

Смирнова С.М., Долин В.В.  
Институт геохимии окружающей среды

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ НИКОЛАЕВСКОЙ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Проанализировано валовое содержание тяжелых металлов (Zn, Pb, Mn, Cu, Ni, Cr, Fe) в почвах г. Николаева с позиции дифференциации зон загрязнения в пределах городской застройки. Проведена оценка состояния почвенного покрова по эколого-геохимическим и санитарно-гигиеническим критериям.

### Введение

Промышленные предприятия являются структурными элементами урбандошфта г. Николаева. В структуре промышленного комплекса основное место занимают отрасли машиностроения и металлообработки, среди которых выделяются такие области, как судостроение и энергетическое машиностроение. Промышленные объекты города обеспечивают до 50% объёмов продукции судостроения Украины, свыше 90% государственного производства газовых турбин, 80% глинозема.

Одной из ведущих отраслей региона является судостроение. Самыми большими предприятиями этой отрасли являются три судостроительных предприятия, выполняющие заказы на постройку судов различного типа: судостроительный завод «Вадан Ярмс Оксан», Черноморский судостроительный завод и завод «им. 61 коммунара».

Портовая инфраструктура является ключевым фактором экономического развития города. В настоящее время в Николаеве функционируют четыре близко расположенных друг к другу порта в устье Южного Буга: Николаевский морской порт (крупнейший), Речной порт, Днепр — Бугский порт и порт Октябрьский.

Выбросы промышленных предприятий различного профиля, транспортная инфраструктура существенно изменяют природный геохимический фон городской территории. Техногенное загрязнение почвы обуславливает особый тип распределения металлов в поверхностных горизонтах [2]. Специфика производственной деятельности, развитая транспортная инфраструктура определяют элементный состав загрязнения окружающей среды г. Николаева и прилегающих территорий тяжелыми металлами, среди которых большая часть выбросов приходится на Fe, Zn, Cr, Pb, Mn, Cu, Ni, (рис. 1).

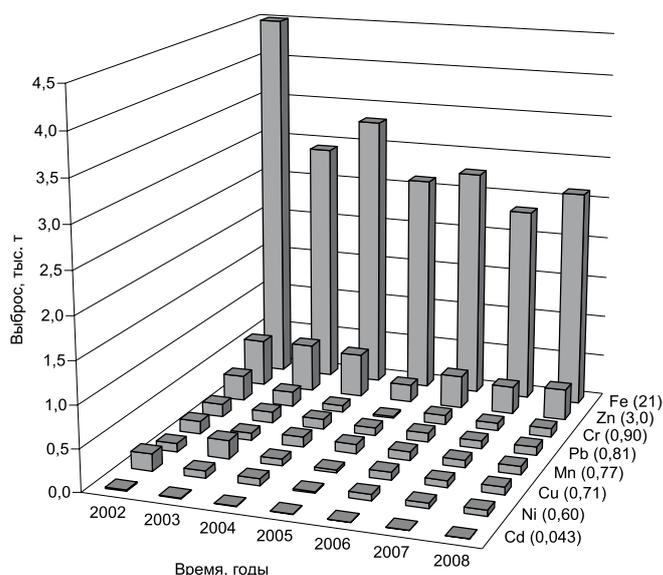


Рис. 1. Динамика выбросов тяжелых металлов в атмосферу г. Николаева (по данным прямых атмосферных измерений): в скобках указан суммарный выброс за период наблюдений

При экологической оценке городской территории одним из наиболее информативных объектов изучения является почвенный покров, аккумулирующий загрязнения, которые поступают на протяжении продолжительного периода. Почва является наиболее чувствительным индикатором загрязнения ландшафтов в силу своего вещественного состава и физико-химических параметров [2]. Важнейшее значение почв состоит в аккумуляции органического вещества, различных химических элементов, а также энергии. Почвенный покров выполняет функции биологического поглотителя, разрушителя и нейтрализатора различных загрязнений [5]. Также почве отведена важнейшая роль в жизни общества, поскольку она представляет собой источник продовольствия, обеспечивающий 95–97% продовольственных ресурсов для населения.

