

## УДК 656.2:504

А. В. САМАРСЬКА<sup>1\*</sup>, Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup>\*Каф. «Хімія та інженерна екологія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (097) 091 74 51, ел. пошта samarskaya.av@gmail.com, ORCID 0000-0002-0828-9457

<sup>2</sup>Каф. «Хімія та інженерна екологія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (067) 774 04 64, ел. пошта j.v.zelenko@gmail.com, ORCID 0000-0001-5551-0305

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ НА НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ

**Мета.** Наукова стаття має за мету аналіз сучасного стану забруднення важкими металами (ВМ) ґрунтів залізничної інфраструктури, а саме трьох станцій Придніпровської залізниці: Кам'янське–Пасажирське, Запоріжжя–Кам'янське й Тритузна. **Методика.** Об'єкт дослідження – ґрунти вищезазначених залізничних станцій, предмет – валовий вміст ВМ. Відбір проб здійснювався кожні 15 м між рейками та поза ними з обох сторін. Загальна площа досліджуваних територій – 600 м<sup>2</sup>. Методом атомно-абсорбційної спектрометрії визначено концентрації валових форм Fe, Pb, Zn, Cu, Ni, Cd та Mn. Отримані дані порівнювались із фоновими концентраціями ВМ для Дніпропетровської області та з результатами аналізу контрольних ділянок, що знаходились на відстані 250 м від залізничних станцій. **Результати.** Встановлено, що залізничний транспорт є джерелом надходження ВМ у ґрунти. Отримані результати вказують на те, що стан ґрунтів станції Кам'янське–Пасажирське відповідає низькому екологічному ризику й слабкому ступеню забруднення, оскільки станція є тільки пасажирською, і забруднення відбувається за рахунок тертя коліс та рейок, пантографа об контактну мережу, а також використання пестицидів. Забруднення ґрунтів станції Запоріжжя–Кам'янське відрізняється значним потенційним екологічним ризиком і дуже сильним ступенем забруднення. Ця станція є вантажно-пасажирською, і такий рівень забруднення є здебільшого наслідком процесів завантаження й розвантаження. Ґрунти станції Тритузна характеризуються середнім потенційним екологічним ризиком та помірним ступенем забруднення. На цій станції відбувається переформування товарних поїздів, але за рахунок перевезення значних обсягів сипучих рудних вантажів у ґрунти станції потрапляють ВМ. Крім того, станція неелектрифікована. Надано рекомендації щодо оцінки рівнів забруднення ґрунтів. **Наукова новизна.** Вперше на базі проведеного фізико-хімічного аналізу вмісту ВМ у ґрунтах вищезазначених станцій визначено потенційний екологічний ризик забруднення ґрунтів. **Практична значимість.** Результати дослідження можуть бути використані як обґрунтування доцільності впровадження програм екологічного моніторингу для земель залізничного транспорту, природоохоронних заходів із очищення ґрунтів від ВМ, коригування зони відчуження залізниць і захисту прилеглих територій від розповсюдження та акумуляції цих поллютантів. На основі отриманих даних доведена необхідність постійного контролю вмісту ВМ у ґрунтах залізничної інфраструктури й актуальність продовження досліджень у даному науковому напрямку.

**Ключові слова:** важкі метали; залізничний транспорт; ґрунти; залізничні станції; потенційний екологічний ризик

## Вступ

Експлуатація залізничного транспорту негативно впливає на якість навколишнього середовища. Цей вплив проявляється у забрудненні довкілля як органічними (нафтопродукти, поліциклічні ароматичні вуглеводні, поліхлоровані біфеніли), так і неорганічними речовинами (важкі метали, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> та ін.).

Дослідження, присвячені вивченню залізничного транспорту як фактора забруднення довкілля, підтверджують гіпотезу про те, що цей

вид транспорту може сприяти накопиченню в шарі ґрунту таких стійких та небезпечних поллютантів, як важкі метали (далі – ВМ) [1, 4–7, 10–14, 17–20].

