

УДК 550.42 (477.87)

## Оцінка ступеня забруднення урбанізованих територій

**І. В. Курасва\*, Г. А. Кроїк\*\*, Ю. Ю. Войтюк\*, О. В. Матвієнко\***

\**Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна, e-mail: [yuliasun86@mail.ru](mailto:yuliasun86@mail.ru)*

\*\* *Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпропетровськ, Київ, Україна, e-mail: [no-name2001@yandex.ru](mailto:no-name2001@yandex.ru)*

Порівнюються методи оцінки ступеня забруднення урбанізованих територій. Вивчено геохімічні особливості розподілу важких металів у ґрунтах, що зазнають впливу хімічної промисловості (на прикладі м. Шостка). Наведено детальну характеристику природних умов району досліджень, а також техногенних джерел забруднення ґрунтів.

Для оцінки ступеня забруднення ґрунтових відкладів м. Шостка визначено їх фізико-хімічні властивості (рН, вміст органічної речовини, сміст катіонного обміну). Фізико-хімічні властивості визначали за методикою О. В. Арінюшкіної. Встановлено, що внаслідок аерогенних викидів підприємств хімічної промисловості відбувається зменшення рН поверхневого шару ґрунту та вмісту органічної речовини.

Для визначення валових вмістів важких металів таких як Ni, Co, Cr, Cu, Pb, Ag застосували атомно-абсорбційний метод. Як показали наші дослідження, валові концентрації важких металів у ґрунтах досліджених ділянок перевищують фонові значення в десятки разів. Розраховано коефіцієнти концентрації важких металів у ґрунтах та виділено техногенну геохімічну асоціацію. Геохімічна асоціація важких металів у ґрунтах м. Шостка представлена такими елементами (гумусовий горизонт):  $Pb_{53} > Ni_{16} > Cr_9 > Co_5 > Ag_4 > Cu_2$ .

Порівняно два підходи до визначення сумарного ґрунтового забруднення за Ю. Н. Водяницьким та Ю. Е. Састом з урахуванням ґрунтових шарів та щільності ґрунту показник сумарного ґрунтового забруднення нижчий у 4 рази обчислений за показником без урахування поширення важких металів по всьому ґрунтовому розрізу.

Вивчено закономірності розподілу валових і рухомих форм важких металів у ґрунтах. Вміст цих форм визначено методом послідовного вилучення. Вміст рухомих форм металів в районі досліджень збільшується порівняно з фоновими областями, що є додатковим критерієм оцінки забруднення ґрунтових відкладів.

Дані дослідження необхідні для вирішення теоретичних питань фізико-хімічних умов міграції важких металів у ґрунтах, а також для виконання практичних завдань урбогеохімії.

*Ключові слова: важкі метали, хімічна промисловість, ґрунти, валові концентрації, рухома форма, сумарний показник забруднення*

## Assessment of degree of contamination of urban areas

**I. Kuraeva\*, A. Kroik\*\*, Iu. Voitiuk\*, A. Matvienko\***

\**M.P. Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and oreformation of the National Academy of sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine, e-mail: [yuliasun86@mail.ru](mailto:yuliasun86@mail.ru)*

\*\* *Oles Honchar Dnipropetrovsk national university, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: [no-name2001@yandex.ru](mailto:no-name2001@yandex.ru)*

The article is devoted to comparison methods to assess the degree of contamination of urban areas and geochemical study of the peculiarities of distribution of heavy metals in soils that experience influence of chemical industry (Shostka example). This paper presents a detailed description of the natural environment of the study area, as well as man-made sources of soil contamination.

To assess the degree of contamination of soil deposits Shostka 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. It is established that due aerogenic emissions of the chemical industry is reducing the pH of the surface layer of soil and organic matter content.

To determine the total content of heavy metals such as Ni, Co, Cr, Cu, Pb, Ag, using atomic absorption method. As our research has shown gross concentration of heavy metals in the soils studied areas exceed background values tenfold. It was calculated coefficients concentrations of heavy metals in soils and highlighted technological geochemical association. The geochemical association of heavy metals in soils Shostka represented by such elements (humus horizon):  $Pb_{53} > Ni_{16} > Cr_9 > Co_5 > Ag_4 > Cu_2$ .

It compared two approaches to determine the total soil contamination Vodyanytsky J.N. and Sayet J.E. Given the density of the soil layers and indicator of total soil contamination lower in 4 times, than the figure calculated without the distribution of heavy metals throughout the soil profile.