Находясь на пересечении путей миграции загрязнителей, почвы поглощают большую часть аэрозолей, пыли, взвешенных частиц атмосферного воздуха, поэтому характеризуют экологическое состояние урбандо ландшафта [1,2]. Опасность загрязнения почв тяжелыми металлами определяется [3]:

- ролью загрязненной почвы как источника вторичного загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха и при ее непосредственном контакте с человеком;
- значимостью степени загрязнения почвы в качестве индикатора загрязнения атмосферного воздуха;
- эпидемиологической значимостью загрязненной почвы тяжелыми металлами.

Валовое содержание тяжелых металлов является фактором емкости, отражающим в первую очередь потенциальную опасность загрязнения почв, инфильтрационных и поверхностных вод [12]. Данный показатель характеризует общую загрязненность почвы, но не отражает в полной мере миграционной способности загрязнителей. Валовое фоновое содержание тяжелых металлов зависит от физико-химических свойств почвы (физическая глина, гумус, сумма поглощенных оснований и др.), ближнего и дальнего переноса загрязняющих веществ [10, 11].

Принцип нормирования химических веществ в почве значительно отличается от принципов, положенных в основу нормирования их в водоемах, атмосферном воздухе, пищевых продуктах. Металлы достаточно легко накапливаются в почве, вовлекаются в биогеохимические циклы, но крайне медленно выводятся из нее. Например, период полувыведения цинка из почвенных горизонтов составляет 500 лет, меди — до 1500 лет, свинца — несколько тысяч лет [6]. Контрастность ландшафтно-геохимических условий, интенсивность и политипность загрязнения городской застройки усложняют проведение экологической оценки, что определяет необходимость использования интегральных показателей загрязнения.

С гигиенической позиций опасность загрязнения почвы определяется уровнем возможного ее отрицательного влияния на контактирующие среды, пищевые продукты и непосредственно на человека, а также на биологическую активность почвы и способность к самоочищению. С учетом данного положения при нормировании химических веществ в почве учитывается опасность, которую представляет почва при непосредственном контакте с ней и последствия вторичного загрязнения контактирующих с почвой сред.

До настоящего времени в Украине отсутствуют санитарно-гигиенические нормативы относительно содержания химических веществ в почвах. При оценке экологического состояния почвенного покрова используются показатели принятые и рекомендованные разными ведомствами. Одним из нормативов, позволяющих оценивать степень загрязнения почвы химическим веществом, является предельно допустимая концентрация (ПДК) химических веществ в почве [7]. Нормативы утверждены для валового содержания, подвижных и водорастворимых форм некоторых химических элементов и соединений.

### **Методы исследований**

*Пробоотбор.* Район исследования представляет собой городскую агломерацию с населением около 500 тыс. чел., расположенную на стыке с природным сельскохозяйственным агрокомплексом, естественными природными ландшафтами загородной застройки. Полевые исследования территории проводились с учетом планировки жилых массивов,

климатических особенностей (розы ветров), расположения промышленных зон, уклона рельефа, автомагистральных дорог, что дало возможность выявить специфику загрязнения городской территории.

Фактическим материалом для аналитического исследования послужили данные эколого-геохимического опробования почв городской застройки г. Николаева. Для исследования отобраны почвы в наиболее распространенных видах геохимических урбондшафтов вблизи промышленных зон, транспортных магистралей, жилых массивов и зеленых зон (парки, сады и т.д.). Произведен отбор 48 образцов почвенного покрова с поверхностных горизонтов в июне-июле 2009 г. по нерегулярной сети отбора по стандартной методике [4]. При контроле загрязнения почвы вблизи промышленных предприятий пробные площадки намечались вдоль векторов «розы ветров».

