

Тяжелые металлы в почвах города Усть-Каменогорска Республики Казахстан

Л. С. БОЛУСПАЕВА, М. С. ПАНИН*

Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова
070020, Республика Казахстан, Усть-Каменогорск, ул. Революционная, 2а
E-mail: boluspaeva82@mail.ru

* Семипалатинский государственный педагогический институт
071410, Республика Казахстан, Семей, ул. Танирбергенова, 1
E-mail: pur@sgpi.kz

АННОТАЦИЯ

Определено валовое содержание тяжелых металлов – Zn, Pb, Cu, Cd в почвах г. Усть-Каменогорска Республики Казахстан. Выявлена мозаичность их содержания в зависимости от источников выбросов. Установлены участки города, имеющие максимальное накопление тяжелых металлов.

Ключевые слова: почвы, тяжелые металлы, буферность почв, физико-химические свойства почв, суммарный показатель загрязнения.

Усть-Каменогорск – крупнейший промышленный город на северо-востоке Республики Казахстан. Общая площадь 230 км², население – 299,6 тыс. чел. (по состоянию на 1 июля 2009 г.). По данным 2009 г. в городе зарегистрировано 406 предприятий, имеющих 3217 организованных и 2484 неорганизованных стационарных источников выбросов загрязняющих веществ. К наиболее крупным промышленным предприятиям относятся Усть-Каменогорский металлургический комбинат (УКМК) ТОО “Казцинк”, АО “AES Усть-Каменогорская ТЭЦ”, АО “Ульбинский-металлургический завод”, АО “Усть-Каменогорский титано-магниевого комбинат”, ТОО Согринская ТЭЦ. Их доля составляет до 70 % от общего загрязнения атмосферы города. Кроме того, в черте города имеется большое количество различных предприятий приборо- и машиностроения, строительной индустрии, лесопереработки, легкой и пищевой промышленнос-

ти, транспорта, сельского и коммунального хозяйства и других, “разбросанных” по областному центру без всякой закономерности.

Характерной особенностью промышленной застройки Усть-Каменогорска является отсутствие “буферных” зон: промышленные гиганты буквально “вмонтированы” в жилые зоны областного центра.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу Усть-Каменогорска в 2009 г. составили 65,470 тыс. т, в том числе такие чрезвычайно опасные по воздействию на человеческий организм вещества, как свинец и его соединения – 23,882; оксид меди – 21,423; кадмий – 0,001 т/год [1].

Исследования по оценке опасности загрязнения почвенного покрова Усть-Каменогорска токсичными компонентами имеют многолетнюю историю. Наиболее ранними являются исследования Госкомгидромета и Института экспериментальной метеорологии (ИЭМ, г. Обнинск, Россия) в 1976–1979 гг. по изучению

загрязнения почв тяжелыми металлами от промышленных выбросов предприятий цветной металлургии (район современного УК МК ТОО “Казцинк”). Подтверждено известное положение о низких транспортных возможностях аэрозолей меди – основная часть выпадений на почвы фиксируется в 5-километровой зоне вокруг комбината.

В 1989–1992 г. Алтайской геолого-геофизической экспедицией ПГО “Востказгеология” оценено по редкой сети техногенное загрязнение почвенного и снегового покрова территории города. С ликвидацией Алтайской экспедиции отчетные материалы были утрачены.

В 2001 г. специалистами Алтайского отдела института геологических наук (г. Алматы) изучены ландшафты Усть-Каменогорска и его окрестностей, в том числе с отбором почвенных проб. Выявлено, что значительные участки территорий загрязнены тяжелыми металлами [2].

Однако проблема загрязнения почв города тяжелыми металлами изучена недостаточно, не проведена систематизация параметров распространения тяжелых металлов в почве. Ранее проведенные лабораторные анализы осуществлены полуколичественным спектральным методом, имеющим невысокие чувствительность и надежность, не рассмотрена взаимосвязь концентрирования тяжелых металлов в зависимости от физико-химических свойств почв, в силу дороговизны аналитики не проводили исследования их подвижных форм и фазового состава, что не позволяет сделать выводы по влиянию загрязненных почв на биоту.