Studied the distribution patterns of total and mobile forms of heavy metals in soils. The content of mobile forms of heavy metals is determined by the method of sequential extraction. The content of mobile forms of metals in the study area under the influence of the chemical industry increased compared to the background areas, which is an additional criterion for assessing soil sediment contamination.

These studies are needed to address the theoretical issues of physical and chemical conditions of migration of heavy metals in the soil, and to solve practical problems urbogeochemistry.

*Keywords: heavy metals, chemicals, soil, the gross concentration of mobile forms, the total index of pollution*

**Вступ.** Дослідженням вмісту важких металів у техногенно забруднених ґрунтах присвячено багато праць Ю. Е. Саєта, Ю. Н. Водяницького, В. Б. Ільїна, М. О. Глазовскої. Детальні дослідження закономірностей розподілу важких металів у техногенно забруднених ґрунтах України під впливом підприємств різного профілю проводились Е. В. Соботовичем, Е. Я. Жовінським, Б. Ф. Міцкевичем, Г. М. Бондаренком, В. В. Долиним, А. І. Самчуком та ін.

Важкі метали в основному накопичуються навколо підприємств різноманітного профілю та хімічної промисловості зокрема. Основна кількість важких металів надходить у ґрунті у вигляді техногенного пилу.

Ю. Н. Водяницький зазначає, що вплив елемента в тонкому шарі підстилки є менш небезпечний порівняно з його поширенням по всьому ґрунтовому розрізу. При цьому ступінь забруднення важкими металами ґрунтів рекомендують оцінювати за складом саме верхніх шарів, обмежуючись пробами, відібраними на глибині від 0 до 10 см (Vodjanickij, 2011).

Більш правильним уявляється підхід до визначення вмісту важких металів у ґрунтовому профілі, а не в окремому, іноді дуже тонкому, ґрунтовому шарі. Якщо під цим брудним горизонтом розташований чистий, рослинні не відчувають впливу забруднення і розвиваються нормально, не включаючи у свою масу надлишок важких металів. Таку ситуацію дуже часто спостерігають екологи на ділянках, які ґрунтознавці визнали забрудненими (Vodjanickij, 2011).

Потрібно розробити новий підхід до характеристики забруднення ґрунтів. Необхідно

перейти до середньозваженого вмісту важкого металу у ґрунтовому профілі. Тоді невеликі концентрації верхнього шару компенсуються чистими нижніми горизонтами і середня концентрація важкого металу в ґрунті може виявитись нижчою. Це допоможе підвищити об'єктивність оцінки ступеня забруднення не тільки природних, а й міських ґрунтів. Інша проблема неоднорідного розподілу поллютантів пов'язана з різноманітною щільністю горизонтів (Vodjanickij, 2011).

Мета цієї роботи – визначення закономірностей розподілу важких металів у техногенно забруднених ґрунтах та оцінювання ступеня їх забрудненості із застосуванням підходів Ю. Е. Саєта та Ю. Н. Водяницького.

**Об'єкти дослідження.** Основні полігони досліджень розмішувались на території м. Шостка Сумської області. Місто розташоване в зоні Новгород-Сіверського Полісся, частини Українського Полісся. На сході обмежене Середньоруською височиною, на півдні – Сумською лісостеповою областю. В тектонічному відношенні Новгород-Сіверське Полісся займає північну частину південно-західного схилу Воронежського кристалічного масиву, який поступово переходить у північно-східний борт Дніпрово-Донецької западини. У фізико-географічних процесах безпосередньо беруть участь крейдяні, палеогенові та антропогенові відклади, які залягають вище місцевого базису ерозії. Потужність антропогенових відкладів у районі м. Шостка складає 20 – 25 м (Verdener, 1986).

Ми дослідили три промислові зони міста, а саме: Приватне акціонерне товариство «Шостківський завод хімічних реактивів», Шостківський державний завод «Зірка»,

Відкрите акціонерне товариство «Акціонерна компанія «Свема»».

