УДК 504.06

Г. В. ТІТЕНКО, канд. геогр. наук, доц.

(Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна)

ОСОБЛИВОСТІ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ ВАЛОВИХ І РУХОМИХ ФОРМ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ ВЕЛИКОГО МІСТА (на прикладі м. Харків)

Оптимізація просторової організації системи великого міста передбачає обов’язкове урахування екологічної складової. Шляхом реалізації цього є визначення грунтово-геохімічних особливостей забруднення важкими металами. Визначено особливості утворення контрастних аномалій важких металів та умови їх переходу з валової до рухомих форм.

Ключові слова: важкі метали, міські ґрунти, типи забруднення ґрунтів, просторове зонування, кластерний аналіз.

Постановка проблеми. Надвелика концентрація підприємств промисловості, енергетики, транспорту у містах, їх соціально-економічна специфіка призводить до утворення у міських ґрунтах техногенних аномалій різноманітних мікроелементів, у т.ч. важких металів. Харків не є винятком, і його ґрунтовий покрив, як і у більшості великих міст, має аномальний вміст важких металів. Специфіка розподілу важких металів у різних урбогеохімічних умовах, особливості взаємозв’язку між валовим вмістом важких металів та вмістом їх рухомих форм важливі як щодо розуміння закономірностей міграції полютантів у міському середовищі, так і задля оптимізації функціонального зонування міста з урахуванням екологічного стану міських ґрунтів.

Аналіз стану вивчення питання. Проблема забруднення міст важкими металами має найдовшу історію дослідження і вже можна стверджувати, що на сьогодні саме в цьому аспекті вивчення міських ґрунтів зроблено найбільше. Для багатьох великих міст Західної Європи - Берлін (Німеччина), Іновроцлав (Польша) тощо та Росії (Москва, Новгород, Братск та інш.) створені карти та кадастри забруднення ґрунтового покриву важкими металами. Визначені джерела забруднення, пріоритетні забруднювачі, шляхи їх міграції, наслідки тощо.

Дослідження вмісту важких металів у ґрунтах різних функціональних зон Харкова здійснене у різні роки фахівцями Харківського національного університету Міркою, Подобою (1989), Ліонг Куок Бінем (1995), Бортник (1999), Ричак (2005) показало, що максимальна кількість забруднювачів знаходиться у ґрунтах промислових зон. Переважають такі елементи як нікель, алюміній, марганець. У ґрунтах автотранспортних магістралей було зафіксовано декілька нижчій вміст хімічних елементів з переважанням титану, свинцю, натрію. У ґрунтах мікрорайонів як головні забруднювачі визначені натрій, фосфор, ванадій, мідь.

Результати дослідження. При вивченні забруднення міських ґрунтів проблемним залишається питання визначення особивостей просторового розподілу різних форм важких металів, їх зв’язку з природними та функціональними особливостями міста. Для вирішення цієї задачі були проведено дослідження на експериментальному полігоні, який територіально співпадає з Орджонікідзевським адміністративним районом м. Харкова.

Поверхневий розподіл важких металів визначається багатьма факторами. Це й специфіка джерел забруднення, й орографічні, метеорологічні, геохімічні та інші особивості. Враховуючи урболандшафтну ситуацію та функціональне зонування нами було здійснено опробування поверхневого шару (0-20 см) ґрунтів експериментального полігону. Дослідження проводилось на 84 ділянках, за 6 важкими металами Cr, Ni, Hg, Pb, Cd, Zn.

За валовим вмістом важких металів у ґрунтах склалася наступна ситуація. По всій території району спостерігається високий вміст свинцю (табл.1), який варіює від 13,9 до 361 мг/кг. В результаті порівняння отриманих результатів з ГДК (20 мг/кг) встановлено, що мінімальний вміст свинцю на полігоні спостерігається на ґрунтах приватного сектору південно-східної околиці району на границі з Харківським районом області і складає в середньому 0, 72 ГДК. Саме ця ділянка за морфологічними особливостями характеризується наявністю ґрунтів найбільш приближених до природних аналогів.