Цель работы – оценить современное состояние почв Усть-Каменогорска на основе изучения валового содержания тяжелых металлов Zn, Pb, Cu, Cd для дальнейшего исследования их накопления в овощных культурах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Почвенные исследования проводили на всей территории Усть-Каменогорска. Отбор проб почв, их транспортировка, хранение и подготовка к анализу осуществлялись согласно ГОСТ 5681-84, 28168-89, 4979-49 [3–5] и

методическим рекомендациям [6, 7]. Исследовали широко распространенные гумусовые горизонты (0–20 см) черноземных почв: черноземы обыкновенные, черноземы южные, пойменные луговые, лугово-черноземные (типы почв указаны согласно классификации [8]). Отобрано и проанализировано 328 проб почвы из четырех зон: северной (промышленной), северо-восточной (промышленной), центральной (селитебной) и восточного пригорода (рис. 1).

Северная промышленная зона приурочена к промплощадкам ТОО “Казцинк”, АО “Ульбинский металлургический завод”, АО “AES Усть-Каменогорская ТЭЦ” и территориям, непосредственно прилегающим к ним. Северо-восточная промышленная зона включает АО “Усть-Каменогорский титано-магнийевый комбинат” и Согринскую ТЭЦ. В селитебную зону входит значительная часть жилых массивов областного центра. В восточную пригородную зону входят: комбинат шелковых тканей, левый берег, Аблакетка и жилые массивы, примыкающие к Усть-Каменогорской ГЭС.

Фоновые пробы почв взяты в 80 км от города в противоположную сторону от розы ветров. В качестве фоновых выбраны черноземы обыкновенные, характеризующиеся нейтральной реакцией среды – рН 7,2, среднегумусированные – 7,1 %, среднесуглинистые, физическая глина – 41,7 %, ЕКО – 28,2 мг-экв/100 г.

Валовое содержание тяжелых металлов определяли методом атомной абсорбции на спектрофотометре фирмы Perkin Elmer модель 403 с электротермическим анализатором HGA-74 и дейтериевым корректором фона. Чувствительность – 0,0002 г/т.

Физико-химические свойства почв определяли в соответствии с общепринятыми методами исследований [9]: рН водной вытяжки – потенциометрическим методом, содержание гумуса – по методу Тюрина, механический состав почв – по методу Качинского. Буферность почв по отношению к тяжелым металлам оценивали согласно градуации, разработанной В. Б. Ильиным [10].

Статистическая обработка полученных в ходе исследования данных проводилась по Н. А. Плохинскому [11] с использованием программы Microsoft® Excel.

