

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ КАДМІЄМ

Проведено порівняльний аналіз щодо визначення екологічного ризику забруднення ґрунту одним із самих небезпечних важких металів – кадмієм, як відносної величини за методикою L. Nakanson та величини, що має ймовірнісний характер на основі функції розподілення Вейбула. Виявлено невідповідність нормування фактору екологічного ризику відносно рівнів забруднення Cd, яку підтверджує розрахунок зазначеного показника для техногенного навантаження в 1 ГДК. Встановлено, що підвищення рівня екологічного ризику, як ймовірнісної величини, залежить від зростання урбанізованого геохімічного фону та ступеня мінливості концентрації Cd на досліджуваній території. Проаналізована територія м. Дніпропетровська щодо ступеня забруднення Cd ґрунтів показала деяку спорідненість між підходами, а саме, значний та неприйнятний екологічний ризик на правобережній частині міста, де зосереджена більша частина промислових підприємств.

Ключові слова: екологічний ризик; забруднення; ґрунт; кадмій; важкий метал.

Постановка проблеми. Концепція аналізу екологічного ризику внаслідок забруднення абіотичних складових навколишнього середовища отримала досить широке розповсюдження як в Україні, так і за кордоном через необхідність прийняття рішень відносно управління якістю довкілля з метою мінімізації негативного впливу та дотримання норм екобезпеки, що, в свою чергу, забезпечить комфортні умови життєдіяльності населення техногенно навантажених регіонів. Функціонування урбоекосистем продукує додаткове надходження до біогеохімічних циклів цілої низки небезпечних токсикантів, серед яких особливе місце займає Cd – елемент першого класу токсичності, котрий здатен спричинити тератогенну, мутагенну та канцерогенну дію на організм людини. Слід зазначити, що завдяки своїм буферним властивостям, навіть антропогенно перетворені ґрунти, серед яких провідне місце займають урбаноземі, здатні депонувати Cd протягом тривалого часу, частково виключаючи його надлишок із колообігу, так за В. В. Добровольським (1997) період напіввиведення цього елемента становить 13–110 років. Проте екологічний ризик, який виникає внаслідок забруднення Cd не усувається, тому потребує визначення і прийняття подальших заходів з поліпшення ситуації шляхом впровадження міроприємств з детоксикації забруднених ґрунтів, що є досить актуальним для забезпечення стійкого розвитку урбоекосистем, адже надасть можливість привести їх стан у відповідність до норм екобезпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційно визначення екологічного ризику бере свій початок від встановлення коефіцієнтів (індексів) небезпеки впливу хімічних речовин (елементів) на здоров'я людей, які є відношенням фактору небезпеки до відповідного порогу або, навпаки, безпечного рівня,

приміром індекс небезпеки хімічної речовини [1]. Таким показником по відношенню до забруднення ґрунту важкими металами виступає фактор екологічного ризику (E_r), який запропонував L. Nakanson (1980) [2]

$$E_r = T_r \cdot C_f$$

де T_r – токсико-відповідь на хімічний елемент, котра, в нашому випадку, відповідає 30 враховуючи небезпеку Cd;

C_f – коефіцієнт концентрації даного елемента у конкретному зразку, що визначається як відношення його вмісту в досліджуваному ґрунті до геохімічного фону.

Згодом відомості щодо E_r були значно розширені і запропоновано його нормування [3], а саме: $E_r < 40$ – низький, $40 \leq E_r < 80$ – помірний, $80 \leq E_r < 160$ – значний, $160 \leq E_r < 320$ – високий, $E_r < 320$ – дуже високий. Проте в подальшому використанні на практиці була виявлена ціла низка недоліків відносно цього показника, найголовнішим з яких є неможливість врахування ймовірнісного характеру екологічного ризику. Тому для усередненої ймовірнісної оцінки екологічного ризику (R_n) внаслідок забруднення ґрунту запропоновано використовувати інтеграл із функції розподілення концентрацій досліджуваних токсикантів на основі функції розподілення Вейбула [4]

$$R_n = \exp \left[- \left(\frac{b_j \cdot k \cdot \Gamma ДК_j}{C_j} \right)^{m_j} \right]$$

де b_j та m_j – параметри розподілення Вейбула для j -го забруднювача в ґрунті в межах заданого інтервалу, мг/кг;

k – коефіцієнт нормування забруднення відносно рівнів небезпеки за класами токсичності.