Приватне акціонерне товариство «Шостківський завод хімічних реактивів» - цех, у якому виробляли гідрокінон. Цех, розташований на північно-західній околиці міста, розпочав свою роботу в 1973 році. За радянських часів для виробництва гідрокінону застосовували небезпечну технологію, яку розробляли ще у 1920-30-х роках. Це підприємство, поряд із ще одним заводом у Союзі, забезпечувало гідрокіноном весь СРСР. Сировину для виробництва цього хімікату доставляли з різних кінців країни. Виробництво розташовувалося в межах міста. Екологічна ситуація тоді мало кого хвилювала, на першому місці стояло стратегічне питання. Виробництво проіснувало до середини 1990-х років. Після розпаду СРСР на ринок прийшли китайські конкуренти. Програвши їм, завод змушений був закрити своє екологічно шкідливе виробництво.

Завод «Зірка» заснований у 1771 році. Будівництво заводу дало початок заснуванню м. Шостка. Серед основних видів продукції – труковий та зернистий порох та заряди для різного виду артилерії. Нині підприємство випускає продукцію загальнотехнічного призначення: електроізоляційні матеріали на основі слюди, нітроцелюлозні лакофарбові вироби (нітролаки та емаль для внутрішніх та зовнішніх робіт для різноманітних поверхонь), товари побутової хімії (мийні засоби, розчинники, клеї, спеціальні фарби).

Відкрите акціонерне товариство «Акціонерна компанія «Свема» свого часу було найбільшим підприємством колишнього СРСР, яке спеціалізувалось на випуску всіх видів аматорських та професійних кінофотоматеріалів, як чорно-білих, так і кольорових. Виготовляли магнітні стрічки для аматорського звукозапису, обчислювальної техніки, телебачення. Підприємство засновано в 1931 році.

Через ці три підприємства міста екологічна ситуація за часів Радянського Союзу була дуже небезпечною. Навколо них не було навіть трав'яного покриву в радіусі 700-800 м.

**Методи та методика досліджень.** У ході польових досліджень регіону було відібрано 220 зразків ґрунтів. Проби ґрунту відбирали згідно з ДСТУ 17.4.4.02-84 навколо промислових підприємств міста.

Проведено як поверхневе, так і вертикальне випробування ґрунтових відкладів територій досліджень. Для визначення природного фону території вибрано умовно чисті території Богданівського заказника, ідентичні за своїми

морфологічними та генетичними характеристиками.

Для визначення валових вмістів важких металів, таких як Ni, Co, Cr, Cu, Pb, Ag, застосовували атомно-абсорбційний метод. Фізико-хімічні властивості визначали за методикою О. В. Аринушкіної (Arinushkina, 1970). Вміст рухомих форм важких металів визначався за методикою А. І. Самчука (Samchuk, 1993). Статистичну обробку отриманих геохімічних результатів виконано за допомогою пакету MSExcel.

За допомогою методики розробленої Ю. Н. Водяницьким (Vodjanickij, 2011) порівнювали вмісти важких металів у верхньому горизонті із їх вмістом у всьому ґрунтовому розрізі, де відбувається вплив металу на рослинність, макро- та мікробіоту. Вміст важкого металу у педоні (горизонти А+В)  $C_{\text{педон}}$  підраховували як середньозважену кількість металу, включаючи горизонт В (до горизонту С), враховуючи також різну щільність горизонтів:

$$C_{\text{педон}} = \frac{\sum C_i h_i \gamma_i}{\sum h_i \gamma_i}, \quad (1)$$

де  $C_i$  – вміст металу,  $h_i$  – потужність,  $\gamma_i$  – щільність  $i$  – шару ґрунту.

У міських агломераціях формуються техноземи, у яких вихідні ознаки генетичних шарів стерті. Для таких ґрунтів потрібно обмежуватись антропогенним шаром до фіксованої глибини, наприклад, до 1 м.

Перевищення гранично допустимої концентрації (ГДК) важким металом розраховується із співвідношення:

$$K_{\text{гдк}} = \frac{C_{\text{педону}}}{\text{ГДК}}, \quad (2)$$

де  $C_{\text{педону}}$  – концентрація металу у педоні (горизонт А+В), ГДК – гранично допустима концентрація важкого металу.

Перевищення кларкової концентрації обраховували за формулою:

$$K_{\text{кларк}} = \frac{C_{\text{педону}}}{K_{\text{кларк}}}, \quad (3)$$

де  $C_{\text{педону}}$  – концентрація металу у педоні (горизонт А+В),  $K_{\text{кларк}}$  – кларкова концентрація важкого металу.