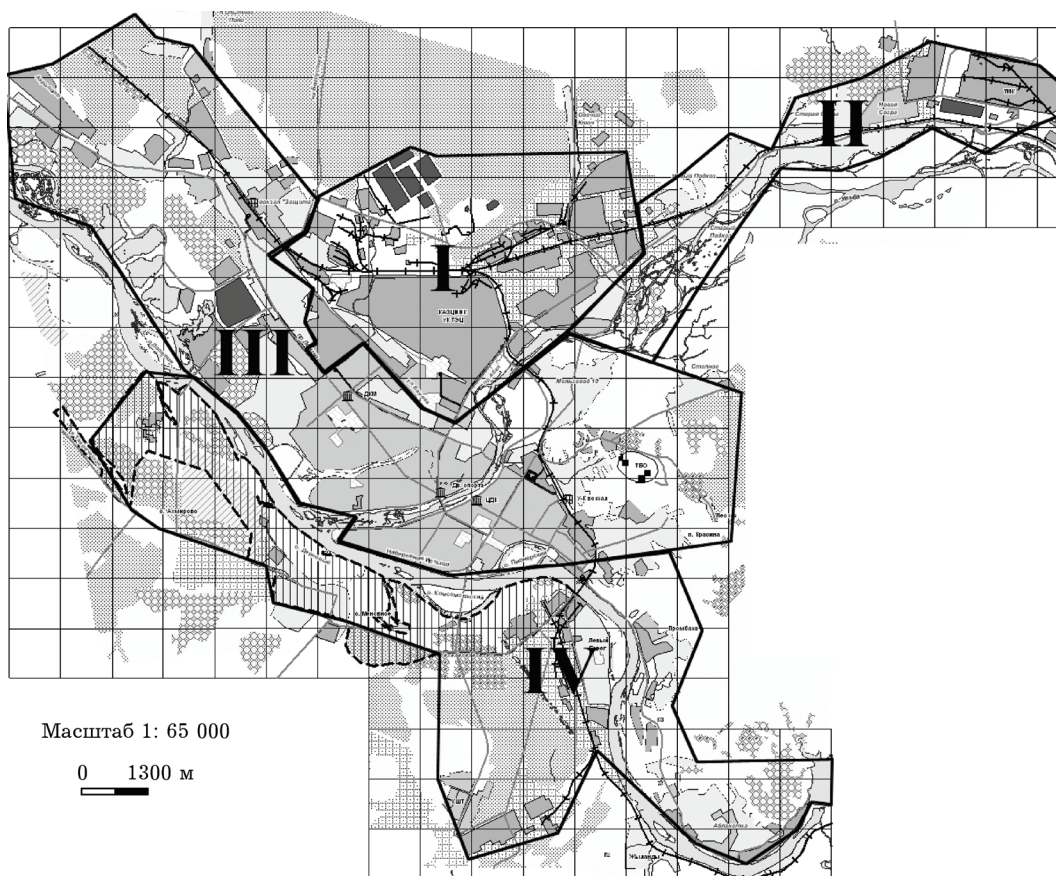


Рис. 1. Карта-схема зон Усть-Каменогорска: I – северной промышленной, II – северо-восточной промышленной, III – центральной селитебной, IV – восточной пригородной

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате антропогенной деятельности свойства почв города значительно изменились, в частности содержание органического вещества, тонкодисперсных минеральных частиц и рН (табл. 1).

Почвы характеризуются нейтральной и слабощелочной реакцией (рН от 6,7–8,0), слабо- и среднегумусированные (1,3–5,0 %), механический состав от легко- до тяжелосуг-

линистых, физическая глина – от 16 до 49 %. Емкость катионного обмена колеблется в пределах 9,7–36 мг-экв/100 г.п.

Черноземы обыкновенные, луговые и южные обладают средней буферностью (25,0–28,5 баллов), а пойменные луговые черноземные почвы – низкой буферностью (20,0 баллов) по шкале В. Б. Ильина.

Валовое содержание тяжелых металлов в почвах города колеблется в широких пределах (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Физико-химическая характеристика исследуемых почв (глубина 0–20 см) (n = 328)

Почвы	рН _{водн}	Гумус, %	ЕКО, мг-экв/100 г	Физическая глина, %	Буферность, балл
Черноземы обыкновенные	6,6–8,0	3,2–5,0	14,0–36,0	24,0–49,0	25,0
Лугово-черноземные	6,2–7,9	2,2–4,3	18–27,7	32,0–42,0	28,5
Пойменные луговые черноземные	6,9–7,8	1,9–4,0	9,7–20,0	16,0–25,0	20,0
Черноземы южные	6,7–8,0	1,3–5,0	17–24,4	21,0–42,0	27,5

