

УДК 550.42:546.4./7:631.4

## Геохимические показатели экологического состояния загрязненных почв

И. В. Кураева

*Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н. П. Семеновко НАН Украины, Киев, Украина, e-mail:yuliasun86@mail.ru*

Проанализированы закономерности распределения тяжелых металлов в техногенно загрязненных почвах урбанизированных территорий на примере крупной городской агломерации г. Киев. Установлены физико-химические свойства техногенно загрязненных и условно чистых почв. Изучены формы нахождения тяжелых металлов в почвенных отложениях и определена их подвижность. Определены формы миграции тяжелых металлов в почвенных растворах фоновых и техногенно загрязненных почв. Экспериментальными и аналитическими методами определена потенциальная буферная способность техногенных и фоновых почв к загрязнению тяжелыми металлами. Установлены содержания тяжелых металлов в почвах г. Киев, а также особенности их пространственного распределения. Приведены данные о пространственном распределении суммарного показателя техногенного загрязнения почв урбоэкосистемы столицы Украины. Установлены биогеохимические показатели изменения видового состава микромицет техногенно загрязнённых почв. Биогеохимические исследования почв городской агломерации позволили установить, что на техногенно загрязненных территориях появляются стойкие к повышенным концентрациям тяжелых металлов виды грибов, типичные аллергенные виды, фитозоотоксичного действия, а также виды, вредные для человека.

*Ключевые слова: тяжелые металлы, урбанизированные территории, пространственное распределение, формы нахождения, формы миграции, биогеохимические показатели*

## Geochemical indicators of the ecological state of the contaminated soil

I. V. Kuraeva

*M.P. Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation of the National Academy of sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine, e-mail:yuliasun86@mail.ru*

Regularities of distribution of heavy metals in contaminated soils technogenic urbanized areas (for example, a major area of the city of Kiev) were analyzed. The value of soil in the formation of the ecological state of the environment of technogenic territories was shown. The purpose of the study is the characterization of the geochemical parameters defining the transformation of anthropogenic contaminated soils. To assess the degree of contamination of soil deposits Kiev were identified by their physico-chemical properties (pH, organic matter content, cation exchange capacity). Physico-chemical properties were determined by the method Arinushkina O.V. Concentration of chemical elements in samples was determined by classical geochemical and modern methods on mass spectrometer with inductively coupled plasma (ICP-MS) in the M.P. Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation of the National Academy of sciences of Ukraine. Physico-chemical properties of of technogenic contaminated and relatively clean soil were established. Forms of a finding of heavy metals in soils were studied. Their mobility was determined. Forms of migration of heavy metals in soil solutions of background and of technogenic contaminated soils were identified. A potential buffer capacity of soils to heavy metal contamination was determined using the experimental and analytical methods. The contents of heavy metals in soils of Kiev, as well as the characteristics of their space distribution were installed. The data of space distribution of the total index of technogenic pollution soils of urban ecosystem Kiev were received. Biogeochemical indicators changes in the species composition of soil microorganisms of technogenic contaminated soil were established. Research of soil microbiota can be used as an additional criterion for the bioindication of contamination of soils. On the basis of actual material and development scientists have been set indices and criteria of objective estimation of degree environment contaminations, which correspond to the European standards. They can serve as basis for further researches concerning selection ecologically dangerous territories.

*Keywords: heavy metals, urban areas, space distribution, forms of finding, forms of migration, biogeochemical indicators*

**Введение.** Украина – страна с большим количеством крупных городских агломераций, где находятся предприятия черной, цветной металлургии, машиностроительной, химической промышленности и др. отрасли народного хозяйства. В Украине насчитывается 436 городов и 925 посел-

ков городского типа. Показатель урбанизации около 67 %, то есть два жителя из трёх проживают в городах. Исследования в области урбогеохимии и решение социальных проблем на их базе показаны во многих работах украинских ученых (Zhovinskij, 2002), но необходимо отметить, что большинство крупных городских агломераций Украины не подвергались комплексному эколого-геохимическому исследованию. Полный комплекс урбогеохимических исследований включает: атмогеохимические, литогеохимические, гидрогеохимические, биогеохимические.

Особое значение эколого-геохимические исследования крупных городских агломераций в мире начали приобретать во второй половине XX века (Allison, 1990; Vodjanickij, 2002). Это научное направление основывается на фундаментальных теоретических понятиях геохимии ландшафтов (Kasimov, 1992; Glazovskaja, 1997; Mickevich, 1971). Систематизированы природные и техногенные факторы геохимической трансформации природной среды в городах Беларуси, установлены механизмы формирования полиэлементных атмо-, гидро-, педо- и биогеохимических аномалий в городах и зонах их влияния (Homich, 2004). В Украине исследования в области урбогеохимии были проведены с использованием комплексного подхода для изучения почвенного покрова, подземных и поверхностных вод (Zhovinskij, 2002; Samchuk, 1993; Karmazynenko, 2014). Впервые для исследования и характеристики техногенного загрязнения почвенных отложений Э. Я. Жовинский ввел показатель содержания подвижных форм элементов-загрязнителей.