Точечные пробы отбирались на пробных площадках методом конверта по диагонали с учетом гомогенной однородности грунтового покрова. Отбор анализируемых образцов проводился пластмассовым шпателем с глубины 0–5 см массой не более 200 г каждый. Крупные включения (>2 мм) удалялись вручную: камни, стекла, корни растений и др. Все образцы высушивали при температуре не выше  $40 \pm 5^\circ \text{C}$ . Непосредственно перед анализом пробы измельчали в ступке и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм. Для определения валового содержания тяжелых металлов (Mn, Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, Fe) исследуемые образцы обработали концентрированной азотной кислотой в соотношении твердой и жидкой фаз 1:5 при нагревании и периодическом перемешивании в течение суток. После выщелачивания пробы фильтровали на бумажном фильтре «синяя лента». Содержание тяжелых металлов определяли методом атомной абсорбционной спектроскопии на приборе ААС-115М1.

*Эколого-геохимические критерии оценки состояния почвенного покрова.* Оценка уровня химического загрязнения почв как индикаторов неблагоприятного воздействия на здоровье населения проводилась по показателям, разработанным для сопряженных эколого-геохимических и санитарно-гигиенических исследований окружающей среды городов. Согласно методическим рекомендациям [3,7] оценка опасности загрязнения почв химическими веществами проводилась с использованием ряда геохимических и санитарно-гигиенических показателей: коэффициента опасности контролируемых веществ ( $K_o$ ), коэффициента концентрации ( $K_c$ ), суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ).

Коэффициент опасности исследуемых веществ ( $K_o$ ) определяется отношением фактического уровня содержания контролируемых веществ в почве ( $C$ ) к предельно допустимой концентрации (ПДК):

$$K_o = C/\text{ПДК}, \quad (1)$$

При оценке опасности загрязнения почв химическими веществами учитывалось, что опасность загрязнения нормируется по фактическим уровням превышения содержания контролируемых веществ в почве ( $C$ ) по отношению к ПДК. То есть опасность загрязнения почвы тем выше, чем больше значение коэффициента опасности ( $K_o$ ) превышает 1.

Интегральный показатель опасности ( $\sum K(1+2)$ ) дифференцируется по ПДК элементов 1 и 2 класса опасности, формула расчета имеет вид:

$$\sum K_o(1+2) = \sum \frac{C}{\text{ПДК}} \quad (2)$$

Из рассмотренных в настоящей работе к 1 классу опасности (чрезвычайно опасные) относятся цинк и свинец, ко 2 классу (высокоопасные) — медь, никель, хром. Следует принять во внимание, что опасность загрязнения почв тем выше, чем выше класс опасности контролируемых веществ.

При изучении важнейшей характеристики техногенных геохимических аномалий — степени концентрирования — широкое распространение приобрел такой параметр, как коэффициент концентрации химического элемента  $K_c$ , рассчитываемый по отношению

реального (аномального) содержания загрязнителя в природном объекте ( $C$ ) к его фоновому уровню ( $C\phi$ ) в аналогичном объекте:

$$K_c = C/C\phi \quad (3)$$

Показатель  $K_c$  (коэффициент концентрации) разработан для эколого-геохимических исследований. Он отражает распространенность химического элемента в окружающей среде [8]. Фоновые значения  $C\phi$  принимались на основании содержания микроэлементов в пределах однородного в геологическом и ландшафтном отношении участка. В настоящее время геохимический фоновый уровень содержания тяжелых металлов в почве представлен суммой естественного содержания определяемого ингредиента с тем техногенным добавлением его, которое является следствием глобального переноса загрязнений от источников их выбросов в окружающую среду.

Суммарный показатель загрязнения  $Z_c$ , введенный в практику эколого-геохимических исследований Ю.Е. Саетом [9], применяется для характеристики полиэлементных аномалий. Он равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов, содержание которых превышает фоновые значения, и выражен следующей формулой:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{c(i)} - (n - 1), \quad (4)$$

где  $n$  — число учитываемых аномальных элементов.

Оценка опасности загрязнения почв комплексом металлов по показателю  $Z_c$ , отражающему дифференциацию загрязнения почвенного покрова городов металлами, проводилась по оценочной шкале (табл. 1). Градации оценочной шкалы разработаны на основе изучения показателей состояния здоровья населения, проживающего на территории с различным уровнем загрязнения почв.

Данный показатель является одним из немногих эколого-геохимических параметров, утвержденных для санитарно-гигиенической оценки, и применяется при мелко- и среднемасштабном картировании [1].