Т а б л и ц а 2

**Вариационно-статистические показатели валового содержания тяжелых металлов
в почвах Усть-Каменогорска (n = 328)**

Элемент	$\bar{x} \pm S\bar{x}$, мг/кг	σ	C_v , %	Lim, мг/кг	ПДК [12]	Доля проб, %, выше ПДК	Фон
Cu	84,7 ± 2,1	38,2	45,1	15,6–489,2	33	84	21,4
Zn	306,8 ± 17,0	307,5	100,2	13,4–3821,4	23	94,8	67,4
Cd	2,5 ± 0,1	1,8	74,3	0,2–20,4	0,5	79,2	0,2
Pb	59,5 ± 0,9	17,5	29,4	9,3–189,5	32	76,2	17,8

Т а б л и ц а 3

Сравнительная оценка содержания химических элементов в почвах Усть-Каменогорска, мг/кг (n = 328)

Элемент	Среднее содержание	Кларк в земной коре по А. П. Виноградову	Кларк в земной коре по С. Р. Тейлору	Кларк в почве по А. П. Виноградову	Региональный кларк в почве ВКО [2]
Cu	84,7	47	55	20	59
Zn	306,8	83	70	50	125
Cd	2,49	0,13	0,2	0,5	0,7
Pb	59,5	16	12,5	10	22

По величине среднего валового содержания исследуемые элементы располагаются в следующем убывающем порядке: Zn > Cu > Pb > Cd. Коэффициент варьирования валового содержания тяжелых металлов колеблется от 29,4 (Pb) до 100,2 % (Zn).

Выявлена мозаичность валового содержания исследуемых металлов. В почвах города максимальное количество цинка превышало минимальное в 285,2 раза, кадмия – в 127,5, меди – в 31,4, свинца – в 20,4 раза.

В 76 % исследованных проб почв валовое содержание свинца превышает отечественные ПДК в 1,1–5,9 раза; в 84 % проб по меди – в 1,1–14,8, в 79 % проб по кадмию – в 1,04–40,8, в 95 % проб по цинку – в 1,1–16 раз.

Средняя концентрация свинца превышает фон в 1,7 раза, кадмия – в 13,1, цинка – в 4,5, меди – в 3,9 раза.

О степени накопления элементов почвами говорит сравнение их с кларками в почве и земной коре (табл. 3).

Т а б л и ц а 4

Содержание тяжелых металлов в почвах различных зон Усть-Каменогорска, мг/кг

Элемент	Северная промышленная (n = 77)	Северо-восточная промышленная (n = 85)	Центральная селитебная (n = 97)	Восточный пригород (n = 69)
Cu	$139,1 \pm 7,2$ 28,7–489,2	$90,9 \pm 3,2$ 38,2–230,9	$66,9 \pm 1,6$ 28,8–164,3	$45,7 \pm 1,4$ 15,6–106,8
Zn	$852,6 \pm 62,1$ 78,6–3821,4	$143,3 \pm 10,4$ 51,2–698,6	$159,6 \pm 6,2$ 38,6–521,5	$108,4 \pm 5,0$ 13,4–320,6
Pb	$95,5 \pm 2,2$ 38,3–189,5	$63,0 \pm 1,8$ 29,6–121,3	$43,6 \pm 1,0$ 17,6–96,7	$38,4 \pm 1,3$ 9,3–83,8
Cd	$5,8 \pm 0,3$ 0,9–20,4	$2,36 \pm 0,2$ 0,52–10,8	$1,1 \pm 0,04$ 0,2–3,3	$0,9 \pm 0,1$ 0,2–2,9

П р и м е ч а н и е. Здесь и в табл. 5 в числителе – средняя арифметическая и ее ошибка; в знаменателе – предел колебаний.