Максимальний вміст свинцю, що в 18 разів перевищує рівень ГДК, спостерігається на території заводу «Електроважмаш» (361 мг/кг). Показово, що максимум концентрації PbO в атмосфері також визначено на території заводу «Електроважмаш». Взаємозв'язок цих забруднень, що виявлені в різних компонентах середовища, не є

Таблиця 1 – Валовий вміст важких металів у поверхневому шарі ґрунтів різних функціональних зон експериментального полігону (мг/кг)

Статистичний параметр	Cd	Ni	Hg	Pb	Cr	Zn
Промислова зона						
Середнє значення	0,905	41,2375	0,67625	83,1125	22,2375	375,875
Стандартне відхилення	0,86368	24,10429	0,096501	113,8517	9,106973	510,7097
Квадратичне відхилення	5,2216	4067,119	0,065188	90735,47	580,5588	1825771
Максимум	3	99,9	0,85	361	41	1457
Мінімум	0,45	26,8	0,53	13,9	12,6	46
Амплітуда	2,55	73,1	0,32	347,1	28,4	1411
Дисперсія	0,745943	581,017	0,009312	12962,21	82,93696	260824,4
Медіана	0,585	32,9	0,645	52,05	22,3	127
Мода	0,5	32,9	0,64	#Н/Д	23,2	86
Ексцес	7,047188	7,211481	0,745069	7,357787	2,076912	2,429083
Селітебна зона						
Середнє значення	0,37	25,81111	0,791111	25,85556	14,23333	82,22222
Стандартне відхилення	0,085878	2,813558	0,08838	17,85883	1,068878	53,52244
Квадратичне відхилення	0,059	63,32889	0,062489	2551,502	9,14	22917,22
Максимум	0,5	28,8	0,95	68	16,1	196
Мінімум	0,25	20,5	0,68	13,9	12,5	43,1
Амплітуда	0,25	8,3	0,27	54,1	3,6	152,9
Дисперсія	0,007375	7,916111	0,007811	318,9378	1,1425	2864,652
Медіана	0,37	26,9	0,78	19,7	14,3	58,2
Мода	0,37	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	14,3	#Н/Д
Ексцес	-1,12956	-0,2384	-0,18784	4,038489	0,341307	1,722899
Паркова та санітарно-захисна зона						
Середнє значення	0,431333	23,20667	0,601778	31,26444	30,18	86,86667
Стандартне відхилення	0,072703	2,291942	0,178017	30,6003	7,365774	44,878
Квадратичне відхилення	0,042286	42,024	0,253522	7491,025	434,037	16112,28
Максимум	0,542	27,22	0,837	106,36	37,86	167
Мінімум	0,042286	2,291942	0,178017	30,6003	7,365774	44,878
Амплітуда	0,499714	24,92806	0,658983	75,7597	30,49423	122,122
Дисперсія	0,005286	5,253	0,03169	936,3782	54,25462	2014,035
Медіана	0,432	23,27	0,594	17,1	30,27	64,9
Мода	0,432	#Н/Д	0,78	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
Ексцес	-0,34328	1,955153	-1,88474	5,307081	4,950889	0,076149

винятковим й свідчить про переважно атмотехногенний шлях надходження таких важких металів як свинець, цинк тощо до міського ґрунту. Середня концентрація свинцю в районі дорівнює 52,52 мг/кг (2,6 ГДК). Істотна відмінність вмісту валового свинцю спостерігається в житловій і промисловій зонах: Рсер Pb (житловий зони)= 25,3 мг/кг (1,3 ГДК); Рсер Pb (промислової зони)= 83,2 мг/кг (4,2 ГДК). Це є цілком природно, тому що саме ця територія максимально потерпає від атмотехногенного забруднення, маючи велику концентрацію різноманітних промислових джерел викидів. Відомо, що більша частина осаджується в межах 1-2 км, 10-40% - в межах 8-10 км від підприємства. Однією з причин високого фактичного рівня свинцю в ґрунтах є велика інтенсивність руху транспорту. І незважаючи на те, що при відборі проб це враховувалося, повністю уникнути накладення «промислового» і «транспортного» свинцю неможливо.

