

УДК 504.54:550.4

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ПОЛІЕЛЕМЕНТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ УРБОЕКОСИСТЕМИ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

ЯКОВИШИНА Т. Ф. \*, к. с.-г. н., доц.

\* Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 469371, e-mail: t\_yakovyshyna@ukr.net, ORCIDID: 0000-0002-5924-7847

**Анотація. Постановка проблеми.** У сучасних умовах антропогенний вплив на ґрунти урбоєкосистем має досить стійкий характер у часі та просторі, проявляється у різних формах, як то трансформація ґрунтового профілю, зміна напрямку ґрунтотвірних процесів, забруднення різноманітними поллютантами і, насамперед, важкими металами (ВМ) – елементами здебільшого першого класу небезпеки, джерелами надходження яких в урбанізоване середовище є промислові підприємства, автотранспорт, житлово-комунальне господарство. Визначення антропогенного пресингу на міські ґрунти здійснюється шляхом екологічного оцінювання поліелементного забруднення ВМ, що дає можливість не тільки констатувати сам факт забруднення, а й визначити межі можливого навантаження з урахуванням регіонального фону або санітарно-гігієнічного нормативу – ГДК. Проте й досі виникають дискусії щодо показника, за яким буде проводитись нормування – наріжного каменя будь-якого методологічного підходу до екологічної оцінки поліелементного забруднення ґрунтів урбоєкосистем ВМ, що, у свою чергу, й зумовило необхідність проведення їх порівняльної оцінки.

**Мета статті** - обґрунтування вибору показників щодо екологічної оцінки поліелементного забруднення ґрунтів урбоєкосистем ВМ шляхом порівняльного аналізу існуючих підходів, як то визначення сумарного показника забруднення (СПЗ), індексу забруднення ґрунтів (ІЗҐ), коефіцієнта дисбалансу ( $C_d$ ) з урахуванням норм екологічної безпеки та прив'язкою до умов конкретної території. **Висновок.** Для одержання всебічної екологічної оцінки поліелементного забруднення ґрунтів ВМ урбоєкосистем слід застосовувати комплекс інтегрованих показників, серед яких СПЗ дає можливість визначити порушення вмісту металів відносно геохімічного фону зонального ґрунту, ІЗҐ – пов'язати рівень забруднення із санітарно-гігієнічними показниками екологічної безпеки території, а  $C_d$  – врахувати деструктивну дію на ґрунт, котру спричиняє процес будівництва. Статистичний аналіз свідчить про їх високу спорідненість, що відбивається через коефіцієнти кореляції. За результатами оцінки, проведеної відповідно до зазначених показників, ґрунти урбоєкосистеми м. Дніпропетровськ, більше забруднені Pb і Zn, ніж Ni, рівень забруднення здебільшого слабкий до помірного за СПЗ, а ґрунт переважно проблемний та забруднений за ІЗҐ, хоча спостерігаються окремі hot spots у промислових зонах міста.

**Ключові слова:** урбоєкосистема, ґрунт, важкі метали, забруднення, екологічна оцінка

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ПОЛИЭЛЕМЕНТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ УРБОЭКОСИСТЕМЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

ЯКОВИШИНА Т. Ф. \*, к. с.-х. н., доц.

\* Кафедра экологии и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 469371, e-mail: t\_yakovyshyna@ukr.net, ORCIDID: 0000-0002-5924-7847

**Аннотация. Постановка проблемы.** В современных условиях антропогенное воздействие на почвы урбоэкосистем имеет достаточно устойчивый характер во времени и пространстве, проявляется в различных формах, а именно, как трансформация почвенного профиля, изменение направления почвообразующих процессов, загрязнения различными поллютантами, и, в первую очередь, тяжелыми металлами (ТМ) – элементами первого класса опасности, источниками поступления которых в урбанизированную среду являются промышленные предприятия, автотранспорт, жилищно-коммунальное хозяйство. Определение антропогенного прессинга на городские почвы осуществляется путем экологической оценки полиэлементного загрязнения ТМ, что позволяет констатировать не только сам факт загрязнения, но и пределы возможной нагрузки с учетом регионального фона или санитарно-гигиенического норматива – ПДК. Однако до сих пор возникают дискуссии относительно показателя, по которому будет проводиться нормирование – краеугольного камня любого методологического подхода к экологической оценке полиэлементного загрязнения почв урбоэкосистем ТМ, что, в свою очередь, и обусловило необходимость проведения их сравнительной оценки. **Цель статьи** - обоснование выбора показателей экологической оценки поэлементного загрязнения почв урбоэкосистем ТМ путем сравнительного анализа существующих подходов, таких как определение суммарного показателя загрязнения (СПЗ), индекса загрязнения почв (ИЗП), коэффициента дисбаланса ( $C_d$ ) с учетом норм экологической безопасности и привязкой к условиям конкретной территории. **Вывод.** Для получения