Валовое содержание тяжелых металлов в различных типах почв функциональных зон Усть-Каменогорска

Функциональная зона	Почвы	Cu	Zn	Pb	Cd
Северная промышленная	Лугово-черноземные (n = 77)	139,1	852,6	95,5	5,8
		28,7–489,2	76,6–3821,4	38,3–189,5	0,85–20,4
Центральная селитебная	Пойменные луговые черноземные (n = 87)	64,9	137,4	38,5	0,9
		28,7–158,9	38,6–415,8	17,6–82,3	0,2–2,8
	Черноземы обыкновенные (n = 10)	77,4	220,6	57,1	1,3
Восточная пригородная	Черноземы южные (n = 64)	32,9	59,9	31,2	0,6
		15,6–69,7	13,4–198,7	9,3–83,8	0,16–1,96
	Черноземы обыкновенные (n = 5)	81,4	243,9	58,7	1,9
Северо-восточная промышленная	То же (n = 75)	97,9	167,6	67,9	2,5
		40,1–230,9	52,3–698,6	30,6–121,3	0,5–10,8
	Пойменные луговые черноземные (n = 10)	79,6	122,9	61,0	1,9
		38,2–180,8	51,2–420,6	29,6–116,7	0,6–6,9

Средняя концентрация меди превышает кларк в земной коре по А. П. Виноградову в 1,8 раза, цинка и свинца – в 3,7, кадмия – в 19,2 раза. Также наблюдается превышение от 1,5 (медь) до 12,5 (кадмий) раза кларков в земной коре по С. Р. Тейлору.

При сравнении наших данных с ранее полученными [13] для этого региона установлено, что среднее содержание меди в почвах с 2000 по 2007 г. увеличилось в 2,5 раза, свинца – в 2, цинка – в 3,4, кадмия – в 4,3 раза.

Уровень концентрации исследуемых элементов в почвах различных зон неодинаков (табл. 4).

Наибольшие концентрации валового содержания исследуемых металлов обнаружены в почвах северной промзоны. Здесь сосредоточены такие крупные промышленные предприятия, как УК МК ТОО “Казцинк”, АО “Ульбинский металлургический завод”, АО “AES Усть-Каменогорская ТЭЦ”, Усть-Каменогорский машзавод. По составу и количеству выбрасываемых веществ в атмосферу УК МК ТОО “Казцинк” отнесено к предприятиям первой категории опасности. Так, в 2005 г. валовые выбросы в атмосферу УК МК ТОО “Казцинк” составили 52,4 тыс. т, в 2006 г. – 52,9, в 2007 г. – 50,9 тыс. т.

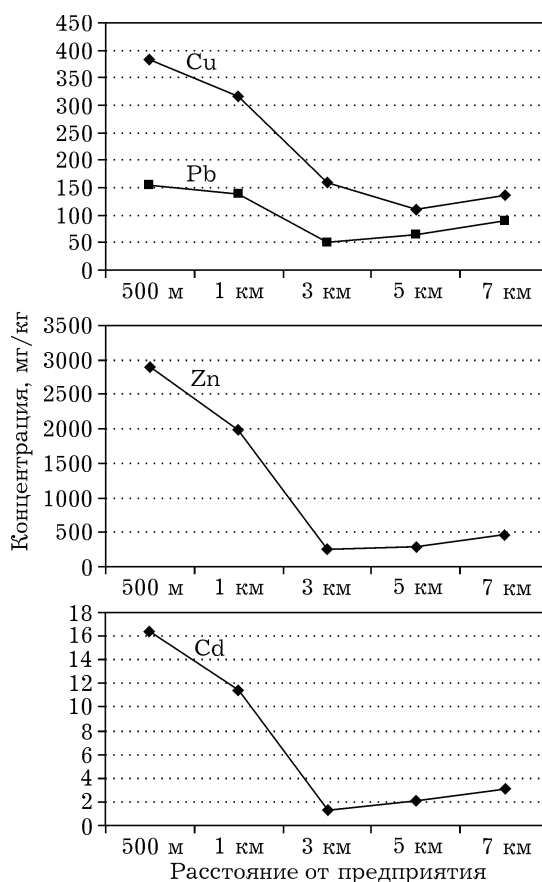


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов в почвах в зависимости от расстояния от предприятия УК МК ТОО “Казцинк”