**Таблица 1.** Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения  $Z_c$  [7]

Категория загрязнения почв	Значение $Z_c$	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболевания детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
Умеренно опасная	16 ... 32	Увеличение уровня общей заболеваемости
Опасная	32 ... 128	Увеличения уровня общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличения уровня общей заболеваемости детского населения, женщин с нарушением репродуктивной функции (увеличение числа преждевременных родов и др.).

Однако имеется несколько существенных недостатков — показатель  $Z_c$  не учитывает различий в потенциальной опасности элементов, а также, что наиболее важно, синергетические эффекты полиметаллического загрязнения.

Расчеты суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ) почвенного покрова и выбор лимитирующего норматива является научно-обоснованным так, как  $K_c$  зависит от особенностей выбранного нами лимита, т.е. регионального геохимического фона, задающего

первичный масштаб уровня соотношений между элементами и их группами, с учетом специфики изучаемого нами объекта [8].

Приведенный методический подход к оценке загрязнения урболандшафтов города Николаева в достаточной мере характеризует качественные и количественные преобразования почв под влиянием антропогенной деятельности.

### Результаты и обсуждение

Согласно методических рекомендаций по оценке загрязнения химическими веществами почв для сравнительной оценки уровня загрязнения использовались региональные фоновые значения.

Для этого, учитывая расположение промышленных предприятий, климатические условия, ландшафтно-геохимические факторы, на расстоянии 35,5 км от городской черты была отобрана «фоновая» проба (табл. 2). Содержание Zn, Pb, Ni, Cu в почвах фоновой площадки соответствует содержанию в почвах биосферного заповедника «Аскания-Нова», расположенного в 150 км на юго-восток от г. Николаева, что подтверждает репрезентативность выбора фонового участка. Из данных, приведенных в табл. 2, явно прослеживаются недостатки существующей системы нормирования: ПДК, для Zn и Ni они значительно ниже, чем фоновые значения концентраций этих элементов в почвах.

**Таблица 2.** Содержание тяжелых металлов в почве фоновой площадки

Элемент	Класс опасности	$C_{ф}$ , мг×кг <sup>-1</sup>	ПДК, мг×кг <sup>-1</sup> [16]
Zn	1	80 (80)	55
Pb	1	20 (15)	32
Ni	2	30 (36–40)	20
Cu	2	25 (25)	33
Cr	2	60	100
Mn	3	670	1500

*Примечание: в скобках указаны концентрации металлов в каштановых солонцеватых почвах биосферного заповедника «Аскания-Нова» [2].*

Анализ геохимических показателей дает представление об уровнях и масштабах депонирования тяжелых металлов в почвенном покрове в пределах города (табл. 3). По средним значениям коэффициента концентрации тяжелых металлов в почвах города выделена техногенная ассоциация: Pb (5,0), Zn (2,6), Cu (1,6), Cr (1,3). Суммарный коэффициент загрязнения варьирует в пределах 2,3–20,7 при среднем значении 7,8, что позволяет отнести городскую территорию к допустимой категории загрязнения. По санитарно-гигиеническим критериям ( $K_0$ ) опасность загрязнения почв уменьшается в ряду: Zn (3,8), Pb (3,1), Ni (1,4), Cu (1,2). Интегральный показатель опасности загрязнения почв для элементов 1 и 2 класса опасности достигает 26,4 при среднем значении 10,3 (табл. 3).

Применение зональной дифференциации урболандшафтов в пределах Николаевской агломерации позволило установить градицию уровней загрязнения (табл. 4, 5).