Следует также отметить работы в области формообразования химических элементов в грунтовых отложениях А. И. Самчука, Г. Н. Бондаренко. Н. О. Крюченко отмечает, что городские агломерации принадлежат к зонам экологического риска. Оценка прогнозирования негативных последствий должна основываться на установлении количественных показателей техногенных ореолов, которые охватывают совокупность геохимических параметров, отражающих состав, структуру и уровень концентрации элементов токсикантов. Были решены вопросы изучения пространственной структуры распределения элементов-загрязнителей и эколого-геохимической оценки среды городских агломераций Центральной Украины (Zhovinskij, 2002). Авторы установили уровни загрязнения территорий и границы влияния загрязнителей для различных типов предприятий.

Растущая техногенная нагрузка на крупные городские агломерации вызывает деградацию окружающей среды. Киев относится к городам с развитой промышленностью различного профиля. Для принятия решений по улучшению экологического состояния природной среды города необходимо проведение комплекса геохимических исследований окружающей среды. Химический состав снега, почв, донных отложений, биоты отражает продолжительность и динамику загрязнения городских ландшафтов. Особое внимание уделяется геохимическим исследованиям почв. Антропогенные выбросы накапливаются в городских почвах и меняют их физико-химические свойства, буферность и т. д. Почвы являются депонирующей средой для загрязнителей и определяют их миграцию в сопредельные среды. Техногенные геохимические аномалии в грунтовых отложениях городов более устойчивы, чем в воздухе, растениях, снеге. Оценка степени загрязнения почвенного покрова города является основным эколого-геохимическим критерием для характеристики окружающей среды.

Цель исследования – характеристика геохимических показателей, определяющих трансформацию техногенно загрязненных почв, изучение значения почв в формировании экологического состояния объектов окружающей среды техногенных территорий.

**Материал и методы исследований.** Объектами исследования послужили почвенные отложения фоновых территорий Киевского Полесья и урбоземов г. Киев. Отбор и подготовка почвенных образцов для аналитических исследований проводились по стандартным методикам в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84.

Отбор почвенных образцов проводился по регулярной сети ключевых участков с учетом особенностей планирования городской застройки Киева и функциональной структуры. Обозначенный подход предусматривает исследование почв промышленных зон, территорий отдельных предприятий, жилых массивов и рекреационных объектов, что позволяет составить эколого-геохимическую характеристику почв городской агломерации.

С целью определения содержания тяжелых металлов (ТМ) в почвах урбозекосистемы Киева применялся спектральный полуколичественный анализ на спектрографе СТЭ-1, атомно-абсорбционный анализ с использованием прибора КАС-120 и ICP-MS с индуктивно связанной плазмой.

Для определения физико-химических свойств почв использовалась методика Аринушкиной (Aginushkina, 1970). Для определения геохимических показателей использовались современные физико-химические методы: эмиссионный спектральный анализ, атомно-абсорбционный, потенциометрический и др. Формы нахождения металлов в почвах определялись методом постадийных вытяжек (Samchuk, 1993). Определение миграционных форм металлов в почвенных растворах осуществлялось по программе MINTEQA2 (Zhovinskij, 2002).

Значения валового содержания химических элементов сравнивались с аналогичными фоновыми показателями, за которые были приняты параметры почв вне административных границ столицы. Для всех ключевых участков исследования был рассчитан показатель суммарного техногенного загрязнения ( $Z_c$ ), рассчитанный по формуле (Saet, 1990):

$$Z_c = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{фон}} - (n-1),$$

где  $Z_c$  – показатель суммарного техногенного загрязнения,  $C_i$  – концентрация  $i$ -го элемента,  $C_{фон}$  – фоновая концентрация  $i$ -го элемента,  $n$  – количество исследуемых химических элементов.

На основе полученных результатов лабораторных анализов создана пространственная база данных (ПБД) геохимических исследований (Maciboga, 2014). Обработка пространственных данных и моделирование геохимических полей выполнялись в рабочей среде настольной геоинформационной системы с открытым исходным кодом QGIS 2.2.0-Valmiera, которая распространяется на условиях GNU General Public License. Построение интерполированных поверхностей

распределения тяжелых металлов (ТМ) производилось с применением метода обратно взвешенных расстояний (IDW).