всесторонней экологической оценки полиэлементного загрязнения почв ТМ урбоэкосистем следует использовать комплекс интегрированных показателей, среди которых СПЗ позволяет определить нарушение содержания металлов относительно геохимического фона зональной почвы, ИЗП – связать уровень загрязнения с санитарно-гигиеническими показателями экологической безопасности территории, а  $C_d$  – учесть деструктивное воздействие на почву, которое вызывает процесс строительства. Статистический анализ свидетельствует об их высоком средстве, что отражается через коэффициенты корреляции. По результатам оценки, проведенной в соответствии с указанными показателями, почвы урбоэкосистемы г. Днепропетровск, в большей степени загрязнены Pb и Zn, чем Ni, уровень загрязнения в основном слабый до умеренного по СПЗ, а почвы преимущественно проблемные и загрязненные по ИЗП, хотя наблюдаются отдельные hot spots в промышленных зонах города.

**Ключевые слова:** урбоэкосистема, почва, тяжелые металлы, загрязнение, экологическая оценка

## COMPARATIVE ANALYSIS OF APPROACHES TO ECOLOGICAL ASSESSMENT OF POLYELEMENT CONTAMINATION SOIL OF URBAN ECOSYSTEM BY HEAVY METALS

YAKOVYSHYNA T. F. \*, *Ph.D., Associate Professor*

\* Department of Ecology and Environmental Protection, State Higher Educational Establishment «Pridneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 469371, e-mail: t\_yakovyshyna@ukr.net, ORCIDID: 0000-0002-5924-7847

**Summary. Raising of problem.** In modern conditions, anthropogenic impact to the soil urban ecosystems is fairly stable over time and space, is manifested in various forms, as the transformation of the soil profile, the change in direction of the soil-forming processes, contamination of the various pollutants, and, above all, heavy metals (HM) – elements of the first class of the danger. Their sources of the income to the urban environment are industrial enterprises, transport, housing and communal services. Determination of the anthropogenic pressure to the urban soil is carried out by the environmental assessment of the HM polyelement contamination, which allows to establish not only the fact of pollution, but also limits of the possible load with considering regional background or sanitary standards – MPC. However, until now discussions arise regarding the index which will be carried out the valuation – the cornerstone of any methodological approach to the environmental assessment of the soil polyelement contamination by the HM of the urban ecosystems, which allows to establish not only the fact of contamination, but also limits the possible load, taking into account the regional background or sanitary norm – MPC. **Purpose.** Lies in the grounded selection of the environmental assessment indexes of the soil contamination by the HM of the urban ecosystems through a comparative analysis of the existing approaches, such as the determination of the summary contamination index (SCI), the index of the soil contamination (ISC), factor imbalance ( $S_d$ ), taking into account environmental safety standards and binding to the specific conditions territory. **Conclusion.** In summary it should be noted that it is necessary to use a set of integrated indexes, including the SCI to determine the violation of the metals content with respect to the geochemical background of zonal soil, ISC – link the contamination level with health indexes of the environmental safety territory, and  $S_d$  – consider a soil destruction, which is caused the construction process. Statistical analysis indicates their high affinity, which is reflected by the correlation coefficients. According to the assessment of these indexes the soil of Dnipropetrovsk urban ecosystem is increasingly polluted by Pb and Zn than Ni, the contamination level is mainly low to moderate, and soil is mostly problematic and polluted by ISC, although there are some hot spots in industrial zones of the city.