Використання вище наведеної формули надає змогу на думку Г. Г. Бугайової (2010) охарактеризувати

ймовірність екологічного ризику в залежності, поперше, від інтенсивності різних джерел надходження токсикантів, отже враховує строкатість їх розповсюдження, а, по-друге, від абсолютної величини показника забруднення будь-якого абіотичного компоненту навколишнього середовища [5]. Проте небезпека для здоров'я людини, яку несе поняття екологічного ризику, в цьому випадку, має дещо розмитий характер, адже чіткого нормування для отриманих розрахункових величин авторами не запропоновано, тому виникає необхідність у визначенні доцільності їх використання в конкретних умовах.

Мета роботи полягала у проведенні порівняльного аналізу підходів щодо визначення екологічного ризику забруднення Cd ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпропетровськ, як відносної величини та величини, що має ймовірнісний характер.

Методика проведення досліджень. Порівняльний аналіз здійснювали на основі даних опробування ґрунтів м. Дніпропетровськ відносно забруднення Cd в рамках програми екологічного моніторингу. На території м. Дніпропетровськ була сформована мережа шляхом нанесення сітки (2 км × 2 км), що, в свою чергу, надало можливість виділити 65 ключових ділянок відбору проб з наступним розподіленням: лівобережжя – 21, правобережжя – 44; за районами – 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. В ході проведення польового ґрунтово-геохімічного дослідження були обрані ключові ділянки, як найменші геоморфологічні одиниці ландшафту, котрі в достатній мірі відображали генезис і властивості ґрунту,

ґрунтоутворної породи, рельєфу, рослинності, гідрології території та її використання. Досліджувані ґрунти були представлені хемоземом, безпосередньо, територія промислових підприємств та урбаноземом, який відрізнявся за типом порушення ґрунтового профілю, а саме: перемішаний – санітарно-захисна зона промислових підприємств, насипний – висотна забудова, агрогенний – присадибні ділянки приватного сектору. Проби ґрунту відбирали методом конверту з глибини 0–10 см, репрезентативна проба складалася з 25 індивідуальних проб [6].

У відібраних зразках визначали валовий вміст Cd атомно-абсорбційним методом після кислотної обробки ґрунту за стандартними методиками [7; 8].

Обробку отриманих аналітичних даних здійснювали методами математичної статистики. Параметри форми та масштабу з рівняння Вейбула визначали згідно алгоритму В. В. Столярова [9].

Результати досліджень. Аналітичне визначення вмісту Cd в ґрунтах м. Дніпропетровська показало незначне перевищення до геохімічного фону (0,38–0,40 мг/кг), проте всі значення знаходились в межах ГДК, згідно статистичних характеристик виборки (табл. 1). В середньому урбанізований фон перевищував геохімічний в 1,5 рази, хоча спостерігались ділянки з вмістом набагато нижчим, що пояснюється процесами розбавлення у перемішаного та насипного ґрунтового профілів урбаноземів, які сформувались на чорноземах звичайних – зональних ґрунтах для Північного Степу України. Відповідність середнього значення медіани свідчить про симетричне розподілення по виборці. За умов додатного коефіцієнту ексцесу крива розподілу значень вмісту Cd має вищу та гострішу вершину, ніж крива нормального розподілу. Згідно значень коефіцієнту асиметрії переважна частина виборки більша за математичне сподівання.