Про стан забруднення свинцем можна судити не тільки за рівнем перевищення ГДК, але і за середнім вмістом свинцю в ґрунтах, що, за А. Л. Виноградовим і Д. П Малюгою (1987), складає 10 мг/кг, а за даними Н.С.Касімова (1995) середній вміст свинцю в фонових ґрунтах змінюється від 5-50 мг/кг. Показово, що середнє значення концентрації свинцю безпосередньо на території Харківського тракторного заводу (ХТЗ) не перевищує цього значення і складає 32,3 мг/кг (1,6 ГДК). У цілому на території ХТЗ спостерігається мінімальне для промислової зони забруднення ґрунтів свинцем, причому деякі значення навіть близькі до фонових.

Достатньо високі рівні забруднення свинцем становлять серйозну потенційну загрозу щодо якості підземних вод. Реакція міських ґрунтів переважно нейтральна або слаболужна і в таких умовах свинець, що надходить при забрудненні, порівняно легко утворює гідрооксид, але дослідження довели надмірно високий вміст рухомих форм свинцю та значний відсоток рухомих форм свинцю по відношенню до валових, який в середньому становить 50-70%.

Жодний із зразків, що аналізувалися, не задовольняє нормативу на вміст цинку в ґрунті. Надзвичайно висока концентрація цинку виявлена на АТ «Харківський підшипниковий завод» (ДПЗ-8). Тут рівень ГДК перевищує в 63,4 разу (1457 мг/кг). Другий максимум вмісту цинку спостерігається на ХТЗ - 37.3 ГДК (857 мг/кг). Однак тут же є проби з вмістом цинку, близьким до фонових. Середній вміст цинку у приватному секторі складає 78,4 мг/кг, у зоні 5-поверхової забудови - 148 мг/кг, на умовно фоновій ділянці (целинні с/г угіддя, р-н Рогані) 45,7 мг/кг (2 ГДК).

Вміст Mn, Cd, Ni і Hg в зразках, що аналізувалися, ніде не перевищував рівень ГДК рівний відповідно 400, 3, 100 і 2.1 мг/кг. Середня концентрація виявлена в ґрунтах: по Mn-268; Cd-0, 63; Ni – 33,1; Hg – 0,73 мг/кг.

У цілому за забрудненням валовими формами важких металів спостерігається різке підвищення рівня концентрації в промисловій зоні у порівнянні з житловою. Найбільш істотну роль в забрудненні важкими металами відіграє свинець, меншу цинк. Їхній вміст майже ніде не задовольняє ГДК, причому по цинку підвищення досягає 18 ГДК, по свинцю – 63,4 ГДК. Вміст Hg, Cd, Mn, Ni відносно не високий.

Для характеристики рівнів та ступеню небезпечності забруднення ґрунтів важкими металами та ступеню концентрації елементів у міських ґрунтах було розраховано відповідно сумарний показник забруднення (Zc) та коефіцієнт концентрації (Кс) (Методологічні рекомендації з геохімічної оцінки, 1982).

За значеннями сумарного показника забруднення більшу частину полігону віднесено до III та II рівня забруднення (відповідно 47,6 та 40,5 % від загальної кількості досліджених зразків). Локальні максимуми спостерігаються в північній частині полігону, в районі відвалів ХТЗ, а також у місті зосередження таких промислових об’єктів, як завод залізобетонних конструкцій, дослідницький цегельний завод, плитковий завод та на перехресті кількох автомобільних шляхів та залізниці.

Аномалія спостерігається у санітарно-захисній зоні (СЗЗ) біля Московського проспекту на відрізку між перехрестями вулиць Роганська та Плиткова з

Московським проспектом. Високий Zc має також промислова зона Роганського масиву (південно-східна частина району).

Аналіз досліджень доводить, що найбільш високі рівні забруднення міських ґрунтів спостерігаються при територіальному поєднанні впливу потужних промислових підприємств, залізничного та автомобільного транспорту.