**Таблица 3.** Диапазон загрязнения почвенного покрова г. Николаева

Показатель	Содержание, мг/кг <sup>-1</sup>	$K_0$	$\Sigma K_0(1+2)$	$K_c$	$Z_c$
Zn	$\frac{118-320}{211}$	$\frac{2,1-5,8}{3,8}$	$\frac{26,4}{10,3}$	$\frac{1,5-4,0}{2,6}$	$\frac{2,3-20,7}{7,8}$
Pb	$\frac{30,2-360}{100}$	$\frac{0,94-11,2}{3,1}$		$\frac{1,5-18,0}{5,0}$	
Ni	$\frac{11-95}{28}$	$\frac{0,5-4,8}{1,4}$		$\frac{0,4-3,2}{0,9}$	
Cu	$\frac{13,4-90}{39}$	$\frac{0,4-2,7}{1,2}$		$\frac{0,5-3,6}{1,6}$	
Cr	$\frac{21,1-190}{81}$	$\frac{0,2-1,9}{0,8}$		$\frac{0,4-3,2}{1,3}$	
Mn	$\frac{64,2-375}{230}$	$\frac{0,04-0,3}{0,14}$		$\frac{0,1-0,6}{0,3}$	
Fe	$\frac{3200-13390}{7490}$				

*Примечание: в числителе представлены предельные значения, в знаменателе — среднее арифметическое; по показателю  $\Sigma K_0(1+2)$  — в числителе приведено максимальное значение, в знаменателе — среднее арифметическое.*

**Таблица 4.** Зональное распределение концентраций тяжелых металлов в городской агломерации, мг/кг<sup>-1</sup>

Элемент	Зоны города			
	Промышленная	Транспортная	Жилая	Зеленая
Pb	$\frac{146-360}{210}$	$\frac{50,2-163}{100}$	$\frac{35,3-85,3}{55,6}$	$\frac{29,4-77,2}{40}$
Zn	$\frac{200-320}{250}$	$\frac{146-287}{215}$	$\frac{140-272}{206}$	$\frac{118-216}{171}$
Cu	$\frac{30,3-88,8}{54,5}$	$\frac{21,9-59,3}{38}$	$\frac{21,7-56,4}{33,7}$	$\frac{13,4-49}{31,5}$
Cr	$\frac{63,3-190}{102}$	$\frac{29,3-174}{86,8}$	$\frac{36,4-126}{72,4}$	$\frac{21,1-129}{63,3}$
Ni	$\frac{22,5-95,2}{38,5}$	$\frac{12,5-60}{27,8}$	$\frac{12,5-40}{24,8}$	$\frac{10,9-50,8}{20,5}$
Fe	$\frac{3860-11700}{7525}$	$\frac{4263-13390}{8026}$	$\frac{3200-11580}{7544}$	$\frac{3790-9820}{6700}$
Mn	$\frac{126-290}{196}$	$\frac{112-375}{225}$	$\frac{112-312}{205}$	$\frac{64,12-316}{193}$

### Элементы 1 класса опасности

**Свинец** и его соединения очень токсичны и вызывают хронические отравления [14]. Действие на организм человека — политропное (сердечно-сосудистые, аллергенные, психо-неврологические отклонения и др.) [2]. По состоянию на 2008 г. ни одно предприятие в пределах области не получило разрешение на использование свинца в производственной деятельности [15]. Сбор и хранение отработанных батарей свинцовых аккумуляторов осуществляются предприятиями ООО завод «Промснаб-Николаев» и ООО НПП «Земля и жизнь». Широкое применение в минувшие годы тетраэтилсвинца в автотранспортной промышленности обусловило накопление свинца в почвах придорожной полосы до  $163 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$  (табл. 3). В промышленной зоне показания варьируют в пределах  $146\text{--}360 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ . В жилой и зеленой зонах валовое содержание свинца в поверхностном слое почвы составляет, в среднем,  $40\text{--}55,6 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ , значительных вариаций не обнаружено (табл. 4). Усредненные значения коэффициента концентрации свинца в почвах г. Николаева уменьшаются от 10 до 2 в ряду промышленная, транспортная, жилая, зеленая зоны города. Значения коэффициента опасности уменьшаются в этом же ряду от 6,5 до 1,3 (табл. 5).