Концентрації ВМ у ґрунтових зразках, відібраних у міжколійному просторі, можуть у десятки разів перевищувати контрольні показники. Наприклад, дослідження польських учених демонструють наступні концентрації ВМ у ґрунтах станції Pawa Główna, мг/кг: у зоні під'їзних шляхів Pb – 448<sup>1</sup>/494<sup>2</sup>; Cd – 5,4<sup>1</sup>/5,1<sup>2</sup>; Cu – 191<sup>1</sup>/161<sup>2</sup>; Zn – 1264<sup>1</sup>/1223<sup>2</sup>;

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Hg – 0,573<sup>1</sup>/0,969<sup>2</sup>; Fe – 44800<sup>1</sup>/39700<sup>2</sup>; Co – 9<sup>1</sup>/8<sup>2</sup>; Cr – 67<sup>1</sup>/58<sup>2</sup>; Mo – 2<sup>1</sup>/2<sup>2</sup> (1 – між рейками, 2 – поза рейками) [13]. Показники вмісту ВМ у трьох контрольних зонах, мг/кг: Pb – 1<sup>a</sup>/2<sup>b</sup>/3<sup>c</sup>; Cd – н. в.<sup>a</sup>/н. в.<sup>b</sup>/н. в.<sup>c</sup>; Cu – 4<sup>a</sup>/4<sup>b</sup>/4<sup>c</sup>; Zn – 23<sup>a</sup>/23<sup>b</sup>/18<sup>c</sup>; Hg – 0,014<sup>a</sup>/0,05<sup>b</sup>/0,013<sup>c</sup>; Fe – 4400<sup>a</sup>/4500<sup>b</sup>/5000<sup>c</sup>; Co – 1<sup>a</sup>/1<sup>b</sup>/2<sup>c</sup>; Cr – 5<sup>a</sup>/6<sup>b</sup>/8<sup>c</sup>; Mo – н. в.<sup>a</sup>/н. в.<sup>b</sup>/1<sup>c</sup> (н. в. – не виявлено, <sup>a</sup> – 500 м на південний захід від залізничного вузла, <sup>b</sup> – 500 м на південний схід, <sup>c</sup> – 2 км на схід) [13].

Отримані дані демонструють значний вміст заліза, що є закономірним для залізничного транспорту, свинцю, кадмію, міді та цинку, що може вказувати на специфіку вантажів, які перевозять, завантажують та вивантажують на цій станції.

Інше дослідження, проведене Kajetan Dzierżanowski та Stanisław W. Gawronski, також підтверджує припущення щодо значного впливу залізничного транспорту на накопичення ВМ у ґрунтах і рослинах. Дослідження проводилось *in situ* на залізничному сполученні Варшава–Отвоцьк з використанням рентгенолюмінесцентного спектрометра [11]. Автори порівнюють отримані результати із затвердженими в Польщі допустимими рівнями концентрацій ВМ у поверхневому шарі для земель транспорту, мг/кг [11]. У табл. 1 представлено результати досліджень і допустимі рівні концентрацій ВМ, затверджені в Польщі в 2002 році.

Представлені дані свідчать про високий вміст таких металів, як барій, хром, мідь, нікель, ртуть та характерного для залізниць заліза. Необхідно зауважити, що важко оцінити ступінь впливу експлуатації залізниці на накопичення ВМ без порівняння отриманих даних з контрольними показниками або фоновими концентраціями. Можна зробити лише висновок про перевищення затверджених норм для Ва, Cr, Cu та Ni.

Більший інтерес мають дані щодо акумуляції ВМ у рослинах на прилеглий до вузла Варшава–Отвоцьк території. Наприклад, *Viola arvensis* накопичує приблизно 230 мг/кг Zn, *Vicia cracca* –  $\approx$  30 мг/кг Mo, *Cerastium dubium* –  $\approx$  160 мг/кг Cu, 400 мг/кг Mn, 8 мг/кг Pb, 34000 мг/кг Fe [11]. Ці дані підтверджують вплив залізничного транспорту на акумуляцію ВМ як у ґрунті прилеглих територій, так і в рослинах, що на них зростають.

За результатами хімічного аналізу зразків ґрунту, зібраних із залізничних станцій Białystok Fabryczny, Siemianówka та Waliły у 2015 р. [20], рівні забруднення значно нижчі, ніж у попередніх дослідженнях. Але біотестування демонструє значну токсичність ґрунтів станцій Białystok Fabryczny та Siemianówka [20]. Зазначена інформація наведена у табл. 2.

