kazgidromet»
21. Cherednichenko V.S., Cherednichenko A.V., Cherednichenko Al.V., Zheksenbaeva A.K., Madibekov A.S. «Heavy metal deposition through precipitation in Kazakhstan». Heliyon, no 7 (2021).
22. GOST 5681-84. Polevye issledovaniya pochvy. Poryadok i sposob opredeleniya rabot. Osnovnye trebovaniya k rezul’tatam. M.: Izd-vo standartov, 1984.
23. GOST 28168-89. Pochvy. Otbor prob. M.: Izd-vo standartov, 1989.
24. GOST 4979-49. Pochvy. Otbor, hranenie i transportirovka prob. M.: Izd-vo standartov, 1980.
25. Metodicheskie rekomendacii po provedeniyu polevyh i laboratornyh issledovanij pochv pri kontrole zagryazneniya okruzhayushchej sredy metallami. M.: Meteozdat, 1982.
26. Metodicheskie rekomendacii po geohimicheskoy ocenke zagryazneniya territorii gorodov himicheskimi elementami. M.: 1982
27. Plohinskij N.A. Biometriya. M.: Izd-vo Mosk. Un-ta, 1970.
28. Il’in V.B. Tyazhelye metalli v sisteme pochva-rastenie. Novosibirsk: Nauka, 1991.
29. Saet Yu.E., Barshakevich I.L., and Revich B.A. Metodicheskie rekomendacii po geohimicheskoy ocenke istochnikov zagryazneniya okruzhayushchej sredy. M.: IMGRE, 1982.
30. Saet Yu. E., Revich B.A., and Yanin E.P. Geohimiya okruzhayushchej sredy. M.: Nedra, 1990.