Таблиця 1

Статистичний аналіз вмісту Cd в ґрунтах м. Дніпропетровськ

Статистична характеристика	Значення
Мінімум	0,56
Максимум	45,99
Розмах	45,43
Середнє	13,42
Медіана	9,53
Ексцес	1,06
Асиметрія	1,19
Дисперсія	107,56
Стандартне відхилення	10,45
Коефіцієнт варіації	0,47
Параметр форми	2,25
Параметр масштабу	0,666

Метод визначення екологічного ризику запропонований Л. Накансон (1980) надав можливість встановити його на кожній конкретній ключовій ділянці, що дало змогу порівняти рівень забруднення Cd ґрунту в різних районах міста та в правобережній і лівобережній його частинах (табл. 2). Так, величина екологічного ризику від забруднення Cd ґрунтів лівобережній частині міста відповідала низькому до помірного, адже її інтенсивна розбудова почалася в 70–80-х роках, в той час як на правобережжі, де зосереджена більша частина підприємств встановлено чотири ділянки зі значним ризиком, що зумовлюється історичним фактором розвитку осередку промислового виробництва,

котре зараз припадає на територію південно-західної групи заводів. Однак при аналізі табл. 2 слід звернути увагу на те що ділянок з перевищенням ГДК на території міста взагалі не встановлено, проте нормування екологічного ризику згідно даного методу сягає категорії «значний», тому виникає проблема відповідності його санітарно-гігієнічним нормативам. Цю невідповідність чітко ілюструє розрахунок екологічного ризику, як відносної величини, для геохімічного фону та 1 ГДК, що, в свою чергу, становить: в першому випадку 30 – низький, а в другому – 236,8 – високий ризик.

Фактор екологічного ризику забруднення Cd ґрунтів м. Дніпропетровськ

Адміністративна одиниця	Нормування за E _г		
	низький	помірний	значний
Амур-Нижньодніпровський район	26,53 (14,31–0,70) 10	60,28 (58,54–63,54) 3	
Індустріальний район	19,79 (13,38–32,31) 3	59,39 (49,46–69,31) 2	
Новокодацький район	29,48 (22,77–38,31) 5	48,14 (40,77–53,08) 5	92,23 (85,08–99,31) 3
Самарський район	25,60 (15,85–37,15) 5	47,27 (43,62–50,92) 2	
Соборний район	27,73 (10,23–37,92) 4	51,44 (46,69–58,62) 4	
Центральний район	37,31 1	51,93 (51,85–52,00) 2	
Чечелівський район		60,60 (45,38–75,46) 8	126,69 1
Шевченківський район	35,46 1	53,42 (49,92–61,08) 6	
Лівобережжя	24,99 18	56,31 7	
Правобережжя	30,10 11	54,22 25	100,85 4
Дніпропетровськ	26,93 29	54,68 32	100,85 4

Примітка: чисельник – середнє значення E_г в ґрунтах відповідної категорії забруднення, в дужках межі коливань; знаменник – кількість ключових ділянок відбору проб ґрунту.

Метод, який враховує ймовірнісний характер, потребував визначення урбанізованого геохімічного фону, як середнього, для кожного району міста. За результатами опробування ґрунтів щодо визначення валового вмісту Cd отримана щільність розподілення концентрацій цього елемента в ґрунтах, що мала право-асиметричний характер, отже задовільно описувалась функцією розподілення Вейбула. Розраховані згідно алгоритму В. В. Столярова параметри рівняння Вейбула наведені в табл. 1. Коефіцієнт варіації (C_V^E) є

не тільки відносною характеристикою ступеня розподілення випадкової величини відносно середнього, а й за умов $C_V^E < 0,33$, ще раз ґрунтовно доводить доцільність використання розподілення Вейбула для оцінки екологічного ризику. Його величину визначали за умов наявного вмісту, який наближався до рівня низького забруднення в 1 ГДК відповідно першого класу токсичності кадмію за В. Б. Ільїним [10], отже коефіцієнт k дорівнював 1.