**Keywords:** urban ecosystem, soil, heavy metals, contamination, ecological assessment

**Постановка проблеми.** У сучасних умовах антропогенний вплив на ґрунти урбоекосистем має досить стійкий характер у часі та просторі, проявляється у різних формах, як то трансформація ґрунтового профілю, зміна напрямку ґрунтовірних процесів, забруднення різноманітними поллютантами, серед яких найбільшу небезпеку становлять важкі метали (ВМ), джерелами надходження яких в урбанізоване середовище є промислові підприємства, автотранспорт, житлово-комунальне господарство. Визначення

антропогенного пресингу на міські ґрунти здійснюється шляхом екологічного оцінювання поліелементного забруднення ВМ, що надає можливість не тільки констатувати сам факт забруднення, а й установити межі можливого навантаження з урахуванням регіонального фону або санітарно-гігієнічного нормативу – ГДК. Проте й досі виникають дискусії щодо показника, за яким буде проводитись нормування – наріжного каменя будь-якого методологічного підходу до екологічного оцінювання поліелементного забруднення

ґрунтів урбоєкосистем ВМ, що, у свою чергу, й зумовило необхідність проведення їх порівняльної оцінки.

**Аналіз публікацій.** Традиційно екологічну оцінку якості ґрунтів урбоєкосистем через поліелементне забруднення ВМ проводять за формулою Ю.В. Саєта (1990) [3]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n - 1)$$

де  $n$  – число сумарних елементів;

$K_c$  – коефіцієнт концентрації (або аномальності за В. В. Добровольським, 1999) хімічного елемента, який розраховують як відношення  $C_p$  – реального вмісту елемента в ґрунті (мг/кг) до  $C_\phi$  – його фонового вмісту в ґрунті (мг/кг) [2, 6, 9, 10]:

$$K_c = \frac{C_p}{C_\phi}$$

Однак широке застосування протягом останніх 20 років показника СПЗ дало змогу виявити цілу низку недоліків, що здебільшого притаманні результатам оцінок, пов'язаних із фоновими характеристиками, які М. А. Богданов (2013) згрупував таким чином: по-перше, застосування атомно-емісійного наближено-напівкількісного методу не дозволяє включати в розрахунок речовини, що визначаються кількісно, приміром, рухомі форми ВМ; по-друге, невизначеність із поняттям фону – місцевий, регіональний, забруднення, урбанізованого середовища, для даного типу ґрунтів тощо; по-третє, залежність об'єктивності фонових характеристик від суб'єктивних факторів, як то правильність відбору фонових ділянок, їх репрезентативність відповідно до зональних ґрунтів, чітке дотримання методики відбору проб, їх усереднення, достатня маса проби ґрунту для хімічного аналізу, атестування лабораторій, наявність сучасного обладнання, межі визначення хімічного елемента, метод розрахунку фонового вмісту – просте осереднення або обчислення генерального середнього, кваліфікація спеціалістів; по-четверте, неможливість визначення фону через складність геолого-

геоморфологічних та ґрунтово-геохімічних умов, приміром, для ґрунтів урбоєкосистем із порушеним ґрунтовим профілем; по-п'яте, суб'єктивізм у виборі розрахункового спектра ВМ для відображення особливостей забруднення території (як правило, всі метали не визначають, а перевагу віддають пріоритетним забруднювачам); по-шосте, не враховуються зміни фонових концентрацій полютантів у часі [1].

Проте з деякими з них не можна погодитися, а саме визначення фонові концентрації ВМ В. В. Добровольський (1999) пропонує брати відповідно до зонального ґрунту, адже фоновий вміст елемента (речовини) згідно з ГОСТ 27593-88 – це такий вміст елемента (речовини) в ґрунті, що відповідає його природному складу [2]. І хоча в умовах урбанізованого середовища відбувається трансформація верхньої частини ґрунтового профілю, слід зазначити, що ґрунт наслідує риси тієї материнської породи, на якій він у свій час сформувався, отже, й відбиває притаманний тільки їй фоновий вміст хімічних елементів, котрий може бути підвищений через аерогенне забруднення ВМ, що є складовими викидів промислових підприємств в атмосферне повітря, або, навпаки, знижений за рахунок умовного розбавлення шляхом привнесення будівельного сміття.

Визначення коефіцієнта концентрації відповідно до урбанізованого фону, тобто середнього вмісту хімічного елемента у ґрунтах урбанізованих територій, який складається з природного фону та накладеного на нього загального забруднення даної території, можна визнати додатковим показником для встановлення так званих hot spots, але він не може замінити класичне визначення показника за В. В. Добровольським (1999), що є мірою інтенсивності забруднення території в цілому. Крім того, ціла низка зауважень відносно правильності відбору проб, їх усереднення та підготовки до аналізу, стосується передусім якості проведення досліджень і так само може бути поширена на отримані результати під час проведення

нормування за допомогою ГДК, яку пропонує використовувати М. О. Богданов (2013).