Території з низьким, практично безпечним рівнем забруднення поширені здебільшого у районах багатоповерхової селитьби (мікрорайон «Горизонт»), рідко забудованого приватного сектору та СЗЗ на південно-західний околиці району.

Ґрунтів з надмірно високим ступенем забруднення важкими металами на території полігону не виявлено.

Взагалі, у міських ґрунтах формуються техногенні ореоли забруднення складної будови і просторової локалізації. Ореоли забруднення важкими металами у поверхневому шарі охоплюють різні природно-функціональні зони району досліджень та утворюють контрастні аномалії елементів.

Приоритетними елементами забруднення ґрунтів є Hg, Zn, Pb, Cd, які накопичуються у поверхневому горизонті ґрунтів, утворюючи техногенні аномалії.

Максимальні значення показнику Кс досягають для ртуті 49,5, свинцю - 36,1, цинку - 29,1, кадмію - 7,0. Аномалії високої інтенсивності (які перевищують 10-кратно фонові) утворюють Hg та Zn. Причому, якщо техногенна аномалія цинку просторово охоплює лише промислову зону, то аномалія ртуті поширюється майже на весь полігон. Суцільне збільшення концентрації ртуті понад фоновим вмістом може пояснюватись тривалим експонуванням ґрунтового покриву полігону атмотехногенним забрудненням.

Виявлений Кс (Hg) надає підстави вважати цей забруднювач специфічним для південно-східної частини Харкова. У попередніх дослідженнях Харкова ртуті серед пріоритетних забруднювачів не виявлялось.

Статистичні залежності концентрацій валових форм важких металів у поверхневому шарі ґрунту було проаналізовано за допомогою різних методів кластерного аналізу (пакет Statistica 5.0). Цей метод має ряд переваг, по-перше, він дозволяє враховувати увесь комплекс показників, що досліджуються, по-друге, на відміну від інших він дає можливість звести до мінімуму неоднорідність визначення критеріїв щодо синтетичного зонування (групування) даних моноелементного забруднення.

Оцінка забруднення ґрунтів важкими металами здійснювалась для 6 головних забруднювачів: Pb, Zn, Cr, Cd, Ni, Hg. Як додатковий показник масиву було включено pH ґрунтів, як один із основних факторів, який визначає поведінку забруднювачів у ґрунті та стійкість урболандшафту.

Таким чином, внаслідок аналізу отриманих даних щодо забруднення окремими важкими металами міських ґрунтів можна виділити три головні типа забруднення ґрунтів:

I - поліелементні свинцово-цинково-нікелеві аномалії при лужних та слаболужних показниках pH ґрунтів;

II - поліелементні бездомінантні аномалії при лужних та слаболужних показниках pH ґрунтів;

III - поліелементні аномалії з незначним домінуванням Pb та Ni при нейтральних показниках pH ґрунтів.

Зонування, яке отримано на основі кластерного аналізу не підтверджує достовірні розбіжності між екологічним станом різних територій району згідно функціональному зонуванню. Виходячи з цього, можна зробити висновки, що головними чинниками формування ареалів забруднення ґрунтового покриву міста є специфічні умови атмотехногенного постачання забруднювачів та властивості ґрунтового тіла.

Санітарно-захисні зони призвані захищати і певною мірою захищають населення від шкідливих викидів промислових зон, але не попереджають забруднення ґрунтового покриву важкими металами. Тобто оптимізація урболандшафту має бути орієнтованою на властивості міських ґрунтів, які визначають головні тенденції та закономірності міграції забруднювачів.

Визначені аномалії, як за рівнем забруднення, так і за елементним складом характеризуються:

1) певною відокремленістю групи ґрунтів промислової зони, а саме тих з них, які були відібрані на промислових ділянках;

2) невираженністю специфічного забруднення важкими металами у житлової зоні з багатоповерховою забудовою та зони приватного сектору;

3) подібністю як рівня, так і елементного складу забруднення у промисловій та у зоні 5-поверхневої старої забудови.

