

ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕНOSTI ГРУНТІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 49010, Дніпро, вул. ак. Лазаряна, 2, samarskaya.av@gmail.com

Ґрунти є індикатором загальної техногенної обстановки. Ступінь забрудненості ґрунтів безпосередньо впливає на напрямок їх подальшого використання. Наприклад, забруднений родючий шар не підлягає зняттю, а ґрунти з надзвичайно небезпечною категорією забруднення підлягають утилізації або захороненню. В ході проведення моніторингу, фахівці нерідко стикаються з ситуацією, коли некоректно визначена категорія забруднення ґрунтів призводить до прийняття необґрунтованих проектних рішень в частині рекультивативної землі. Типовим прикладом такої ситуації є віднесення ґрунтів до допустимої категорії забруднення замість помірно небезпечної, в результаті чого не передбачаються заходи з очищення та відновлення ґрунтів.

Після проведення фізико-хімічного аналізу ґрунту виникає актуальне питання – з чим порівняти отримані значення концентрацій важких металів (ВМ). Деякі дослідники використовують показники граничнодопустимих концентрацій для ґрунтів. Наприклад, в Україні законодавчо-затверджені наступні ГДК ВМ у ґрунтах.

Таблиця 1 – ГДК важких металів у ґрунтах, Україна

Важкий метал	ГДК, мг/кг	Важкий метал	ГДК, мг/кг
Кадмій (рухомі форми)	0.5	Нікель (рухомі форми)	4.0
Кобальт (рухомі форми)	5.0	Свинець	32.0
Марганець	1500.0	Хром ⁺³	6.0
Мідь (рухомі форми)	3.0	Цинк (рухомі форми)	23.0

Виникає питання - наскільки правомірним є використання даних значень ГДК для земель залізничного транспорту та промисловості, на яких не передбачено вирощування сільськогосподарської продукції і де перевищення валових та рухомих форм ВМ може бути значним, але при цьому ВМ не потрапляють до харчового ланцюга. Для порівняння в Польщі застосовуються ГДК, розроблені відповідно до цільового призначення земель.

Таблиця 2 - Допустимі рівні концентрацій важких металів в поверхневому шарі, залежно від територіального використання, Польща, мг/кг [1]

Тип земель	As	Ba	Cr	Sn	Zn	Cd	Co	Cu	Mo	Ni	Pb	Hg
Місто	20	200	150	20	300	4	20	150	10	100	100	2
Транспорт	60	1000	500	350	1000	15	200	600	250	300	600	30

Але, наскільки кратність ГДК є інформативним показником при оцінці впливу і-того об'єкта забруднення довкілля на привнесення ВМ у ґрунти. Кратність ГДК має важливу цінність для контролюючих відомств, для яких затверджені ГДК є основною нормативною базою та важелем впливу на підприємства-забруднювачі та інші суб'єкти господарювання. Та необхідно зауважити, що ВМ є природними розсіяними

елементами, а деякі з них є життєво необхідними (в певній концентрації – мікроелементи, наприклад, Zn, Cu, Fe, Mn і Cr) та відіграють значну роль не тільки в метаболізмі рослин, але і тварин. Інколи природний вміст ВМ у ґрунтах може перевищувати затверджені ГДК та не впливати негативно на місцеві біогеоценози. Розглянемо природний вміст ВМ у різних ґрунтово-кліматичних зонах за А.І. Фатєєвим, мг/кг:

Таблиця 3 – Регіональні кларки важких металів для ґрунтів України, мг/кг
(за А.І. Фатєєвим)

Ґрунтово-кліматична зона	Pb	Zn	Mn	Cu	Co	Mo	Sr	Cr	V	Ni
Лісостеп	10 10-10	52 20-90	735 240-3000	20 10-48	17 8-40	2,8 0,9-6,3	119 52-250	51 18-100	52 16-201	26 10-80
Степ	13 10-15	62 33-100	670 200-1600	27 10-64	16 8-27	3,8 2,9-5,6	142 100-220	85 40-150	68 42-130	25 19-40
Карпати: передгір'я	- 23-168	84 45-237	676 150-1575	23 5-76	17 5-32	- 0,4-0,3	- 138-145	90 30-282	106 49-302	39 8-110