Індекс забруднення ґрунту (ІЗГ) розраховується на основі нормативних лімітуючих санітарно-гігієнічних показників – ГДК або ОДК елементів (шкідливих речовин) у ґрунті за формулою [1]:

$$ІЗГ = \frac{\sum_n \left( \frac{C_i}{C_{ГДК}} \right)}{n} = \frac{\sum_n (K_o)}{n}$$

де  $C_i$  – концентрація ВМ у ґрунті конкретно взятої ділянки (мг/кг);  $C_{ГДК}$  – ГДК ВМ в ґрунті (мг/кг).

Серед переваг такого підходу слід відмітити можливість гігієнічно-обґрунтовано диференціювати територію за ступенем небезпеки, проте також виникають деякі питання, а саме: по-перше, щодо обмежень включення токсикантів до розрахункового спектра, адже деякі елементи (токсичні речовини) здійснюють самопригнічувальний вплив, приміром, ВМ та сполуки сульфуру, проте може бути й навпаки – збільшення небезпеки забруднення (Hg та вуглеводні); по-друге, врахування явищ антагонізму та синергізму хімічних елементів за взаємодії зі складовими ґрунту та поглинання рослинами, що досить повно розкрито у праці В.В. Степанка [5]; по-третє, строкатості ґрунтового покриву і відповідно властивостей ґрунтів відносно їх буферної здатності до конкретного забруднювача, що більшою мірою відображає фонову концентрацію, ніж ГДК. Крім того, в умовах функціонування урбоєкосистеми виникає проблема деградації ґрунту шляхом розбавлення його будівельним сміттям і відповідно зменшення концентрації деяких елементів, як порівняно до значень геохімічного фону, так і до ГДК, що відбивається через майже повну відсутність рослинності, проте не позначається на значеннях СПЗ та ІЗГ.

Коефіцієнт дисбалансу елементів розраховується як сума коефіцієнтів забруднення та недостатності [7]:

$$C_d = C_n + C_n$$

$$C_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{C_i}{C_{фон}} - 1 \right)$$

$$C_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( 1 - \frac{C_i}{C_{фон}} \right)$$

На думку М. П. Грицана (1998), він більш реально відображає ступінь деградації міських ґрунтів через їх порушення внаслідок будівельної діяльності та інтенсивного аерогенного забруднення ВМ, адже враховує як надлишок, так і нестачу хімічних елементів, проте виникає питання щодо нормування та фізіологічної ролі цих токсикантів для живих організмів.

Як показав аналіз існуючих підходів до екологічної оцінки поліелементного забруднення ґрунтів урбоєкосистем ВМ, усі вони мають недоліки, отже, виникає потреба в їх порівняльній характеристиці.

**Мета статті** - обґрунтування вибору показників екологічної оцінки поліелементного забруднення ґрунтів урбоєкосистем ВМ шляхом порівняльного аналізу існуючих підходів, як то визначення СПЗ, ІЗГ,  $C_d$  з урахуванням норм екологічної безпеки та прив'язкою до умов конкретної території.

**Методика проведення досліджень.** Для екологічного оцінювання поліелементного забруднення ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпропетровськ ВМ була сформована мережа екомоніторингу шляхом нанесення сітки (2 × 2 км) на його території, що, у свою чергу, дало можливість виділити 65 ключових ділянок відбору проб із таким розподілом: Лівобережжя – 21, Правобережжя – 44; по районах: Амур-Нижньодніпровський – 13, Індустріальний – 5, Новокодацький – 12, Самарський – 8, Соборний – 8, Центральний – 3, Чечелівський – 9, Шевченківський – 7; за характером функціонального призначення – промислова зона – 9, висотна забудова – 13, приватний сектор – 26, зелена (рекреаційна) зона – 17 (табл. 1). У ході проведення польового ґрунтово-геохімічного дослідження обрано ключові ділянки, як найменші геоморфологічні одиниці ландшафту, котрі достатньою мірою

відображали генезис і властивості ґрунту, ґрунтотвірної породи, рельєфу, рослинності, гідрології території та її використання. Досліджувані ґрунти були представлені хемоземом - безпосередньо, територія промислових підприємств та урбаноземом, який відрізнявся типом порушення ґрунтового профілю, а саме: змішаний –

санітарно-захисна зона промислових підприємств, насипний – висотна забудова, аерогенний – присадибні ділянки приватного сектора. Проби ґрунту відбирали методом конверт з глибини 0-10 см, репрезентативна проба складалася з 25 індивідуальних проб [8].