**Цинк.** На территориях, прилегающих к промышленным зонам, отмечено интенсивное техногенное воздействие, валовое содержание цинковых загрязнений в почвах значительно превышает фоновые значения (см. табл. 2). В среднем по городу диапазон концентраций цинка в поверхностном слое почвы составляет  $171\text{--}250 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$  (табл. 3). Во всех пробах фиксируется превышение элемента на уровне 2–4 ПДК. Высокие уровни варьирования загрязнителя связаны с широким использованием процессов цинкования металлических изделий на многих промышленных предприятиях города: ГП Научно-производственный комплекс газотурбостроения «Зоря-Машпроект», Акционерное общество «Кристалл», Акционерное общество «Экватор», на судостроительных заводах. Значительное загрязнение цинком в пределах жилой и зеленой зон, возможно, связаны с планировочной застройкой города, которая характеризуется мозаичным чередованием элементов городских ландшафтов. Усредненные значения  $K_c \text{ Zn}$  в почвах города составляют 2,1–3,1,  $K_o$  — 3,1–4,6 с тенденцией к снижению в зеленой зоне города (табл. 5).

**Таблица 5.** Зональная дифференциация эколого-геохимических и санитарно-гигиенических показателей загрязнения почв г. Николаева

Металлы	Промышленная зона (11 точек)		Транспортная зона (12 точек)		Жилая зона (14 точек)		Зеленая зона (10 точек)	
	Кс	Ко	Кс	Ко	Кс	Ко	Кс	Ко
Pb	<u>7,3–18,0</u>	<u>4,5–11,2</u>	<u>2,5–8,2</u>	<u>1,6–5,1</u>	<u>1,8–4,3</u>	<u>1,1–2,7</u>	<u>1,5–3,9</u>	<u>0,9–2,4</u>
	10,4	6,5	5,0	3,1	2,8	1,7	2,1	1,3
Zn	<u>2,5–4,0</u>	<u>3,7–5,8</u>	<u>1,8–3,6</u>	<u>2,7–5,2</u>	<u>1,8–3,4</u>	<u>2,6–4,9</u>	<u>1,5–2,7</u>	<u>2,1–3,9</u>
	3,1	4,6	2,7	3,9	2,6	3,6	2,1	3,1
Cu	<u>1,2–3,6</u>	<u>0,9–2,7</u>	<u>0,9–2,4</u>	<u>0,7–1,8</u>	<u>0,9–2,3</u>	<u>0,7–1,7</u>	<u>0,5–2,3</u>	<u>0,4–1,8</u>
	2,2	1,7	1,5	1,2	1,3	1,0	1,3	1,0
Cr	<u>1,1–3,2</u>	<u>0,6–1,9</u>	<u>0,5–2,9</u>	<u>0,3–1,7</u>	<u>0,6–2,1</u>	<u>0,4–1,3</u>	<u>0,4–2,1</u>	<u>0,2–1,3</u>
	1,7	1,0	1,4	0,9	1,2	0,7	1,1	0,6
Ni	<u>0,7–3,2</u>	<u>1,1–4,8</u>	<u>0,4–2,0</u>	<u>0,6–3,0</u>	<u>0,4–1,3</u>	<u>0,6–2,0</u>	<u>0,4–1,7</u>	<u>0,5–2,5</u>
	1,3	1,9	0,9	1,4	0,8	1,2	0,7	1,0
Mn	<u>0,2–0,4</u>	<u>0,1–0,2</u>	<u>0,2–0,6</u>	<u>0,1–0,3</u>	<u>0,2–0,5</u>	<u>0,1–0,2</u>	<u>0,1–0,5</u>	<u>0,04–0,2</u>
	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1
Zc	<u>10,0–20,7</u>		<u>4,3–10,4</u>		<u>2,9–7,3</u>		<u>2,3–6,0</u>	
	14,8		7,9		5,1		3,8	

## Элементы 2 класса опасности

**Медь.** В жилой и зеленой зонах соединения меди практически содержатся в количествах, соответствующих предельно допустимым нормам (табл. 5). Отдельные значения достигают превышения 1,5–2 раза. Содержание меди в почвах транспортной зоны варьирует в тех же пределах со средним значением  $38 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$  (табл. 4). В промышленной зоне концентрации достигают  $88,8 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ , флуктуации значений составляют  $\pm 50 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ . Среднегородские значения  $K_0$  и  $K_c$  Cu в почвах составляют 1,2 и 1,6 (табл. 3) с тенденцией к возрастанию в промышленной зоне (1,7 и 2,2 (табл. 5) соответственно).