Для перевірки двох підходів до характеристики забруднення ґрунтів вико ристовували прийняті значення кларків та ГДК важких металів. Кларки брали за А.Р. Виноградовим (Vinogradov, 1950): для нікелю – 40, кобальту – 14, міді – 20, хрому – 70, свинцю – 25 мг/кг.

Для обрахунку поліелементного забруднення ґрунтів важкими металами застосовували формулу Ю.Е. Саєта (Saet, 1990):

$$Z_c = \sum \frac{C_{\text{ґрунту}}}{C_{\text{фон}}} - (n - 1), \quad (4)$$

де  $Z_c$  – сумарний показник забруднення,  $C_{\text{ґрунту}}$  – концентрація металу у ґрунті,  $C_{\text{фон}}$  – концентрація металу на фоновій ділянці,  $n$  – кількість важких металів, що аналізуються.

Для розрахунку за формулою Ю.Е. Саєта використовують дані вмісту важких металів у верхньому ґрунтовому горизонті. На думку Ю.Н. Водяницького (Vodjanickij, 2011) аналіз забруднення ґрунтів важкими металами потрібно поширити на весь ґрунтовий горизонт, виходячи з цього, формулу Ю.Е. Саєта потрібно удосконалити:

$$Z_c = \sum \frac{C_{\text{педону}}}{C_{\text{фон}}} - (n - 1), \quad (5)$$

де  $Z_c$  – сумарний показник забруднення,  $C_{\text{педону}}$  – концентрація металу в педоні (горизонт А+В),

$C_{\text{фон}}$  – концентрація металу на фоновій ділянці,  $n$  – кількість важких металів, що аналізуються.

**Результати та обговорення.** Наші дослідження були стосувалися як техногенно забруднених ґрунтів, так і ґрунтів фонових ділянок. Як зазначалось раніше (Zhovinskij, 2002; Kuraeva, 2014, 2015), на розподілення важких металів впливають фізико-хімічні показники ґрунтів. Із отриманих результатів видно, що  $C_{\text{орг}}$  зменшується з 1,61 на фонових ділянках до 0,75 для техногенно забруднених ґрунтів. рН для техногенно забруднених ґрунтів коливається від 4,8 до 5,1, у ґрунтах фонових ділянок цей показник підвищується до 6,4 – 6,5. Вмісти поглинутих катіонів у ґрунтах фонових ділянок більші у порівнянні із техногенно забрудненими.

Валовий вміст важких металів у досліджуваних ґрунтах наведено у таблиці 1. Максимальні концентрації металів приурочені до промислових районів міста та розповсюджуються згідно до рози вітрів.

Таблиця 1

Середній валовий вміст важких металів у гумусовому горизонті досліджуваних ґрунтів, мг/кг

Підприємство	Елемент					
	Ni	Cr	Cu	Pb	Co	Ag
Відкрите акціонерне товариство «Акціонерна компанія «Свема»», n = 55	250	140	60	55	15	10
	10	5	10	15	4	1
Публічне акціонерне товариство «Шостківський завод хімічних реактивів», n = 50	85	60	300	130	6	5
	10	5	10	15	4	1
Шостківський завод «Зірка», n = 44	25	20	210	40	4	5
	10	5	10	15	4	1

Примітка: над рисою - валова концентрація важких металів у техногенно забруднених ґрунтах; під рисою – фонове значення; n – кількість проб.

Як показали наші дослідження, валові концентрації важких металів на кожній із досліджених ділянок перевищують фонові значення в десятки разів. Наприклад, валовий вміст Cr у гумусовому горизонті ґрунтів через вплив Відкритого акціонерного товариства «Акціонерна компанія «Свема» перевищує фон у 30, Ni – 25, Ag – 10, Cu – 6, Pb – 3, Co – 4 рази.

Розраховано коефіцієнти концентрації важких металів у ґрунтах, на основі яких виділено техногенні геохімічні асоціації. Геохімічна асоціація важких металів у ґрунтах м. Шостка представлена такими елементами (гумусовий горизонт):  $Pb_{53} > Ni_{16} > Cr_9 > Co_5 > Ag_4 > Cu_2$ .

Розраховано показники сумарного забруднення ґрунтів (табл. 2). У випадку врахування забруднення одного тільки верхнього

шару потужністю 2 – 3 см, перевищення ГДК у техногенно забруднених ґрунтах досягає високого рівня: від 0,25 до 1,85 для Ni, від 0,17 до 0,39 для Co, від 0,21 до 1,7 для Cr, від 1,57 до 2,59 для Cu, від 1,58 до 27,92 для Pb, від 0,58 до 1,75 для Ag. Але це в основному поверхневе забруднення. З урахуванням потужності пластів ґрунтового покриву відбувається пониження цих показників у 5 – 17 разів (табл. 2).