Таблиця 1

**Концентрація ВМ у поверхневому шарі ґрунту залізничного сполучення Варшава–Отвоцьк та допустимі рівні концентрацій ВМ**

ВМ	Концентрація, мг/кг	Стандартне відхилення, мг/кг	Допустимі рівні концентрацій ВМ, мг/кг
Ba	1 092,1	299,1	1 000
Cr	1 108,4	331,4	500
Zn	142,4	17,7	1 000
Cu	894,3	41,5	600
Mn	1 528,9	160,9	-
Mo	18,0	4,0	250
Ni	588,1	101,1	300
Pb	65,0	8,3	600
Hg	25,3	6,0	30
Fe	196 112,7	3 909,8	-

Таблиця 2

**Результати хімічного аналізу зразків ґрунту, зібраних із залізничних станцій у Białystok Fabryczny, Siemianówka та Waliły**

ВМ	Станція		
	Białystok Fabryczny	Siemianówka	Waliły
Zn	130 ± 10,4	75 ± 6,0	106 ± 8,58
Cu	107 ± 16,1	27 ± 4,1	46 ± 6,9
Pb	153 ± 27,5	20 ± 3,6	27 ± 4,9
Ni	14 ± 3,4	17 ± 4,1	52 ± 12,5
Hg	0,06 ± 0,01	<0,05	<0,05
Cd	<0,70	<0,70	<0,70
Cr	25 ± 5,3	15 ± 3,2	70 ± 14,7

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

На сьогодні в Україні відсутні законодавчо затверджені допустимі рівні концентрацій ВМ для земель транспорту і зв'язку, промисловості й міських територій.

Джерелами надходжень ВМ у шари ґрунту на залізничному транспорті в першу чергу є перевезення вантажів, їх розсіювання, розсіпання та розливання на колії і прилеглі території [1, 5–7, 10–14, 19]. Наприклад, загальна кількість втрат під час перевезень мінеральних добрив насипом у критих вагонах становить до 8 %, у піввагонах – до 28 %. Під час перевезень в універсальних вагонах щорічно втрачається до 7 % руди і 3 % цементу [7].

За даними державної служби статистики України [3], залізничний транспорт займає перше місце за обсягами перевезень вантажів. У табл. 3 й 4 представлено вантажообіг та обсяги перевезень вантажів у 2017 році, а також види вантажів, перевезених залізничним транспортом.

Іншими джерелами забруднення ВМ на залізничному транспорті є:

– тертя в системах колесо–гальмівні колодки, колесо–рейка, пантограф–контактний провід, підшипники [5–7, 10–14, 18, 19];

– використання гербіцидів [7, 13];  
– опалення вагонів вугіллям [5–7];  
– вихлопні гази двигунів локомотивів [5–7, 10, 12];  
– міграція з дерев'яних і залізобетонних шпал, зі щебню й матеріалів баластної призми [5–8, 10, 14];  
– сміття, яке викидають із потягів і на платформах.

Крім того, на накопичення ВМ у ґрунтах під час експлуатації залізниць впливає широкий діапазон факторів: інтенсивність і швидкість руху поїздів; час існування й ступінь експлуатації залізниці; початкова швидкість гальмування, довжина гальмівного шляху; характер та обсяги вантажів, які перевозять; погодні умови; рельєф; гранулометричний і хімічний склад ґрунту; рослинний покрив.

Вміст ВМ у ґрунтах залізничної інфраструктури може значно відрізнитися та коливатися в широкому діапазоні. Тому вивчення впливу залізничного транспорту на надходження ВМ у ґрунти є актуальним напрямом наукових досліджень.

Таблиця 3

Вантажообіг та обсяги перевезень вантажів у 2017 році

	Вантажообіг		Обсяг перевезених вантажів	
	млн ткм	у % до 2016 р.	млн т	у % до 2016 р.
Транспорт загалом	343 057,1	105,8	635,9	101,8
залізничний	191 914,1	102,3	339,5	98,9
автомобільний	41 178,8	108,4	175,6	104,7
водний	4 257,1	106,3	5,9	88,1
трубопровідний	105 434,4	111,7	114,8	107,6
авіаційний	272,7	120,5	0,1	110,5

Таблиця 4

Перевезення вантажів залізничним транспортом у 2017 році

	Виконано, млн т	У % до 2016 р.
Перевезено вантажів	339,5	98,9
з них відправлено	277,3	94,9
у т. ч. за номенклатурою вантажів		
кам'яного вугілля	43,9	76,2