Таблиця 1

**Розподіл ділянок відбору проб ґрунту по території м. Дніпропетровськ**

Район	Усього ділянок відбору	Характеристика ділянок відбору проб			
		промислова зона	висотна забудова	приватний сектор	зелена зона
Амур-Нижньодніпровський	13	1	-	9	3
Індустріальний	5	2	2	1	-
Новокодацький	12	-	4	4	4
Самарський	8	1	-	4	3
Соборний	8	-	3	1	4
Центральний	3	-	2	-	1
Чечелівський	9	4	-	5	-
Шевченківський	7	1	2	2	2

У відібраних зразках визначали валовий вміст Cd, Pb, Zn, Cu і Ni атомно-абсорбційним методом після кислотної обробки ґрунту за стандартними методиками. Комплексний порівняльний аналіз екологічної оцінки поліелементного забруднення міських ґрунтів ВМ здійснювали за показниками: СПЗ Ю. В. Саєта (1998) в модифікації А.В. Мороза (2001) [3; 4], ІЗГ М. О. Богданова (2013) [1],  $C_d$  [7] та їх спорідненості з застосуванням методів математичної статистики.

**Результати досліджень.** Аналіз експериментальних даних щодо валового вмісту ВМ дозволив провести всебічне екологічне оцінювання забруднення ґрунтів м. Дніпропетровськ за показниками СПЗ, ІЗГ та  $C_d$  по п'яти хімічних елементах: Cd, Pb, Zn, Cu та Ni. У процесі розрахунку СПЗ та ІЗГ було відмічено, що найбільший внесок у забруднення міських ґрунтів давали Pb, Zn та Cu, так, на окремих ділянках перевищення зазначених елементів сягали до 191,82; 24,22; 27,23 раза відносно фону та 143,22; 9,59; 6,61 раза відносно ГДК, що за критеріями оцінки хімічної деградації ґрунтів залежно від груп токсичності

забруднювачів В.В. Снаткіна (1992) відповідало найвищому ступеню.

СПЗ, в основі якого лежить розрахунок  $K_c$ , свідчив про перевищення вмісту ВМ в ґрунтах урбоєкосистеми відносно їх фонових значень у чорноземі звичайному. Розрахунок середнього для  $K_c$  дав змогу визначити величину урбанізованого фону, який був вищим за геохімічний по Cd в 1,5; Cu – 2,2; Pb – 5,6 Zn – 7,4 раза, і, навпаки, стосовно Ni спостерігалась деконцентрація – 0,95, що зумовлювалось нівелюванням процесів надходження незначних кількостей цього елемента з викидами промислових підприємств за рахунок домінування сильного розбавлення його концентрації через порушення ґрунтового профілю шляхом перемішування генетичних горизонтів, привнесення піщаної та глинистої фракцій, будівельного сміття тощо. Розподіл СПЗ відносно категорій градації Ю. В. Саєта (1998) дав змогу класифікувати ступінь забруднення від дуже слабкого – 27, слабкого – 17, помірного – 17, до сильного – 4 ділянки відбору проб відповідно.

Для визначення ІЗГ розрахунок  $K_o$  дав можливість установити невідповідність вмісту ВМ у ґрунтах урбоєкосистеми

значенням санітарно-гігієнічного показника – ГДК. Різниця між ГДК та природним геохімічним фоном, урбанізованим фоном або концентрацією, меншою за ГДК, яка притаманна конкретній ділянці відбору проб, є мірою допустимого антропогенного навантаження на ґрунт, що в першому випадку перебував в нативних умовах природної екосистеми, в другому – виступає базовою складовою урбоекосистеми і здатен, завдяки своїй буферності, депонувати забруднювачі на тривалий час.

Понад третина ділянок досліджуваного ґрунту здатна прийняти додаткове антропогенне навантаження від забруднення ВМ в умовах наявного підвищеного урбанізованого фону, проте такі ділянки розташовані на периферії м. Дніпропетровськ. При розподіленні значень індексу забруднення відносно категорій, запропонованих М. О. Богдановим (2013), ґрунт 30 ділянок було визнано як чистий, 5 – проблемний та 30 – забруднений.