**Хром.** Хром широко применяется в промышленном комплексе предприятий города для покрытия стальных изделий с целью защиты от коррозии, а также как защитно-декоративные хромовые покрытия. Высокие валовые содержания микроэлемента характерны для промышленной и транспортной зон с максимальными концентрациями  $190$  и  $174 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$  соответственно (табл. 4). По средним показателям концентрации загрязнителя не превышают ПДК и находятся на уровне  $63,3\text{--}102 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$  (табл. 4). Усредненные значения  $K_c$  для Cr (1,1–1,7) и  $K_0$  (0,6–1,0) свидетельствуют о незначительном загрязнении почв города этим элементом, которое возрастает в промышленной зоне (табл. 5).

**Никель.** В промышленном назначении используются жаропрочные никельсодержащие сплавы с особыми физико-химическими свойствами [14]. По данным Государственного управления охраны окружающей природной среды в Николаевской области разрешение на использование данного элемента получило только три предприятия в пределах области [15]. В пределах жилой зоны загрязнитель представлен в относительно узком диапазоне  $12,5\text{--}40 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$  (табл. 4). В повышенном количестве микроэлемент зафиксирован (до 2–3 раз выше фонового) в отдельно взятых пробах в промышленной зоне (табл. 5). Зеленая и жилая зоны характеризуются относительно небольшим разбросом аналитических данных со средними значениями  $20,5$  и  $24,8 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$  соответственно.

## Элементы 3 класса опасности

**Марганец** — 14-й элемент по распространённости на Земле. Считается, что марганец не является элементом, загрязняющим почву, но известно, что в кислой среде наблюдаются эффекты фитотоксичности Mn [13], что определяет необходимость нормирования его содержания в почвах (табл. 2). В промышленной инфраструктуре города в судостроении широко применяются обычные и легированные стали для постройки корпусов кораблей, в состав которых входят марганцевые соединения. На предприятии ГП НПКГ «Зоря-Машпроект» в турбиностроении используют латунные сплавы. Содержание марганца в почвах г. Николаева ниже фоновых значений ( $193\text{--}225 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$  (табл. 3)) и практически не дифференцировано по зонам;  $K_0$  в пределах городской черты составляет  $0,1\text{--}0,3$  (табл. 5). Небольшое повышение концентраций марганца в почвах города характерно для транспортной и жилой зон.

**Железо.** Распространённость железа в земной коре —  $4,65\%$  (4-е место после O, Si, Al). Соединения железа, выбросы которого на 1–2 порядка превышают другие металлы (см. рис. 1), являются основным загрязнителем атмосферы города. Данный элемент нормируется в атмосфере и воде по токсико-экологическим показателям на высоком уровне вследствие широкого биологического потенциала использования живым веществом и распространённости в промышленном и бытовом использовании. В почвах содержание железа не нормируется. Для почв транспортной зоны Николаевской городской агломерации характерно повышенное содержание железа. Транспортные магистрали несут значительную нагрузку вследствие интенсификации движения в последние годы. Содержание Fe в почвах промышленной и жилой зон варьируют в одном интервале со средними показателями  $7525$  и  $7544 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$  соответственно (табл. 4). Зональное распределение валового содержания соединений железа является неспецифичным в ряду убывания, поскольку характеризуется малой динамичностью данных в пределах выделенных зон.

Суммарный показатель загрязнения почв города, в среднем, составляет 7–8, что относится к допустимой категории загрязнения. Средние значения  $Z_c$  в транспортной и промышленной зонах составляют 8 и 15, в жилой и зеленой — 4 и 5 соответственно. Свыше 80% весового значения  $Z_c$  относится к загрязнению свинцом и цинком.

Наиболее высокие уровни загрязнения тяжелыми металлами характерны для промышленной зоны. В ряду загрязняющих веществ преобладающее место занимают элементы 1 класса опасности. Так значения  $K_0$  в почве по элементам 1 класса достигает 5,8 (Zn), 11,2 (Pb). Как видно из табл.5 превышение ПДК в целом достигает для Ni — 4,8; Cu — 2,7; Cr — 1,9 раз.