Сравнительная характеристика отдельных ареалов загрязнения почв Усть-Каменогорска

Ареал загрязнения	Значение Zc		Формула геохимической специализации
	пределы колебания	в среднем по ареалу	
Северная промзона	7,5–169,4	52,2	$Cd_{44,6} Zn_{10,3} Pb_{6,0} Cu_{2,9}$
Северо-восточная промзона	4,6–73,8	19,2	$Cd_{18,1} Pb_{3,9} Cu_{1,9} Zn_{1,7}$
Центральная селитебная зона	8,8–36,1	12,3	$Cd_{8,5} Pb_{2,7} Zn_{1,9} Cu_{1,4}$
Восточный пригород	2,8–28,9	10,8	$Cd_{6,9} Pb_{2,4} Zn_{1,3} Cu_{1,0}$
Общее по городу	2,8–169,4	25,1	$Cd_{19,2} Pb=Zn_{3,7} Cu_{1,8}$

В этой зоне концентрации 100 % исследованных проб почв превышают не только фоновое значение, но и ПДК исследуемых тяжелых металлов. Установлено, что средняя концентрация меди в почвах северной промзоны в 1,5 раза выше таковой в почвах северо-восточной промышленной зоны, в 2,1 раза – в почвах центральной селитебной зоны и в 3 раза – в почвах восточного пригорода.

В районе воздействия АО УК “Титано-магниевый комбинат” и ТОО Согринская ТЭЦ также наблюдается высокая концентрация

исследуемых элементов. Так, среднее содержание меди в почвах северо-восточной промзоны превышает таковое в почвах восточного пригорода в 1,8 раза, цинка – в 1,3, свинца – в 1,6, кадмия – в 2,6 раза.

Наименьшие концентрации исследуемых металлов характерны для почв восточного пригорода, что объясняется их удаленностью от крупных промышленных предприятий.

При одинаковых условиях загрязнения в различных почвах накапливается разное количество тяжелых металлов (табл. 5).