Таблиця 2

**Екологічна оцінка забруднення ВМ ґрунтів м. Дніпропетровськ**

СПЗ		ІЗГ		Характеристика забруднення	Зміни показників здоров'я населення в осередках забруднення
Категорія	Кількість усереднених проб	Категорія	Кількість усереднених проб		
< 8 дуже слабкий	27	< 0,75 чистий	30	Перевищення фону	Досить низький рівень захворюваності дітей, мінімальна частота зустрічальності функціональних відхилень
8-16 слабкий	17			Перевищення в 1-2 ГДК	Підвищення захворюваності дітей
16-32 помірний	17	0,75-1,00 проблемний	5	Перевищення в 2-4 ГДК	Підвищення загальної захворюваності
32-64 сильний	4	> 1,00 забруднений	30	Перевищення в понад 4 ГДК	Збільшення загальної захворюваності, числа хворих дітей з хронічними захворюваннями, порушення функціонального стану серцево-судинної системи

Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище дає змогу зв'язати поліелементне забруднення ґрунтів ВМ зі змінами показників здоров'я населення конкретної території. Опрацювання отриманих даних та наукових доробок різних авторів [1; 3; 6] щодо градації ґрунтів за ступенем забруднення з наступною оцінкою небезпеки, а також відповідності категорій інтегрованих показників СПЗ та ІЗГ дало можливість сумістити останні та прив'язати їх до показників здоров'я відносно санітарно-гігієнічних нормативів, що й було зроблено на прикладі м. Дніпропетровськ (табл. 2). ІЗГ дещо спрощує оцінку забруднення ґрунту ВМ і зводить її тільки до трьох категорій, в той час як через СПЗ відбиваються навіть незначні зміни

проеціювання порушення геохімічного фону на здоров'я в процесі функціонування екосистем, у межах кожної з яких смертність та захворюваність дитячого і дорослого населення досить сильно варіює, що, у свою чергу, дає можливість своєчасно впровадити заходи з санації забрудненого ґрунту та привести стан цієї складової навколишнього середовища у відповідність й нормами екологічної безпеки.

Застосування СПЗ і ІЗГ доцільне тільки за умов сильного забруднення, на жаль, вони не відображають деградації ґрунту через дефіцит металів, які в невеликих кількостях потрібні живим організмам, і насамперед рослинам – початковій ланці будь-якого трофічного ланцюга наземного біогеоценозу. На відміну від проаналізованих показників,  $S_d$  враховує як

надлишок, так і нестачу елемента, що досить важливо для територій, порушених унаслідок будівельної діяльності в умовах аерогенного забруднення викидами промислових підприємств та автотранспорту. Нестача Ni відносно геохімічного фону спостерігалась на 35; Cu – 22; Cd – 16; Pb – 11; Zn – на трьох ділянках відбору проб. Найбільші значення  $C_d$  характеризувались тільки надлишком ВМ і були притаманні промисловим зонам, а найменші – нестачею (приватний сектор Лівобережжя). Використання  $C_d$ , на жаль, обмежується відсутністю нормування, крім того, здається доцільним прив'язати його до показників токсичності ґрунту, що визначаються методом біотесту, зокрема, індексу токсичності фактора Р. Р. Кабірова (1995).

Як показав статистичний аналіз, перевищення середнім значенням медіани свідчить про несиметричний розподіл по вибірці, отже, поступове зростання забруднення ВМ ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпропетровська (табл. 3). За умов додатного коефіцієнта ексцесу крива розподілу значень СПЗ, ІЗГ та  $C_d$  має вищу та гострішу вершину, ніж крива нормального розподілу. Згідно зі значеннями коефіцієнта асиметрії переважна частина вибірки більша за математичне сподівання. Дисперсія є мірою варіації забруднення ВМ міського ґрунту за впливу природних та антропогенних факторів в урбоєкосистемі. Згідно зі значеннями стандартного відхилення, більш широко розкидані дані відносно середнього по СПЗ і меншою мірою по ІЗГ та  $C_d$ . У процесі статистичного аналізу були встановлені такі кореляційні зв'язки між СПЗ і ІЗГ: 0,968; СПЗ і  $C_d$  – 0,934; ІЗГ і  $C_d$  – 0,929, що, у свою чергу, свідчить про їх взаємодоповнення в характеристиці екологічної ситуації стосовно забруднення ВМ та деградації ґрунтового покриву урбоєкосистем.