Пробы почв для выделения микроскопических грибов отбирались с интервала 0–20 см. Численность почвенной микрофлоры определялась с помощью общепринятых методов и выражалась в КОЕ (колониеобразующие единицы) /г абсолютно сухой почвы, а видовой состав микромицетов и структура комплексов почвенных грибов – по показателям пространственной частоты фиксации (Andrejuk, 1981; Kozlova, 2008).

**Результаты и их анализ.** При закреплении ТМ, поступающих в почву, участвуют все компоненты её твердых фаз: аморфные и окристаллизованные гидроксиды, оксиды железа, марганца, алюминия, гумусовые вещества, карбонаты (Ladonin, 2002). Физико-химические свойства почв, кислотно-щелочные, окислительно-восстановительные, емкость катионного обмена и др. определяют прочность закрепления металлов почвами.

Как показали исследования, в техногенно загрязненных почвах значительно изменяются физико-химические свойства по сравнению с условно чистыми почвами (табл. 1).

Происходят изменения содержания  $C_{орг}$ , уменьшаются рН и емкость катионного обмена, а, следовательно, уменьшается коэффициент буферной способности почв ( $K'_o$ ) (Samchuk, 1993).

В результате проведения нами полевых работ и лабораторных анализов (Maciboga, 2014) получен массив данных геохимических исследований, который был основой формирования ПБД. Структура атрибутивной информации ПБД оптимально организована для целей хранения данных, интерактивного взаимодействия с пользователем и геостатистического моделирования. Учитывая,

Таблица 1

**Физико-химические свойства техногенно загрязненных и условно чистых почв**

Исследуемые объекты	$C_{орг}$ , %	рН	Обменные катионы, мг-экв/100 г						$K'_o$
			$H^+$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$K^+$	$Na^+$	$\Sigma E$	
Техногенно загрязненные почвы									
Автомобильная (n = 25)	2,52	5,0	6,20	8,20	1,90	0,21	0,40	11,5	4,0
ТЭЦ (n = 10)	1,69	5,1	2,86	9,60	0,55	0,16	0,06	13,26	4,5
Завод «Энергия» (n = 15)	0,86	6,0	3,03	6,19	1,46	0,17	0,20	10,55	6,0
Завод «Радикал» (n = 15)	3,65	5,2	5,4	9,10	1,10	0,16	0,42	14,20	3,2
Борщяговский хим.-фарм. завод (n = 9)	1,38	6,0	0,47	7,64	1,01	0,35	0,12	9,58	7,0
Условно чистые почвы									
Лесопарковая зона (n = 16)	5,13	6,7	8,51	16,22	0,31	0,3	0,1	25,44	14,0
Чернозем слабо гумусированный (n = 10)	3,60	6,6	5,80	28,20	12,02	0,33	0,40	46,75	28,8
Дерново-подзолистая, лесная (n = 8)	7,29	6,3	18,55	14,92	5,43	0,35	0,08	39,33	12,7

Примечание: n – количество проб

что ГИС QGIS поддерживает большинство распространенных типов данных и практически не ограничивает набор атрибутов пространственных объектов, их перечень максимально полно описывает почвенно-геохимическую информацию.

Для целей исследования ПБД ключевых участков содержит информацию о географических координатах, населенном пункте и его административных районах, адресную привязку, название ближайшего промышленного объекта, возле которого проводился отбор образцов почв, глубину отбора, а также результаты лабораторных анализов на предмет содержания ТМ и суммарный показатель техногенного загрязнения.

Использование обозначенного широкого перечня показателей и характеристик обусловлено необходимостью не только создания картографических изображений для визуальной оценки геохимической ситуации, но и для эксплуатации самой ПБД, что предусматривает выполнение атрибутивных и пространственных запросов, создание выборок, расчет статистических показателей, установку связей, сортировку, объединение данных.

Уровень техногенного загрязнения ТМ почв урбоэкосистемы Киева оценивался на основе изучения пространственного распределения ТМ, которое относится к различным классам опасности.

Показатели концентрации ТМ в почвах Киева характеризуются широкой амплитудой колебаний значений на отдельно взятых ключевых участках, что может объясняться их принадлежностью к разным функциональным зонам урбанизированной территории. Для ТМ характерно существенное превышение средних значений над фоновыми (табл. 2).

Наличие в массиве данных ключевых участков, на которых показатели концентрации ТМ достигают более чем двадцатикратного превышения фона, связано с отбором проб, который производился непосредственно на территории действующих

промышленных предприятий и в результате длительной техногенной нагрузки в верхних генетических горизонтах накопился значительный объем поллютантов. К таким химическим элементам стоит отнести Pb, максимальное значение которого в 40 раз превышает аналогичное фоновое значение, Zn в 20 и Cr более чем в 22 раза, а Cu – в 10 раз.