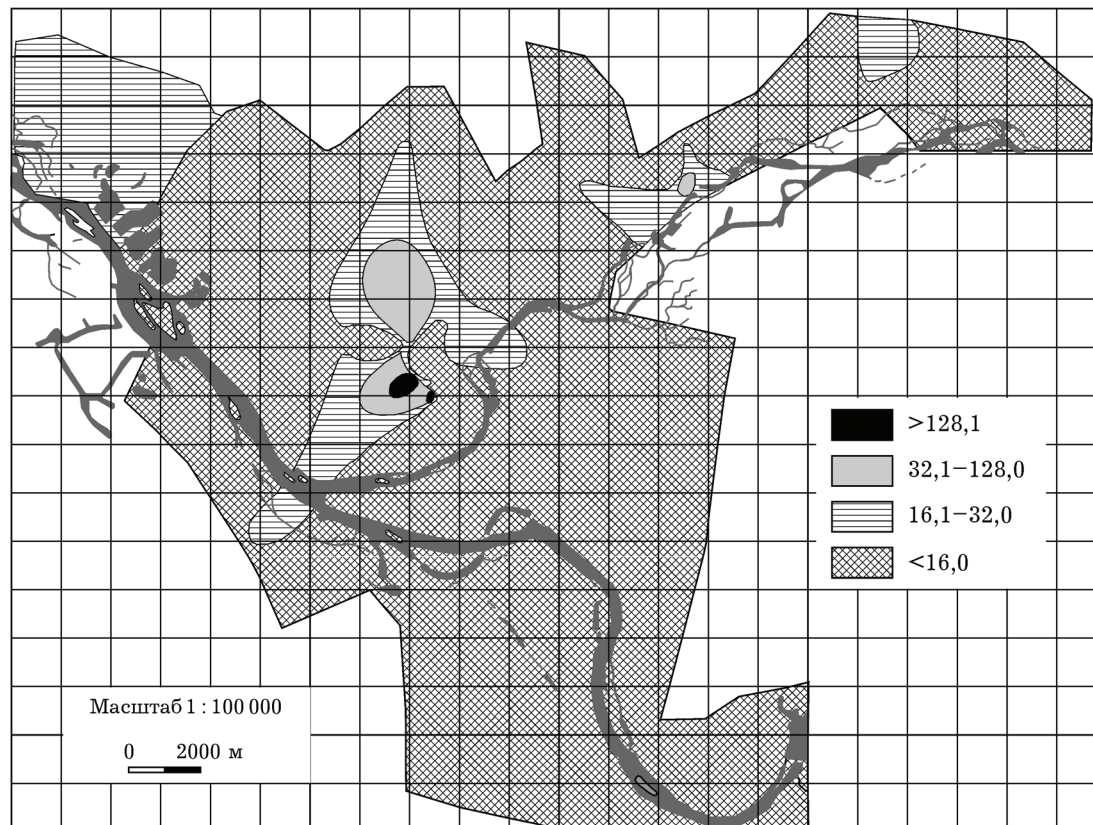


Рис. 3. Карта-схема распределения суммарного коэффициента загрязнения тяжелыми металлами (валовое содержание) почв Усть-Каменогорска

Классы содержания химических элементов в почвах Усть-Каменогорска

Элемент	Класс содержания, мг/кг	Доля проб, %	Площадь города, га
Cu	<40,0	26,3	60 490
	40,1–70,0	30,3	69 690
	70,1–100,0	25,0	57 500
	>100,1	18,4	42 320
Zn	<50,0	15,8	36 340
	50,1–100,0	35,5	81 650
	100,1–200,0	22,4	51 520
Cd	>200,1	26,3	60 490
	<1,0	46,1	106 030
	1,01–2,0	26,3	60 490
Pb	2,1–5,0	17,1	39 330
	>5,1	10,5	24 150
	<30,0	23,7	54 510
Pb	30,1–60,0	30,2	69 460
	60,1–100,0	34,2	78 660
	>100,1	11,9	27 370

Черноземы обыкновенные в центральной селитебной зоне менее загрязнены, чем в восточной и северо-восточной, но содержат больше тяжелых металлов, чем пойменные луговые черноземные почвы той же зоны. Такие колебания в содержании тяжелых металлов в пределах одной зоны связаны с физико-химическими свойствами почв и их неодинаковой буферностью.

Установлено, что по мере удаления от промышленных предприятий концентрация тяжелых металлов в почвах постепенно уменьшается (рис. 2).

Содержание Cu в почвах на расстоянии от 500 м до 7 км от УК МК ТОО “Казцинк” уменьшилось в 2,8 раза, Zn – в 6,1, Cd – в 5,4, Pb – в 1,7 раза соответственно.

Дана оценка состояния почв по суммарному содержанию загрязняющих почвы элементов (табл. 6; рис. 3).

В целом для почв города характерна кадмиево-свинцовая геохимическая специализация. Согласно классификации Саета [14], загрязнения почв селитебной зоны и восточного пригорода относятся к допустимому уровню, северо-восточной зоны – к среднему, северной промышленной зоны – к высокому.

В почвах северной промзоны Z-образующими металлами являются кадмий и цинк, в почвах северо-восточной промышленной, цент-

ральной селитебной и восточной пригородной зон – кадмий и свинец.

Определены классы содержания исследуемых тяжелых металлов в почвах города (табл. 7).

Самый высокий класс валового содержания меди (40,1–70,0) составляют 30,3 % исследованных проб, соответственно цинка (50,1–100) – 35,5 кадмия (<1,0) – 46,1, свинца (60,1–100,0) – 34,2 %.