Важливе значення для діагностики стану ґрунтового покриву має визначення поряд з валовими й рухомих форм важких металів. Рухомість важких металів тісно пов`язана з фізико-хімічними та хімічними властивостями ґрунтів. Так, накопиченню у міському ґрунті важких металів сприяють лужна реакція середовища, значна збагаченість органічною речовиною, високий вміст мулу у гранулометричному складі та надмірне надходження забруднювачів атмотехногенним шляхом.

Певна частина сполук важких металів переходить до водного розчину ґрунту та виноситься за межи ґрунтового профілю. Саме ця частина мікроелементного складу ґрунтів є головним джерелом забруднення ґрунтових вод.

Спряжений аналіз валових та рухомих форм важких металів у поверхневому шарі ґрунтів (0 - 20 см), свідчить про високий відсотковий вміст рухомих форм металів від їх валової кількості. Спостерігається також тісний позитивний взаємозв`язок між означеними формами важких металів у нікелю, ртуті, свинцю, цинку (відповідно r - 0,88; 0,96; 0,97; 0,98) та наявність певного зв`язку у хрому та кадмію (відповідно r - 0,5; 0,37). Коефіцієнт кореляції між відповідними зразками свідчить про значний достовірний взаємозв`язок r = 0,79-0,99.

Частка витягання сполук важких металів азотнокислою витяжкою (1 н HNO_3) складає для кадмію 36,91-66,77%, для нікелю 10,44-43,17%, для ртуті 64,81-86,92%, для свинці 31,17-95,17, для хрому 3,48-18,25, для цинку 2,84-74,11.

Дослідженнями російських вчених (Лепнева, Обухов, 1990) визначено, що частка витягування сполук важких металів буферною витяжкою відносно валового вмісту у гумусовому шарі складає 11-15 % для свинцю, 20-55 % для цинку та 12-44% для кадмію. Г.В. Добровольский (1997) відзначає, що більш над усе важких металів витягує азотнокисла витяжка та відсотковий вміст цих форм від їх валової кількості складає у ґрунтах Москви для свинцю та цинку 60-90%, для хрому, нікелю та кадмію - 15-30% (за даними Обухова, Кутукова, 1990). За даними Ладониной (1997) частка витягування Zn складає 2-72%. Ці дані по цинку фактично повністю збігаються з отриманими нами. Взагалі визначений нами відсоток вмісту рухомих форм до валових перевищує значення щодо ґрунтів Москви незначно по нікелю, значно по кадмію та менше в 2 рази по хрому. Відповідні дані для свинцю та цинку щодо міських ґрунтів Харкова та Москви відносно подібні.

Взагалі така висока відсоткова частка витягування важких металів та істотне коливання значень цього показника свідчить з одного боку про високе техногенне надходження забруднювачів до міських ґрунтів, а з другого - про суттєву неоднорідність та мозаїчність ґрунтового покрову міста. Визначено, що у фонових природних ґрунтах рухомих форм, як правило, біля 1-5 % від їх валового вмісту.

Аналіз варіювання показників валових та рухомих форм по функціональним зонам надає можливість виявити певні тенденції:

1. На відміну від розподілу валових форм відсоток рухомих сягає максимальних значень у промисловою зоні тільки для цинку та нікелю. Щодо інших мікроелементів, що визначалися, їх перехід до рухомої форми був значно інтенсивнішим у селитебній та у парковій та санітарно-захисної зонах. Це свідчить про те що високий валовий вміст важких металів у ґрунті не обумовлює значний перехід до рухомої форми. Вважаємо, що головним чинником цього є підлуження ґрунтів у промисловій зоні.

2. Паркова та санітарно-захисні зони серед інших функціональних зон мають найбільшу інтенсивність переходу свинцю та ртуті до рухомої форми.

3. Селітебна, паркова і санітарно-захисна зони серед інших мають однаковий перехід кадмію до рухомих форм, який до того ж на 7% вищий за промислову зону.

4. Перехід ртуті до рухомої форми має схожі значення по всій площі району зі зростанням на 1-2% у ряду паркова та санітарна - захисна зони ⇒ промислова зона ⇒ селитебна зона.