Таблиця 3

**Статистичний аналіз  
показників забруднення ґрунтів  
урбоєкосистеми  
м. Дніпропетровськ**

Статистична характеристика	СПЗ	ІЗГ	$C_d$
Мінімум	0,56	0,13	0,34
Максимум	45,99	4,56	8,50
Розмах	45,43	4,43	8,16
Середнє	13,42	1,19	2,68
Медіана	9,53	0,88	2,13
Ексцес	1,06	2,74	0,74
Асиметрія	1,19	1,67	1,14
Дисперсія	107,56	0,94	4,00
Стандартне відхилення	10,45	0,98	2,01

**Висновок.** Для одержання всебічної екологічної оцінки поліелементного забруднення ґрунтів ВМ урбоєкосистем слід застосовувати комплекс інтегрованих показників, серед яких СПЗ дає можливість визначити порушення вмісту металів відносно геохімічного фону зонального ґрунту, ІЗГ – пов'язати рівень забруднення із санітарно-гігієнічними показниками екологічної безпеки території, а  $C_d$  – врахувати деструктивну дію на ґрунт, котру спричиняє процес будівництва. Статистичний аналіз свідчить про їх високу спорідненість, що відбивається через коефіцієнти кореляції. За результатами оцінки, проведеної відповідно до зазначених показників, ґрунти урбоєкосистеми м. Дніпропетровськ більше забруднені Pb і Zn, ніж Ni, рівень забруднення здебільшого слабкий до помірного за СПЗ, а ґрунт переважно проблемний та забруднений за ІЗГ, хоча спостерігаються окремі hot spots у промислових зонах міста.

**Перспективи подальших досліджень** потрібно зосередити на розробленні заходів до усунення забруднення ВМ та відновлення екологічних функцій ґрунтів урбоєкосистем з урахуванням їх деградації відносно  $C_d$ , а також техногенного навантаження за показниками СПЗ та ІЗГ.

### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Богданов Н. А. Метод оценки состояния земель по индексу загрязнения почв / Н. А. Богданов, Ю. С. Чуйков, В. С. Рыбкин // Астраханский вестник экологического образования. – 2013. – № 1(23). – С. 102–112.

2. Добровольский В. В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами / В. В. Добровольский // Почвоведение. – 1999. – № 5. – С. 639–645.
3. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве : МР 5174-90 : утв. Гл. гос. санитар. врачом СССР 15.05.1990 г. № 5174-90 / Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов Мингео СССР, АН СССР. – Москва : ИМГРЭ, 1990. – 15 с.
4. Мороз А. В. Расчет суммарного показателя загрязнения почвы тяжелыми металлами / А. В. Мороз // Аграрная наука. – 2001. – № 8. – С. 6–7.
5. Степанок В. В. Влияние комплексов техногенных элементов на химический состав сельскохозяйственных культур / В. В. Степанок // Агрохимия. – 2003. – № 1. – С. 50–60.
6. Тилекова Ж. Т. Оценка загрязнения почв Прибалхашья тяжелыми металлами / Ж. Т. Тилекова, М. С. Тонкопий, Б. Е. Тастанова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2(17). – С. 3723–3726.
7. Экологические основы природопользования / под ред. Н. П. Грицан ; Н. П. Грицан, Н. В. Шпак, Г. Г. Шматков, А. Г. Шапарь, А. П. Бабий, Т. Н. Долгова, В. Л. Нестеренко, В. В. Федотов ; Нац. акад. наук Украины, ин-т проблем природопользования и экологии, гос. упр. эколог. безопасности в Днепропетр. обл., Днепропетр. регион. центр устойчивого развития. – Днепропетровск : [б.и.], 1998. – 409 с.
8. Яковишина Т. Ф. Екологічний моніторинг: контроль і детоксикація важких металів в ґрунтах урбоєкосистем / Т. Ф. Яковишина. – Дніпропетровськ : Нова Ідеалогія, 2013. – 101 с.
9. Krzysztof L. Metal contamination of farming soils affected by industry / L. Krzysztof, D. Wiechula, I. Kornis // Environment international. – 2004. – Vol. 30, iss. 2. – P. 159–165.
10. Assessment of heavy metal contamination of agricultural soil around Dhaka Export Processing Zone (DEPZ), Bangladesh: implication of seasonal variation and indices / S. H. Rahman, D. Khanam, T. M. Adyel, M. S. Islam, M. A. Ahsan, M. A. Akbor // Applied sciences. – 2012. – № 2. – P. 584–601.