### Выводы

Вследствие техногенной деятельности в почвах Николаевской городской агломерации сформировалась техногенная аномалия загрязнения свинцом и цинком с коэффициентом концентрации 5,0 и 2,6 соответственно. Коэффициент концентрации Pb в почвах промышленной зоны (свыше 10) вдвое превышает среднегородской уровень, что свидетельствует о ведущем влиянии производственной деятельности на формирование загрязнения тяжелыми металлами 1 класса опасности. Влияние транспортных потоков играет второстепенную роль. Загрязнение почв городской застройки по уровню загрязнению тяжелыми металлами 1 класса опасности можно отнести к «умеренно опасному», 2 класса опасности — к «допустимому». По суммарному коэффициенту загрязнения почв территория города относится к допустимой категории.

- 1 Буренков Э. К. Эколого-геохимические исследования в ИМГРЭ — прошлое, настоящее, будущее / Э. К. Буренков, Е. П. Янин // Прикладная геохимия. Вып. 2. Экологическая геохимия : сб. статей / гл. ред. Э. К. Буренков. — М. : ИМГРЭ, 2001. — С. 5–24.
- 2 Жовинский Э.Я., Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины // Э.Я. Жовинский, И.В. Кураева — К.: Наукова думка, 2002. — 213 с.
- 3 Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почвах. — М., 1982. — 57 с.
- 4 Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / Под ред. д-ра биол. наук Н.Г. Зырина, С.Т. Малахова. — М. : Гидрометеоздат, 1981. — 109 с.
- 5 Почвоведение: Учеб. Пособие / Под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. — М.: Высш. Шк., 1988. — 368 с.
- 6 Рэуце К., Кырстя С. Борьба с загрязнением почвы: Пер. с рум. — М.: Агропромиздат, 1986. — 222 с.
- 7 Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами № 4266–87 от 13 марта 1987 г.
- 8 Долін В.В., Смирнов В.Н., Смирнова С.М. Методические подходы к оценке степени техногенной загрузки на донные отложения (на примере Южно-Бугского лимана) // Пошукова та екологічна геохімія. — К., 2007. — №1(6). — С. 36–42.
- 9 Саєт Ю. Е. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саєт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин. — М. : Недра, 1990. — 335 с.
- 10 Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова. — М.: Наука, 1985. — 264 с.
- 11 Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва — растение. — Новосибирск: Наука, 1991. — 151 с.
- 12 Топчиев А.Г. Геоэкология: Географические основы природопользования / А.Г. Топчиев. — Одесса: Астропринт, 1996. — 392 с.
- 13 Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. — Л.: Агропромиздат, 1987. — 142 с.
- 14 Химия биогенных элементов: Учеб. Пособие / В.Г. Хухрянский, А.Я. Цыганенко, Н.В. Павленко. — 2-е изд., перераб. и доп. — К. Вища шк., 1990. — 207 с.
- 15 Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Миколаївській області в 2007 році. — Миколаїв, 2008. — 195 с.
- 16 Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде: справочник / М.Т. Дмитриев, Н.И. Казнина, И.О. Пинигина. — М. : Химия, 1989. — 368 с.

### Смирнова С.М., Долін В.В. ВМІСТ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ГРУНТАХ МИКОЛАЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ АГЛОМЕРАЦІЇ

*Проаналізовано валовий вміст важких металів (Zn, Pb, Mn, Cu, Ni, Cr, Fe) у ґрунтах м. Миколаєва з позиції диференціації зон забруднення у межах міської забудови. Проведена оцінка стану ґрунтового покриву за еколого-геохімічними та санітарно-гігієнічними критеріями.*

### Smirnova S.M., Dolin V.V. HEAVY METAL CONTENT IN SOILS WITHIN MYKOLAYIV CITY AGGLOMERATION

*Heavy metal (Zn, Pb, Mn, Cu, Ni, Cr, and Fe) contamination of soils within Mykolayiv city limits have been studied. The differentiation of areas of contamination has been established. The ecological assessment of soil contamination of Mykolayiv city has been made utilizing geochemical and sanitary hygienic criteria.*