Таблиця 3

Екологічний ризик забруднення Cd ґрунтів м. Дніпропетровськ

Адміністративна одиниця	Площа, тис. га	Урбанізований фон за середнім значенням, мг/кг	R _n
Амур-Нижньодніпровський район	7163	0,443	$1,34 \cdot 10^{-13}$
Індустріальний район	3268	0,4632	$2,21 \cdot 10^{-12}$
Новокодацький район	8870	0,691	$1,85 \cdot 10^{-5}$
Самарський район	6683	0,483	$2,16 \cdot 10^{-6}$
Соборний район	4409	0,515	$6,73 \cdot 10^{-10}$
Центральний район	1040	0,612	$5,98 \cdot 10^{-7}$
Чечелівський район	3590	0,883	$1,87 \cdot 10^{-3}$
Шевченківський район	2679	0,661	$5,84 \cdot 10^{-6}$
Лівобережжя	17114	0,436	$4,51 \cdot 10^{-14}$
Правобережжя	20588	0,688	$1,65 \cdot 10^{-5}$
Дніпропетровськ	37702	0,587	$1,46 \cdot 10^{-7}$

На відміну від концентрації Cd в ґрунті (вся в межах ГДК), значення екологічного ризику досить сильно варіювало по території міста (табл. 3), іноді на декілька порядків, що надавало змогу визначити найбільш проблемні райони: Чечелівський, Новокодацький, Шевченківський та Центральний, які знаходяться на правобережній частині міста, а це, в свою чергу, збігалось з результатами розрахунку E_г одержаними за методикою Л. Накансон (1980). Зростання рівня ризику викликало, як підвищення значень урбанізова-

ного фону, так і ступінь мінливості концентрації Cd в межах обраної адміністративної одиниці, чим і пояснювались його величини на право- та лівобережжі, а також по місту в цілому. Оцінка R_n запропонована в роботі [4] шляхом порівняння ділянок з різним рівнем техногенного навантаження або між різними забруднювачами без нормування рівня небезпеки суттєво обмежує його використання. Доречніше застосувати нормування екологічного ризику, як ймовірнісної величини за В. Т. Алімовим та Н. П. Тарасовою (2006) [11],

в такому випадку безумовно прийнятним ($R_n < 10^{-8}$) він буде в Амур-Нижньодніпровському, Індустріальному та Соборному районах; прийнятним ($R_n 10^{-6} - 10^{-8}$) – в Самарському, Центральному та Шевченківському районах; неприйнятним ($R_n > 10^{-6}$) – в Новокодацькому та Чечелівському районах.

Висновок. В результаті проведення порівняльного аналізу підходів щодо визначення екологічного ризику встановлена безумовна перевага розрахунку його, як величини що має ймовірнісний характер, за функцією розподілення Вейбула. Виявлено наявність неприйнятного екологічного ризику в Новокодацькому та Чечелівському районах правобережної частини м.

Дніпропетровськ. Встановлено, що на підвищення рівня екологічного ризику здійснює вплив зростання урбанізованого геохімічного фону та ступінь мінливості концентрації Cd на досліджуваній території.

Перспективи подальших досліджень потрібно зосередити на розробці комплексних міроприємств щодо запобігання виникнення екологічного ризику внаслідок забруднення урбоєкосистеми шляхом впровадження новітніх розробок систем очистки викидів на промислових підприємствах та здійснення санації вже забруднених ґрунтів методами фітореємедіації в поєднанні з хімічною детоксикацією.