Использование процедуры IDW-интерполяции (Maciboga, 2014), реализованной в настольной ГИС QGIS, позволило создать картосхемы пространственного распределения ТМ в почвах урбоэкосистемы Киева.

Изучение пространственного распределения Pb позволяет выявить повышение содержания данного элемента в северо-западной части города (Шевченковский административный район), где концентрация колеблется в пределах 160–400 мг/кг. Высокие значения обусловлены размещением в данном районе нескольких промышленных объектов на ограниченной площади. Повышенное содержание Pb наблюдается в почвах восточной части Киева (до 160–300 мг/кг). Максимальные значения Pb в южной части Киева колеблются в диапазоне 160–320 мг/кг. К районам с минимальным содержанием Pb (до 40 мг/кг) в почвах стоит отнести северную часть города (Деснянский и часть Днепровского р-нов), а также исторический центр Киева (Печерский, Соломенский и Голосеевский р-ны).

Пространственное распределение Zn в почвах Киева отличается значительной неоднородностью и в общих чертах характеризуется наличием отдельных зон резкого повышения концентрации в северо-западной части города (Оболонский р-н), где его содержание достигает 200–400 мг/кг. Для промышленной зоны западных районов Киева (Шевченковского и Соломенского) данные показатели еще выше – от 350 до 600 мг/кг. Относительное повышение концентрации Zn наблюдается в почвах Днепровского и Дарницкого районов, где максимальные показатели достигают

Таблица 2

**Статистические показатели результатов геохимических исследований почв урбоэкосистемы г. Киев (Maciboga, 2014)**

Химический элемент	max (мг/кг)	min (мг/кг)	среднее (мг/кг)	фоновое (мг/кг)
Pb	410,00	2,00	124,00	10,00
Zn	600,00	103,00	262,55	30,00
Cu	266,00	50,00	158,00	16,00
Cr	450,00	7,00	96,70	20,00
Ni	96,00	3,00	35,86	7,00
Sn	16,40	2,00	9,20	2,00

300–500 мг/кг. Минимальное количество данного тяжелого металла характерно для Деснянского и Печерского районов – не превышает 150 мг/кг.

Содержание Си в почвах Киева варьируется от 60 мг/кг, в Деснянском и Днепровском районах до 250 мг/кг в западной и юго-восточных частях города. Для Си характерной остается общая тенденция повышения концентраций в промышленных районах и резкое уменьшение там, где отсутствуют объекты промышленности, с тем отличием, что на большей части территории агломерация имеет показатели выше средних (160 мг/кг).

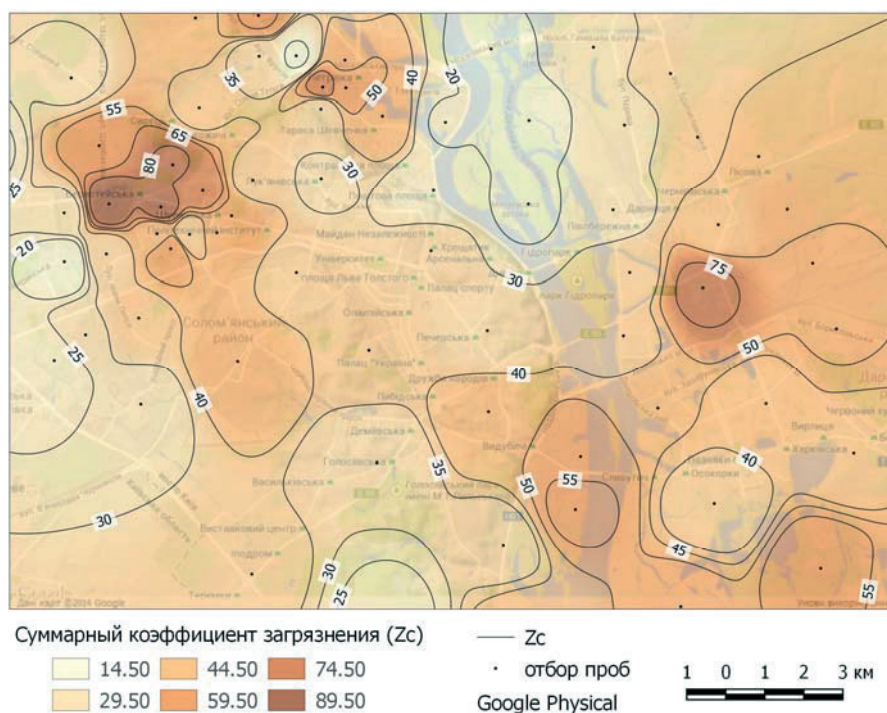
Особенный характер пространственного распределения свойственный Сг. Данный химический элемент не создает больших ареалов с повышенными показателями содержания, для него характерно наличие отдельных, небольших по площади, участков с концентрацией, которая достигает 250–450 мг/кг в Днепровском районе, 200–400 мг/кг в Соломенском и 150–250 мг/кг в Шевченковском. Для остальной территории исследования содержания Сг не превышает 80–100 мг/кг.