Така сама ситуація зберігається і з порівнянням кларків. Якщо значення  $K_{\text{кларк}}$  досягає значень від 0,53 до 3,94 для Ni, від 0,24 до 0,53 для Co, від 0,27 до 2,18 для Cr, від 4,32 до 7,12 для Cu, від 1,58 до 26,92 для Pb з урахуванням одного верхнього шару ґрунту, то із застосуванням другого підходу зафіксоване пониження цих показників у 2 – 18 разів (табл. 2).

Таблиця 2

Коефіцієнти перевищення важкими металами ГДК ( $K_{ГДК}$ ) та кларку ( $K_{кларк}$ ) у гумусовому горизонті (чисельник) та у ґрунтовому профілі (знаменник) та показник сумарного забруднення ґрунтів (Zc).

Об'єкт	Ni	Co	Cr	Cu	Pb	Ag	Zc	Категорія забруднення
$K_{ГДК}$								
ВАТ «АК «Свема»»	$\frac{1,85}{0,49}$	$\frac{0,39}{0,23}$	$\frac{1,70}{0,26}$	$\frac{1,57}{0,04}$	$\frac{10,72}{2}$	$\frac{1,75}{1,7}$	$\frac{136,3}{44,32}$	<i>дуже сильна</i> <i>сильна</i>
ПАТ «ШЗХР»	$\frac{0,25}{0,07}$	$\frac{0,18}{0,10}$	$\frac{0,29}{0,04}$	$\frac{2,59}{0,04}$	$\frac{1,58}{2,76}$	$\frac{0,62}{0,74}$	$\frac{177,1}{43,4}$	<i>дуже сильна</i> <i>сильна</i>
ШЗ «Зірка»	$\frac{0,44}{0,14}$	$\frac{0,22}{0,13}$	$\frac{0,21}{0,03}$	$\frac{2,49}{0,04}$	$\frac{27,92}{1,57}$	$\frac{0,58}{0,5}$	$\frac{16,5}{8,24}$	<i>середня</i> <i>слабка</i>
Фон	$\frac{0,20}{0,15}$	$\frac{0,17}{0,13}$	$\frac{0,19}{0,18}$	$\frac{1,30}{0,95}$	$\frac{1,55}{1,2}$	$\frac{0,52}{0,32}$	—	—
$K_{кларк}$								
ВАТ «АК «Свема»»	$\frac{3,94}{1,05}$	$\frac{0,53}{0,31}$	$\frac{2,18}{0,34}$	$\frac{4,32}{0,1}$	$\frac{9,71}{2,41}$	—	—	—
ПАТ «ШЗХР»	$\frac{0,53}{0,14}$	$\frac{0,24}{0,15}$	$\frac{0,38}{0,05}$	$\frac{7,12}{0,10}$	$\frac{1,99}{3,31}$	—	—	—
ШЗ «Зірка»	$\frac{0,92}{0,31}$	$\frac{0,29}{0,18}$	$\frac{0,27}{0,04}$	$\frac{6,85}{0,11}$	$\frac{26,92}{0,33}$	—	—	—
Фон	$\frac{0,42}{0,14}$	$\frac{0,20}{0,13}$	$\frac{0,26}{0,15}$	$\frac{2,56}{0,08}$	$\frac{1,45}{0,48}$	—	—	—

Примітка: «—» – показник не визначали.

Використання формули Ю. Е. Саєта дозволяє оцінити ступінь сумарного ґрунтового забруднення металами Ni, Co, Cr, Cu, Pb, Ag. Доля одного верхнього шару ґрунту цей показник коливається від 16,5 до 177,1, тобто досліджувана територія перебуває під різними ступенями техногенного навантаження – від середнього до дуже забрудненого. У разі застосування методики Ю. Н. Водяницького, ці значення помітно зменшуються (8,24 – 44,32), тобто досліджувана територія перебуває під

сильним техногенним навантаженням, у міру наближення до периферії показник сумарного ґрунтового забруднення знижується до допустимих норм.