Тому, при оцінці накопичення ВМ у ґрунтах дуже часто використовується такий показник як K_c (або в англійській літературі PI_i) коефіцієнт концентрації (накопичення), який визначається за формулою 1

$$K_c = \frac{C}{C_{\phi}} \text{ або } PI_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

де C (C_i) – фактична концентрація i -того металу, C_{ϕ} (S_i) – фонові концентрації i -того металу.

Також, використовується загальний індекс забруднення ґрунтів i -тим ВМ, PI_N , індекс забруднення Немегов, який визначається за формулою 2

$$PI_N = \sqrt{\frac{PI_{ave}^2 + PI_{max}^2}{2}} \quad (2)$$

де PI_{ave} та PI_{max} – середній та максимальний рівень (індекс) забруднення для i -того металу.

Оскільки ґрунти досить часто є забрудненими одночасно декількома елементами, то для них розраховують сумарний показник забрудненості Z_c , який відображає комплексний ефект впливу всієї групи елементів та визначається як адитивна сума перевищень коефіцієнтів концентрацій елементів над фоновим рівнем формула 3:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n-1) \quad (3)$$

де n – число врахованих елементів, K_c – коефіцієнт концентрації.

Але, недоліком показника Z_c є те, що він не відображає токсичності кожного окремого металу, тому доцільно, крім Z_c використовувати такий показник, як RI – потенційний екологічний ризик забруднення ґрунтів, який визначається за формулою 4 [2-4]:

$$RI = \sum E_i \quad (4)$$

де E_i – фактор ризику для i -того важкого металу.

$$E_i = T_i f_i = T_i \frac{C_i}{S_i} \quad (5)$$

де T_i – фактор, що відображає токсичність i -того важкого металу та ступінь чутливості довкілля до цього металу, значення T_i для Hg, Cd, As, Ni, Cu, Pb, Cr, Zn, Mn складає 40, 30, 10, 5, 5, 5, 2, 1 та 1 відповідно, f_i – відношення фактичної концентрації ВМ C_i до його фонового вмісту S_i [2-4].

Таблиця 4 - Градація сумарного показника забрудненості ґрунтів Z_c

Ступінь забруднення	Z_c
дуже слабкий	< 8
слабкий	8–16
помірний	16–32
сильний	32–64
дуже сильний	64–128
надзвичайно сильний	> 128

Таблиця 5 - Градація екологічного ризику

E_r^i	Одичний екологічного ризику	RI	Загальний екологічний ризик
$E_r^i \leq 40$	Низький екологічний ризик	$RI \leq 150$	Низький
$40 < E_r^i \leq 80$	Середній	$150 < RI \leq 300$	Середній
$80 < E_r^i \leq 160$	Значний	$300 < RI \leq 600$	Значний
$160 < E_r^i \leq 320$	Високий	$RI > 600$	Дуже високий
$E_r^i > 320$	Надзвичайно високий		

Значний науковий інтерес має коефіцієнт збагачення EF (Enrichment Factor):

$$EF = \frac{C_i / C_r}{B_i / B_r} \quad (6)$$

де C_i та C_r – концентрації цільового та порівняльного (контрольного, (r-reference)) ВМ в зразках ґрунту, B_i та B_r – фонові концентрації цільового та порівняльного ВМ в регіоне, де проводяться дослідження.

Значення $0,5 \leq EF \leq 1,5$ дозволяють припустити, що концентрація металів може повністю походити від природних процесів вивітрювання. Проте, $EF > 1,5$ вказує на те, що джерелом металів є не материнська порода та природні процеси, а на те, що ці елементи потрапили у ґрунт від техногенних джерел забруднення [2-4]. EF має свою класифікацію, наприклад, $EF < 2$ дефіцит – мінімальне збагачення, $EF > 40$ надзвичайно високе збагачення.