Ni в городских почвах распространяется неравномерно. Для него характерно значительное повышение концентрации в юго-восточной части Киева до 70–90 мг/кг (преимущественно Дарницкий район) и отдельные небольшие ареалы в Шевченковском и Оболонском районах, где данные показатели достигают 70–80 мг/кг. Минимальное ко-

личество Ni наблюдается в Соломенском, Печерском и северной части Днепровского района – до 30 мг/кг.

Пространственное распределение Sn характеризуется превышением среднего показателя концентрации (9 мг/кг) на большей территории Киева, образуя ареалы со значениями выше 12 мг/кг в северо-западной (Подольский, Шевченковский и Оболонский районы), северо-восточной (Деснянский и часть Днепровского р-на) и юго-восточной (Дарницкий р-н) частях города. Минимальным содержанием отличаются Соломенский и Голосеевский районы – до 5 мг/кг.

Пространственное распределение суммарного показателя техногенного загрязнения почв урбоэкосистемы Киева (Macibora, 2014) (рис) позволяет выделить районы, наиболее загрязненные ТМ с позиции их совместного воздействия. Наиболее высокие значения  $Z_c$  характерны для северо-западной части города (Шевченковский и Оболонский р-ны), где данный показатель достигает значений 80–90. Максимальные показатели  $Z_c$  вероятно обусловлены размещением в данных районах нескольких промышленных объектов на ограниченной площади, среди которых: «6-й Киевский авторемонтный завод», ОАО «Киевский авторемонтный завод № 1», ПАО «Киевское центральное конструкторское бюро арматуростроения», Комбинат печати «Украина», Институт сверхтвер-



**Рис.** Пространственное распределение суммарного показателя техногенного загрязнения ( $Z_c$ ) почв г. Киев (Macibora, 2014)

дых материалов НАН Украины, ПАО «Киевский завод реактивов, индикаторов и аналитических препаратов», ЗАО «Полимер». Вторым участком с относительно высоким значением  $Z_c$  является восточная часть Киева (Днепровский р-н), где коэффициент достигает 50–70. Среди наибольших объектов промышленного производства данного района стоит выделить: ООО «Киевский лакокрасочный завод «Макрофарб», ОАО «Киевхимволокно», ООО «Киевский завод «Вулкан». Повышение  $Z_c$  характерно также для южных частей Киева (на границе Дарницкого и Голосеевского р-нов), где суммарный коэффициент техногенного загрязнения составляет 30–50. Наиболее мощными объектами промышленности в данном районе являются: ОАО «Киевский завод железобетонных изделий № 5», Киевский комбинат «Стройиндустрия» и ОАО «Корчеватский комбинат строительных материалов».

Понятие «формы нахождения ТМ в почвах» введено в почвоведение и агрохимию в связи с проблемой поступления токсичных металлов из почвы в растения. Позднее исследование форм нахождения ТМ в почвах, и особенно их подвижность, стали использовать при поисках полезных ископаемых. В последние годы показатели подвижности используют как эколого-геохимические критерии степени загрязнения территории под влиянием предприятий различного профиля. Для определения форм нахождения элементов используются различные химические соединения, обладающие неодинаковой экстрагирующей способностью. К подвижным формам мы относили

металлы, связанные с водорастворимой формой и легкообменными ионами. Для исследования были выбраны почвенные образцы техногенно загрязненных почв в непосредственной близости от источников загрязнения, а также фоновые почвы Киевского Полесья.

Закономерности распределения ТМ в почвах обусловлены их физико-химическими свойствами, минералого-геохимическими параметрами почвообразующих пород, ландшафтными и техногенными условиями территории. Подвижность металлов в изучаемых фоновых почвах, как показали исследования (Samchuk, 1993), с увеличением содержания гумуса и глинистой фракции понижается. Поэтому в дерново-подзолистых почвах большая часть металлов связана с остаточной фракцией (60 %), меньшая – с почвенным гумусом (30 %).

Среднее содержание валовых и подвижных форм ТМ в незагрязненных почвах Киевского Полесья и техногенных почвах г. Киев под влиянием различных видов промышленности представлены в таблице 3.

В результате проведенных исследований установлено, что в загрязненных почвах г. Киев валовое содержание ТМ выше фонового в десятки раз. На территориях, подверженных техногенному загрязнению от предприятий машиностроения и металлообработки, резко повышается содержание подвижных форм ТМ по сравнению с фоном. Например, содержание подвижных форм Pb повышается в 4,2; Zn – 5; Co – 2,8; Cu – 4,2 раза, следовательно, увеличивается их подвижность.