На нашу думку, підхід Ю. Н. Водяницького до визначення сумарного ґрунтового забруднення більш точний, ніж запропонований Ю. Е. Саєтом. Але для повної характеристики забруднення досліджуваних територій потрібно також урахувувати вміст важких металів у ґрунтах (табл. 3).

Таблиця 3

#### Вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах досліджуваних територій

Ділянки досліджень	Вміст рухомої форми, мг/кг				
	Ni	Pb	Cr	Cu	Co
Техногенно забруднена ділянка	5,5	46	7,0	20,0	6,0
Фонові ділянки	0,4	1,4	0,2	2,2	0,1
ГДК	4,0	2,0	0,05	3,0	5,0

Вміст рухомих форм металів на досліджуваній території, на яку впливають підприємства хімічної промисловості, підвищується порівнянно із фоновими ділянками, що є критерієм забрудненості ґрунтових відкладів. Наприклад, рухомість зростає: Cr – у 35, Pb – 33, Ni – 13, Cu – 9, Co – 2 рази.

**Висновки.** Дослідження та порівняння техногенно забруднених ґрунтів із ґрунтами фонових ділянок показали зменшення  $C_{орг}$ , рН та вмісту поглинутих катіонів у техногенно забруднених ґрунтах. З отриманих результатів видно, що максимальні концентрації важких металів приурочені до промислових центрів міста.

Розраховано коефіцієнти концентрації важких металів у ґрунтах та виділено техногенну геохімічну асоціацію важких металів у ґрунтах м. Шостка, яка представлена такими елементами (гумусовий горизонт):  $Pb_{53} > Ni_{16} > Cr_9 > Co_5 > Ag_4 > Cu_2$ .

### Бібліографічні посилання

- Arinushkina, E.V. 1970. Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv [Guidance on chemical analysis of soil]. MSU, Moscow (in Russian).
- Verdener, I.B., Tjutjunnik, D.A. 1986. Priroda Ukrainkoj SSR. Pochvy [The nature of the Ukrainian SSR. Soils.]. Naukova dumka, Kyiv (in Russian).
- Vinogradov, A. P. 1950. Geohimija redkih i rassejannyh himicheskikh jelementov v pochvah [Geochemistry of rare and trace chemical elements in soils]. RAS, Moscow (in Russian).
- Vodjanickij, Ju.N., Jakovlev, A.S. 2011. Ocenka zagrjaznenija pochv po sodержaniju tjazhelyh metallov v profile [Evaluation of soil contamination by heavy metals in the profile]. Pochvovedenie. 3, 329 – 335 (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).
- Kuraeva, I.V. 2014. Formy nahozhdenija tjazhelyh metallov v tehnogenno-zagrjaznennyh pochvah pod vlijaniem predpriyatij chernoj metallurgii (na

За двома методиками – Ю. Е. Саєта та Ю. Н. Водяницького розраховано показники сумарного забруднення ґрунтів. З урахуванням ґрунтових шарів та щільності ґрунту показник сумарного ґрунтового забруднення нижчий у 4 рази, ніж показник, розрахований без даних розповсюдження важких металів по всьому ґрунтовому розрізу.

Коефіцієнти перевищення важкими металами ГДК ( $K_{ГДК}$ ) та кларка ( $K_{кларк}$ ) у гумусовому горизонті, обчислений з урахуванням щільності ґрунту, значно менші (у 2 – 18 разів) по відносно показників, розрахованих за формулами без урахування цього показника.

Крім сумарного показника забруднення важливим критерієм оцінки ступеня забруднення є рухомість важких металів, яка на територіях, що перебувають під впливом хімічної промисловості, перевищує фонові значення у десятки разів.

- primere g. Alchevska) [Forms of a finding of heavy metals in technogenic contaminated soils under the influence of the steel industry (for example, Alchevsk)]. Proceedings of the Institute of the Environment, 23,105-109 (in Russian)
- Kuraeva, I.V., Kroik, A.A., Musich, E.G., Vojtjuk, Ju.Ju., Matvienko, A.V. 2015. Biogeoхимические особенности техногенного загрязнения почв под влиянием предприятий химической промышленности [Biogeochemical features of technogenic pollution of soils under the influence of the chemical industry]. Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Geol. Geogr. 23(1), 65-74 (in Russian) doi: 10.15421/111509.
- Saet, Ju.E., Revich, B.A., Janin, E.P. 1990. Geohimija okružhajushhej 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).

*Надійшла до редколегії 03.03.2016*