5. Мінімальна інтенсивність переходу свинцю до рухомої форми (45,03%) спостерігається у промисловій зоні. На 10 % вища за неї у селитебній зоні. Паркова та санітарно-захисна зона має максимальний перехід свинцю, який на 18% вищий за промзону.

6. Перехід до рухомої форми хрому незначно варіює від 9,88% у промисловій зоні та 12,16 % у парковій в санітарно-захисній зоні до 14,43% у селитебній зоні. Подібний розподіл відсотку переходу за функціональними зонами мають нікель та цинк. Практично однакові значення показника переходу у промисловій та селітебній зонах, з незначним переваженням у промисловій та значно менший - у парковій і санітарно-захисній зоні.

В цілому, слід відзначити, що міські ґрунти селітебної зони характеризуються найбільшим відсотком рухомих форм хрому та ртуті. Так, забруднення ґрунтів важкими металами найнебезпечнішим є у селитебній зоні, тому що при відносно низьких валових концентраціях важких металів велика їх частка стає рухомою, тобто залучається до активної міграції в урболандшафті.

ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
2. Ґрунтово-геохімічне обстеження урбанізованих територій. Методичні рекомендації./Укладачі: чл.-кор. УААН докт.с.-г.наук проф.С.А.Балюк, докт. с.-г. наук А. І. Фатєєв, канд. с.-г. наук М. М. Мірошниченко. – Х.: ННЦ «ІГА ім. О. Н. Соколовського» УААН, 2004. – 54 с.
3. *Гуцуляк В. М.* Ландшафтно-геохімічна екологія: Навчальний посібник. – Чернівці: Рута, 2001. – 318 с.
4. Державні санітарані правила планування та забудови населених пунктів/ Затвержені наказом МОЗ №173 від 19.06.1996.
5. *Лепнева О. М., Обухов А. И.* Экологические последствия влияния урбанизации на состояние почв Москвы // Сб.: Экология и охрана окружающей среды Москвы и Московской области. – М., 1990. – С.63-69.
6. *Малишева Л. Л.* Ландшафтно- геохімічна оцінка екологічного стану територій .-К.: РВЦ "Київський університет", 1997р. – 264с.
7. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими елементами / Сост. В.А.Ревич, Ю.К.Сает, В.С. Смирнова, Е.В.Сорокина. - М.: ИМГРЕ, 1982. – 112 с.
8. Методические указания по оценке степени загрязнения почв химическими веществами. – М., 1987.
9. *Строганова М. Н., Агаркова М. Г.* Городские почвы: опыт изучения и систематики (на примере почв юго-западной части г.Москвы) // Почвоведение. – 1992. - №7. – С. 16-24.
10. Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Касимова Н.С. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 336 с.

УДК 504.06

ТІТЕНКО Г.В.
Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВАЛОВЫХ И ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ КРУПНОГО ГОРОДА (на примере г. Харькова)

Оптимизация пространственной организации системы крупного города предполагает обязательный учет экологической составляющей. Путем реализации этого является определение почвенно-геохимических особенностей загрязнения тяжелыми металлами. Определены особенности образования контрастных аномалий тяжелых металлов и условия их перехода из валовой в подвижные формы.

Ключевые слова: тяжелые металлы, городские почвы, типы загрязнения почв, пространственное зонирование, кластерный анализ.

UDK 504.06

TITENKO A.V.
V.N. Karazin Kharkiv National University

PECULIARITIES OF HEAVY METALS GROSS AND MOBILE FORM DISTRIBUTION IN CITY SOIL (on the example of Kharkiv)

Optimization of the city space organization system supposes obligatory calculation of ecology components. The way of its realization is

determination of soil-geochemical peculiarities of heavy metals pollution contrast anomaly formation and conditions of their transformation from gross form into mobile form were determined.

Key words: heavy metals, urban soil, type of soil pollution, space zonation, clusters analyze.

Стаття надійшла до редколегії 15.04.2008 р.
Рецезент к.г.н . Некос А. Н.