Таблица 3

**Среднее содержание валовых и подвижных форм ТМ в фоновых почвах Киевского Полесья и техногенно загрязненных почвах г. Киев, мг/кг**

Хим. элемент / Тип почвы	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	Pb
Фоновые почвы Киевского Полесья						
Дерново-слабоподзолистая (n = 25)	$\frac{56}{2,3}$	$\frac{16}{2,1}$	$\frac{18}{1,5}$	$\frac{16}{1,2}$	$\frac{10}{0,2}$	$\frac{12}{0,3}$
Дерново-среднеподзолистая (n = 32)	$\frac{38}{2}$	$\frac{14}{2}$	$\frac{16}{1,2}$	$\frac{10}{0,8}$	$\frac{18}{0,4}$	$\frac{10}{0,2}$
Техногенно загрязненные почвы г. Киева под влиянием промышленности						
Хим. элемент / Вид промышл.	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	Pb
Машиностроение и металлообработка (n = 19)	$\frac{1100}{11,6}$	$\frac{220}{8,8}$	$\frac{30}{9}$	$\frac{25}{3,3}$	$\frac{40}{1,2}$	$\frac{150}{1,3}$
Тепловые электростанции (n = 28)	$\frac{500}{5,2}$	$\frac{150}{7,3}$	$\frac{20}{8,5}$	$\frac{20}{2,8}$	$\frac{35}{0,8}$	$\frac{200}{2,0}$
Приборостроение (n = 18)	$\frac{600}{5,8}$	$\frac{200}{8,2}$	$\frac{20}{8,0}$	$\frac{30}{2,5}$	$\frac{20}{0,8}$	$\frac{250}{2,0}$

Примечания: в числителе – валовое содержание; в знаменателе – подвижная форма, n – количество проб.

Таким образом, показатель подвижности токсичных элементов в почвенных отложениях констатирует химическое загрязнение почв, а также определяет дальнейшее их поступление в окружающую среду.

Состав почвенных растворов формируется в результате взаимодействия твердой, жидкой, газообразной и живой фаз почв в условиях постоянно изменяющихся внешних факторов. Химический состав почвенных растворов обуславливает разрушение и синтез гумусовых веществ, формирование вторичных минералов, влияет на образование комплексных соединений органической и неорганической природы. Из почвенного раствора растения получают необходимые питательные вещества, в том числе макро- и микроэлементы. Формы нахождения химических элементов в почвенных растворах определяют их устойчивость в системе и, следовательно, био- и геохимическую активность в трофической цепи. Концентрация химических элементов в почвенном растворе зависит от характера взаимодействия с растительностью, адсорбционной поверхностью твердой

фазы почв, труднорастворимыми соединениями, антропогенными и климатическими факторами, органическими веществами и микроорганизмами, а также почвенным воздухом.

Очень сложно выполнить расчет миграционных форм химических элементов, так как необходимо знать взаимосогласованные термодинамические параметры их комплексных соединений, особенно с органическим веществом. По программе MINTEQA2 нам удалось выполнить расчет равновесного распределения миграционных форм химических элементов с учетом содержания органики в почвенных растворах фоновых дерново-подзолистых почв Киевского Полесья и техногенно загрязнённых почв г. Киев (табл. 4).

Повышенное содержание металлов в почвенных растворах техногенно загрязнённых почв изменяет распределение их форм миграции. Миграция ТМ в почвенных растворах в фоновых дерново-подзолистых почвах осуществляется в основном в виде металлорганических комплексов с ФК и ГК, а также в виде свободных катионов. При повышении концентрации ТМ в почвенных ра-

Таблица 4

**Среднее содержание миграционных форм химических элементов в дерново-подзолистой почве, % (Zhovinskij, 2002)**

Миграционная форма	Фоновая почва	Техногенно загрязненная почва
Ni <sup>2+</sup>	2,0	59,1
NiФК	78,6	33,5
Ni(OH)ФК <sup>-</sup>	17,3	1,4
NiOH <sup>+</sup>	-	1,9
NiCO <sub>3</sub>	1,6	2,1
NiPCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	-	-
NiSO <sub>4</sub>	-	1,4
Co <sup>2+</sup>	43,1	80,4
CoHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	11,0	4,4
CoSO <sub>4</sub>	35,4	14,9
CoФК	9,1	-
CoCO <sub>3</sub>	-	-
Cu <sup>2+</sup>	2,8	57,9
CuOH <sup>+</sup>	6,5	29,3
Cu(OH) <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	4,9	4,6
Cu <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	-	2,9
CuCO <sub>3</sub>	1,6	1,5
CuHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	-	1,5
Cu(OH) <sub>2</sub> ФК <sup>2-</sup>	82,5	-
CuГК	1,0	-
Zn <sup>2+</sup>	55,7	95,5
ZnHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	1,7	-
ZnCO <sub>3</sub>	1,2	-
Zn ФК	33,6	-
ZnSO <sub>4</sub>	7,0	2,7

Примечания: ФК – фульвокислота, ГК – гуминовая кислота, «-» – <1 %.