ВЫВОДЫ

1. По физико-химическим показателям исследуемые почвы значительно различаются. В целом характеризуются нейтральной и слабощелочной реакцией – рН от 6,7–8,0, слабо- и среднегумусированные (самыми бедными являются пойменные луговые черноземные), емкость катионного обмена колеблется в пределах 9,7–36 мг-экв/100 г. п. Исследуемые почвы характеризуются средней (черноземы обыкновенные, луговые и южные) и низкой (пойменные луговые черноземные) степенью буферности.

2. Средняя валовая концентрация химических элементов в почвах в 1,8–19,2 раза выше их кларка в земной коре и в 4,2–6,1 раза – их кларка в почве. В 76,2–95 % проб содержание исследуемых металлов превышает их ПДК.

3. Загрязнение почв носит полиметаллический характер и распределяется по территории мозаично, образуя очаги в зависимости от источников выбросов.

4. По мере удаления от крупных промышленных предприятий концентрация тяжелых металлов в почвах постепенно снижается. Наибольшее накопление исследуемых металлов в почвах наблюдается в северо-западном направлении от УК МК ТОО “Казцинк”.

5. Загрязнение почв селитебной зоны и зоны восточного пригорода относится к допустимому уровню, северо-восточной зоны – к среднему, северной промышленной зоны – к высокому.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет Восточно-Казахстанского областного департамента статистики “О состоянии атмосферного воздуха в ВКО”, 2009 г.
2. Самакова А. Б., Белоног А. А., Якупов В. С. и др. Комплексная оценка экологии и здоровья населения промышленного города. Алматы: Багира ЛТД, 2005. 372 с.
3. ГОСТ 5681-84. Полевые исследования почвы. Порядок и способ определения работ. Основные требования к результатам. М.: Изд-во стандартов, 1984.
4. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. М.: Изд-во стандартов, 1989.
5. ГОСТ 4979-49. Почвы. Отбор, хранение и транспортировка проб. М.: Изд-во стандартов, 1980.
6. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Метеоиздат, 1982. 109 с.
7. Ревич Б. А., Сагит Ю. Е., Смирнова Р. С., Сорокина Е. П. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. М., 1982.
8. Основные диагностические показатели почв горных и предгорных территорий Казахской ССР. Т. I. П. Алма-Ата: Казахский государственный проектный институт по землеустройству “Казгипрозем”, 1989. 182 с.
9. Агрохимические методы исследований почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
10. Ильин В. Б., Сысо А. И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
11. Плохинский Н. А. Биометрия. М.: Изд-во Моск. унта, 1970. 367 с.
12. Совместный приказ Министерства здравоохранения Республики Казахстан (от 30.01 2004 г.) и Министерства охраны окружающей среды Республики Казахстан (от 27.01 2004 г.).
13. Панин М. С. Эколого-биогеохимическая оценка техногенных ландшафтов Восточного Казахстана. Алматы: Изд-во “Эверо”, 2000. 277 с.
14. Сагит Ю. В., Ревич Б. А., Янин Е. П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 334 с.

Heavy Metals in the Soil of Ust-Kamenogorsk in the Republic of Kazakhstan

L. S. BOLUSPAEVA, M. S. PANIN*

*Amanzholov East Kazakhstan State University
070020, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, Revolyutsionnaya str., 2a
E-mail: boluspaeva82@mail.ru*

** Semipalatinsk State Pedagogical Institute
071410, Republic of Kazakhstan, Semey, Tanirbergenov str., 1
E-mail: pur@sgpi.kz*

Total content of heavy metals Zn, Pb, Cu, Cd in soil in Ust-Kamenogorsk (Republic of Kazakhstan) was determined. The mosaic character of heavy metal content depending on emission sources was revealed. The areas of the city having the maximal accumulation of heavy metals were detected.

Key words: soil, heavy metals, buffer capacity of soil, physicochemical characteristics of soil, total pollution index.