ЛІТЕРАТУРА

1. Звягинцева А. В. Количественная оценка рисков в экологической безопасности / А. В. Звягинцева, Г. В. Аверин // Вісник Донецького національного університету. Сер. Природничі науки. – 2006. – № 2. – С. 296–304.
2. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach / L. Hakanson // Water resource. – 1980. – Vol. 14. – P. 975–1001.
3. El-Bady M. Road dust pollution by heavy metals along the sides of expressway between Benha and Cairo, southern of Nile Delta, Egypt / M. El-Bady // Geochemistry journal. – 2014. – Vol. 1, Issue 2. – P. 10–23.
4. Уманец В. Н. Методы оценки экологического риска для управления экологической безопасностью при производстве открытых горных работ / В. Н. Уманец, Г. Г. Бугаева, А. В. Когут // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 8. – С. 73–81.
5. Бугаева Г. Г. Метод оценки экологического риска загрязнения почв в зоне открытых горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 12, Т. 4. – С. 17–25.
6. Яковишина Т. Ф. Екологічний моніторинг: контроль і детоксикація важких металів в ґрунтах урбоєкосистем / Т. Ф. Яковишина. – Дніпропетровськ : Нова ідеологія, 2013. – 101 с.
7. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – Москва : 1992. – 61 с.
8. Методи аналізу ґрунту і рослин: методичний посібник / за заг. ред. С. Ю. Булигіна. – Харків : Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О. Н. Соколовського, 1999. – 157 с.
9. Столяров В. В. Оценка надежности нежестких дорожных одежд на основе законов распределения общих модулей упругости / В. В. Столяров, Е. Е. Зверкова, А. С. Фомина, Ю. М. Аникин // Дороги и мосты. – 2013. – Вып. 29. – С. 153–174.
10. Ильин В. Б. Система показателей для оценки загрязненности почв тяжелыми металлами / В. Б. Ильин // Агрохимия. – 1995. – № 1. – С. 94–99.
11. Алымов В. Т. Техногенный риск: анализ и оценка / В. Т. Алымов, Н. П. Тарасова. – Москва : ИКЦ «Академкнига», 2006. – 118 с.

Т. Ф. Яковишина,

Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», г. Днепропетровск, Украина

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ КАДМИЕМ

Проведен сравнительный анализ по определению экологического риска загрязнения почвы одним из самых опасных тяжелых металлов – кадмием, как относительной величины по методике L. Hakanson и величины, которая имеет вероятностный характер на основе функции распределения Вейбулла. Вывявлено несоответствие нормирования фактора экологического риска относительно уровней загрязнения Cd, которое подтверждает расчет указанного показателя для техногенной нагрузки в I ПДК. Установлено, что повышение уровня экологического риска, как вероятностной величины, зависит от роста урбанизированного геохимического фона и степени изменчивости концентрации Cd на исследуемой территории. Проанализированная территория г. Днепропетровска по степени загрязнения Cd почв показала некоторое родство между подходами, а именно, значительный и неприемлемый экологический риск в правобережной части города, где сосредоточена большая часть промышленных предприятий.

Ключевые слова: экологический риск; загрязнение; почва; кадмий; тяжелый металл.

T. F. Yakovyshyna,

State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», Dnepropetrovsk, Ukraine

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE APPROACHES TO THE ECOLOGICAL RISK DETERMINATION OF THE SOIL CONTAMINATION BY THE CADMIUM

The functioning of urban ecosystems contributes additional revenues of the dangerous toxicants in the significant quantities to the biogeochemical cycles. Cd is an element of the first class toxicity, which is able to cause teratogenic, mutagenic and carcinogenic

effects on humans. So the ecological risk of the soil contamination by the cadmium is a need to determine for management of the quality environment and minimization of the negative impacts to the urban ecosystems in the technogenic loaded regions. The comparative analysis of the ecological risk determine has been conducted for the soil contamination by the cadmium, as a relative value by the method of L. Hakanson and probabilistic value by the Weibull distribution function. Investigations have been carried out as part of the ecological monitoring of Dnepropetrovsk soil. Discrepancy of the ecological risk rationing has been discovered for the contamination levels by Cd. It has been confirmed the calculation of this index for the anthropogenic impact in 1 MAC. The increasing of the ecological risk level, as a probability value, depends from the growth of the urbanized geochemical background and variability degree of Cd concentration in the city area. The relationship between the approaches has been established, namely, significant and unacceptable ecological risk in the right-bank part of the city with a large number of industrial enterprises.

Key words: *ecological risk; contamination; soil; cadmium; heavy metal.*