створах техногенно загрязнённых почв увеличиваться миграция ТМ в форме свободных катионов.

Важный показатель подвижности химических элементов в почве – потенциальная буферная способность (ПБС) почв к загрязнению конкретным химическим элементом. ПБС характеризует способность почвы при изменении внешних условий поддерживать в почвенном растворе определенный уровень концентрации элемента при дальнейшем поступлении его в сопредельные среды. Почва, ПБС которой снижена или полностью исчерпана в связи с попаданием в нее больших доз токсичных элементов, надолго или навсегда остается загрязненной.

С помощью математического моделирования получена мультипликативная модель процесса изменения ПБС почвы в зависимости от ее физико-химических свойств и оценена степень их влияния. ПБС почвы возрастает с увеличением содержания в ней глинистой и органической составляющей, рН почвенного раствора и емкости обменных катионов. Однако степень влияния этих факторов различна: наибольшее влияние оказывает рН почвенного раствора и содержание гумуса.

Мы рассчитали ПБС дерново-подзолистых почв по отношению к загрязнению медью, цинком, кобальтом и никелем с учетом разных концентраций ТМ и физико-химических свойств почвенных отложений. Например, ПБС по отношению к загрязнению медью фоновых дерново-среднеподзолистых почв составляет 9,2, а техногенно загрязнённых на расстоянии 500 м от источника загрязнения – 4,3.

Важным показателем геохимической трансформации техногенно загрязненных почв является изменение их биологического состояния, которое можно оценить по видовому составу микромицет.

По результатам эколого-геохимических исследований почв г. Киев с повышенным содержанием ТМ мг/кг: Zn – 800, Pb – 600, Cu – 600 было установлено, что активные процессы урбанизации приводят к образованию новых искусственных экосистем с особенными микробиологическими свойствами. Смена количества отдельных эколого-трофических групп микроорганизмов в техногенно загрязненных почвах Киева свидетельствует о значительном нарушении их функционирования. Количество микромицетов в общем комплексе грибов увеличивается до 80 % за счет резкого уменьшения части случайных видов. Отмечено снижение биоразнообразия микромицетов в тех-

ногенно загрязнённых почвах Киева и выявлены изменения их видового состава в связи с угнетением роста в городских урбосистемах. Появились новые виды микромицетов, стойких к высоким концентрациям ТМ, а также аллергические виды грибов рода *Alternaria*. Виды с фунгиантибиотическим и фитозоотоксическим действием *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus*, которые конкурируют с другими видами за место проживания. Образуется много телесно окрашенных грибов, меланин которых не только обеспечивает защиту от высушивания, но и повышает стойкость по отношению к повышенному содержанию Zn. Большое значение имеет также тот факт, что выделенные виды *Fusarium* стойкие к высоким концентрациям меди, а виды *Penicillium*, *Aspergillus* – к свинцу и кадмию, что связано со сменами биохимического аппарата клеток в урбазёме городских экосистем. В изменённой микобиоте городских почв чётко проявляется феномен накопления «меланинсодержащих грибов», а также видов, опасных для человека. Анализ видового состава показал, что полученные результаты можно использовать с целью биоиндикации для оценки данного антропогенного действия на почвенную микобиоту с целью прогноза негативных последствий действия грибов в городской среде. Ферментативный аппарат микромицетов может изменять подвижность и доступность соединений ТМ, понижая или повышая их токсичность. В техногенно загрязнённых почвах образуются микромицеты, которые обладают антитоксичными свойствами, повышается их устойчивость по отношению к загрязнению ТМ.

**Выводы.** Интенсивная техногенная нагрузка на почвенный покров в городах, большая концентрация объектов промышленности вызывает необходимость учета экологического фактора в развитии урбанизированных территорий и применения современных технологических решений. Полученные в результате применения ГИС - технологий пространственная база геохимических данных и модели распределения ТМ позволили выделить районы г. Киев с наиболее высоким техногенным загрязнением почв, а также установить пространственную связь с объектами антропогенной нагрузки, которые могут потенциально обуславливать развитие техногенных геохимических аномалий.

Полученные количественные эколого-геохимические показатели техногенно загрязнённых почв урбанизированных территорий Киева позволили установить, что происходит их геохимическая трансформация. Она определяется изменением



физико-химическим свойств почв, показателями форм нахождения ТМ, увеличением их подвижности, содержанием катионных форм миграции металлов в почвенных растворах, уменьшением буферной способности почв к загрязнению ТМ.