## REFERENCES

1. Bogdanov N.A., Chujkov Yu.S. and Rybkin V.S. *Metod otsenki sostoyaniya zemel po indeksu zagryazneniya pochv* [Assessment method of soil condition by the soil pollution index]. *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya* [Astrakhan Bulletin of Ecology Studies]. 2013, no. 1(23), pp. 102-112. (in Russian).
2. Dobrovolskiy V.V. *Landshaftno-geokhimicheskie kriterii otsenki zagryazneniya pochvennogo pokrova tyazhelymi metallami* [Landscape-geochemical assessment criteria of soil contamination by heavy metals]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1999, no. 5, pp. 639-645. (in Russian).
3. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke stepeni zagryazneniya atmosfernogo vozduha naseleennykh punktov metallami po ikh sodержaniyu v snezhnom pokrove i pochve: МР 5174-90* [Guidelines for the air pollution degree assessment of settlements by metals in their snow cover content and in soil: Guidelines no. 5174-90]. In-t mineralogii, geokhimii i kristalokhimii redkikh elementov Mingeo SSSR, AN SSSR [Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements Ministry of Geology of SSSR, Academy of Sciences of SSSR]. Moskva: IMGRE, 1990, 15 p. (in Russian).
4. Moroz A.V. *Raschet summarnogo pokazatelya zagryazneniya pochvy tyazhelyimi metallami* [Calculation of the total soil pollution index by heavy metals]. *Agrarnaya nauka* [Agricultural science]. 2001, no. 1, pp. 6-7. (in Russian).
5. Stepanok V.V. *Vliyaniye kompleksov tekhnogennykh elementov na khimicheskij sostav selskokhozyajstvennykh kultur* [Influence of technological elements complexes on the chemical composition of crops]. *Agrokhiimiya* [Agrochemistry]. 2003, no. 1, pp. 50-60. (in Russian).
6. Tilekova Zh.T., Tonkopij M.S. and Tastanova B.I. *Otsenka zagryazneniya pochv Pribalkhash'ya tyazhelymi metallami* [Soils pollution assessment by heavy metals in Bribalkhashya]. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental research]. 2015, no. 2, pp. 3723-3726. (in Russian).
7. Griisan N.P., Shpak N.V., Shmatkov G.G., Shapar' A.G., Babij A.P., Dolgova T.N., Nesterenko V.L. and Fedotov V.V. *Ekologicheskie osnovy prirodopolzovaniya* [Ecological basis of ecosystem exploitation]. Nats. akad. nauk Ukrainy, in-t problem prirodopolzovaniya i ekologii, gos. upr. ekolog. bezopasnosti v Dnepropetr. obl., Dnepropetr. region. centr ustojchivogo razvitiya [The National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Ecosystem Exploitation and Ecology, Public Administration of Environmental Safety in Dnipropetrovsk region, Dnipropetrovsk Regional Centre for Sustainable Development]. Dnepropetrovsk, 1998, 409 p. (in Russian).
8. Yakovyshyna T.F. *Ekologichnyi monitoryng: kontrol i detoksykatsiia vazhkykh metaliv v gruntakh urboekosystem* [Ecological monitoring, control and detoxification of heavy metals in urban ecosystems soils]. Dnipropetrovsk: Nova Ideologiya, 2013, 101 p. (in Ukrainian).
9. Krzysztof L., Wiechula D. and Kornis I. *Metal contamination of farming soils affected by industry. Environment international*. 2004, no. 30, pp. 159-165.
10. Rahman S.H., Khanam D., Adyel T.M., Islam M.S., Ahsan M.A. and Akbor M.A. *Assessment of heavy metal contamination of agricultural soil around Dhaka Export Processing Zone (DEPZ). Applied sciences*. 2012, no. 2, pp. 584-601.

Рецензент: д-р біол. н., проф. Шматков Г. Г.

Надійшла до редколегії: 25. 04. 2016 р.

Прийнята до друку: 30. 04. 2016 р.