Відкритим залишається питання проте який метал приймати за контрольний (reference), головний критерій вибору цього металу – він не повинен привноситись в навколишнє середовище антропогенними джерелами. Прийнято використовувати Al, Fe, Mn та Rb [5]. Але, в більшості випадків (для Дніпропетровської області) Al, Fe, Mn потрапляють в навколишнє середовище в наслідок діяльності хімічних та

металургічних підприємств. Fe та Mn – ВМ, джерелом яких може бути також діяльність залізничного транспорту. Тому, наприклад, в дослідженнях, що розглядають залізничний транспорт як джерело надходження ВМ у довкілля, проблематично підібрати контрольний метал, але можливо. Проте, основною перешкодою проведення даних досліджень є вартість обладнання та його утримання, інколи відсутність методик визначення та ін.

Також, необхідно звернути уваги на індекс геоаккумуляції (*Igeo*), розроблений Мюллером для оцінки накопичення ВМ у фракціях розміром 2 мікрона – 0,002 мм (у донних відкладеннях, глистих мінералах, ґрунтового пилу). Цей індекс розраховується наступним чином [5]:

$$I_{geo} = \ln C_n / 1,5 \cdot V_n \quad (7)$$

де C_n – це виміряна концентрація елемента в ґрунтового пилу, V_n – значення геохімічного фону, а константа 1.5 дозволяє аналізувати природні коливання вмісту даної речовини в навколишньому середовищі та виявити дуже малий антропогенний вплив. Мюллер визначив сім класів індексу геоаккумуляції, починаючи з класу 0 ($I_{geo} = 0$, незабруднені) до класу 6 ($I_{geo} > 5$, надзвичайно забруднені). Найвищий клас «6» відображає принаймні 100-кратний коефіцієнт збагачення вище фонового значення.

Висновки: в роботі розглянуто різні підходи до оцінки накопичення ВМ у ґрунтах. Показники K_c та Z_c є стандартними для України та Росії та дуже часто використовуються у наукових роботах, пов'язаних з забрудненням ґрунтів ВМ. RI , EF та I_{geo} зустрічаються в англійських роботах вчених з різних країн. Кожна методика має свої переваги та недоліки. Тому, доцільно оцінювати отримані дані за всіма наведеними методиками. Зазначені підходи до оцінки накопичення ВМ у ґрунтах можуть в повній мірі використовуватись українськими дослідниками.

Крім того, для повної оцінки забрудненості та токсичності ґрунтів рекомендуємо використання біотестів відповідно до стандартів ISO 11269-1:2012, ISO 6341:2012 та OECD. Результати проведення яких є якісним відображенням впливу сполук, які містяться у ґрунтів, на живі організми (рослини, ракоподібні, бактерії).

Література

1. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. Dz.U. 2002 Nr 165 poz.1359, appendix [in Polish].
2. Yuanan Hu, Xueping Liu, Jinme i Bai & Kai min Shih, Eddy Y. Zeng, Hefa Cheng Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2013, Volume 20, Issue 9, pp 6150–6159
3. Xudong Jiao, Yanguo Teng, Yanhong Zhan, Jin Wu, and Xueyu Lin Soil Heavy Metal Pollution and Risk Assessment in Shenyang Industrial District, Northeast China // *Plos One*. – 2015, Vol. 10 (5), doi:10.1371/journal.pone.0127736
4. Naglaa Farag Soliman, Samir Mahmoud Nasr and Mohamed Abdelaziz Okbah Potential ecological risk of heavy metals in sediments from the Mediterranean coast, Egypt // *Journal of Environmental Health Science and Engineering* – 2015, Vol. 13, doi:10.1186/s40201-015-0223-x
5. Maurizio Barbier The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination // *Geology & Geophysics* – 2016, Volume 5, Issue 1, ISSN:2381-8719 JGG, doi:10.4172/2381-8719.1000237