Анализ результатов биогеохимических исследований (изучение количественного и качественного составов микромицетов почв) территории г. Киев позволил установить, что техногенно загрязненные почвы с высокой концентрацией ТМ характеризуются сменой видового состава микромицетов и уменьшением их природного биоразнообразия. Биогеохимические исследования почв городской агломерации позволили установить, что на техногенно загрязненных территориях появляются стойкие к повышенным концентрациям ТМ виды грибов, типичные аллергенные виды, фитозоотоксичного действия, а также виды вредные для человека. Микробиологические исследования почв являются надежным критерием для эколого-геохимической оценки территории.

### Библиографические ссылки

- Allison, I.D., Brown, D.S., Novo-Gradac, K.I. 1990. MINTEQA 2 PRODEFA 2. A Geochemical Assessment Model for Environmental Systems: Version Z.O. User's Manual VS Environmental Protection Agency. – Athens, Georgia (USA).
- Andrejuk, E.I. 1981. Metodologicheskie aspekty izuchenija mikrobnih soobshhestv pochvy [Methodological aspects of the study of soil microbial communities]. Naukova dumka, Kyiv (in Russian).
- Arinushkina, E.V. 1970. Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv [Guidance on chemical analysis of soil]. MSU, Moscow (in Russian).
- Glazovskaja, M. A. 1997. Metodologicheskie osnovy ocenki jekologo-geohimicheskoy ustojchivosti pochv k tehnogennym vozdeystvijam [The methodological framework for the assessment of ecological and geochemical soil resistance to anthropogenic impacts]. MSU, Moscow (in Russian).
- Homich, V.S., Kakareka, S.V., Kuharchik, T.I. 2004. Jekogeohimija gorodskih landshaftov Belarusi [Ecogeochemistry urban landscape of Belarus]. Minsktippprojekt, Minsk (in Russian).
- Karmazyenko, S.P., Kurajeva, I.V., Samchuk, A.I., Vojtjuk, Ju.Ju., Manichev, V.J. 2014. Vazhki metaly u komponentah navkolishn'ogo sere-dovyshha m. Mariupol' (ekologo-geohimichni aspekty) [Heavy metals in the components of the environment. Mariupol (ecological and geochemical aspects)]. Interservis, Kyiv (in Ukrainian).
- Kasimov, N.S., Perel'man, A. I. 1992. O geohimii pochv [About soil geochemistry]. Pochvovedenie. 2, 9-27 (in Russian).
- Kozlova, I.P., Radchenko, O.S., Stepura, L.G., Kondratjuk, T.O. 2008. Geohimichna dijal'nist' mikroorganizmiv ta її prikladni aspekty [The geochemical activity of microorganisms and its practical aspects]. Naukova dumka, Kyiv (in Russian).
- Ladonin, D.V. 2002. Soedinenija tjazhelyh metallov v pochvah – problemy i metody izuchenija [The compounds of heavy metals in soil - problems and methods of investigation]. Pochvovedenie. 6, 682–692 (in Russian).
- Macibora, A.V., Liseckij, F.N., Kuraeva, I.V., Vojtjuk, Ju.Ju. 2014. Geoinformacionnoe modelirovanie raspredelenija tjazhelyh metallov v pochvah goroda Kieva [GIS modeling of distribution of heavy metals in the soils of the city of Kiev]. Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. 23(194), 156–162 (in Russian).
- Mickevich, B.F. 1971. Geohimicheskie landshafty Ukrainского shhita [Geochemical landscapes of the Ukrainian shield]. Naukova dumka, Kyiv (in Russian).
- Saet, Ju.E., Revich, B.A., Janin, E.P. 1990. Geohimija okruzhajushhej sredy [Environmental Geochemistry]. Nedra, Moscow (in Russian).
- Samchuk, A.I., Mickiewicz, B.F., Sushchik, Y.Y., Shramarenko, I.F. 1993. Mobile forms of heavy metals in the soils of the Kiev Polesye [Mobile forms of heavy metals in the soils of the Kiev Polesye]. Geological Journal. 1, 81-86 (in Russian).
- Vodjanickij, Ju.N., Ladonin, D.V., Savichev, A.T. 2012. Zagrzaznenie pochv tjazhelymi metallami [Pollution of soils with heavy metals]. Pochvennyj in-t im. V.V. Dokuchaeva RASHN, Moscow (in Russian).
- Zhovinskij, Je.Ja., Kuraeva, I.V. 2002. Geohimija tjazhelyh metallov v pochvah Ukrainy [Geochemistry of heavy metals in soils of Ukraine]. Naukova dumka, Kyiv (in Russian).

Надійшла до редколегії 10.09.2016