	Виконано, млн т	У % до 2016 р.
коксу	5,0	70,8
нафти і нафтопродуктів	3,8	115,3
руди залізної і марганцевої	64,9	93,5
чорних металів	20,8	82,4
брухту чорних металів	3,1	114,9
лісових вантажів	2,8	66,8
хімічних і мінеральних добрив	3,5	84,2
зерна і продуктів перемелу	35,7	111,8
цементу	5,9	101,0
будівельних матеріалів	41,2	116,5
інших вантажів	46,7	118,0

### Мета

Основною метою роботи є аналіз сучасного стану забруднення ВМ ґрунтів залізничної інфраструктури; оцінка й визначення частки залізничного транспорту у накопиченні ВМ у ґрунтах. Для досягнення поставленої мети в роботі реалізовано наступні етапи: літературний огляд проблеми; аналітична оцінка рівнів забруднення ВМ ґрунтів залізничних станцій; розрахунки сумарних показників забрудненості й потенційних екологічних ризиків контамінації ґрунтів ВМ; розробка рекомендацій щодо подальшого моніторингу токсикологічного стану ґрунтів.

### Методика

Об'єкт дослідження – ґрунти трьох залізничних станцій Придніпровської залізниці:

1) пасажирська станція Кам'янське–Пасажирське, рік відкриття 1965, електрифікована (далі – станція «КП»);

2) вантажно-пасажирська Запоріжжя–Кам'янське, рік відкриття 1884, електрифікована (далі – станція «КЗ»);

3) вантажна станція Тритузна, рік відкриття 1884, неелектрифікована (далі – станція «Т»).

Предмет дослідження – валовий вміст ВМ. Для міжколійного простору достатньо визначення валових форм, оскільки рухомі в даному випадку не відіграють важливої ролі, відсутня міграція у ланцюгах «ґрунт–рослини», «ґрунт–рослини–людина».

Схема відбору проб представлена на рис. 1. Проби відбирались кожні 15 м між рейками (1) та поза ними з обох боків (2). Вага кожної проби – 250–300 г, глибина відбору – 0–20 см. Загальна площа досліджуваних територій – 600 м<sup>2</sup>. Було обрано саме такий принцип відбору проб, оскільки станції обмежені будівлями, і розповсюдження ВМ на різні відстані оцінити неможливо.

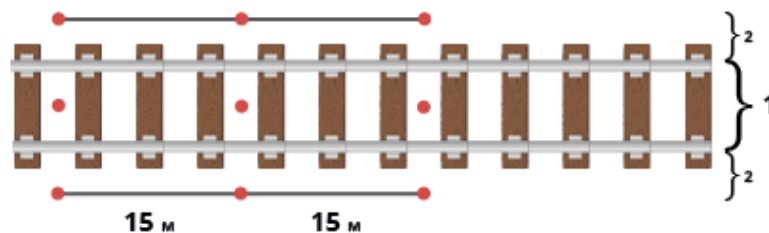


Рис. 1. Схема відбору проб на залізничних станціях:

1 – зона відбору проб між рейками, 2 – зона відбору проб за рейками з обох сторін

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ



Рис. 2. Місця відбору проб на станції Кам'янське–Пасажи́рське

Контрольні ділянки знаходились на відстані 250 м від кожної станції. Проби відбирались методом конверта.

На рис. 2 зображено місця відбору проб ґрунтових зразків. Відбір проб здійснювався наприкінці серпня 2017 року в суху спекотну погоду.

Концентрації ВМ у ґрунтах станцій визначались атомно-адсорбційним методом. Валові форми ВМ екстрагувались азотною кислотою (1:1). Вміст ВМ у досліджуваних зразках ґрунту розраховувався за формулою (1):

$$X = V \cdot (C_1 - C_0) / m \quad (1)$$

де  $X$  – масова частка металу, що визначається в повітряно-сухій пробі ґрунту, мг/кг;  $C_1$  – концентрація металу в досліджуваній кислотній витяжці ґрунту, знайдена за градуовальним графіком, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_0$  – концентрація металу в контрольній пробі, знайдена за градуовальним графіком, мг/дм<sup>3</sup>;  $V$  – об'єм досліджуваного розчину, см<sup>3</sup>;  $m$  – маса повітряно-сухої проби ґрунту, г.

З метою оцінки рівня акумуляції ВМ в ґрунті розраховувався 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 (2) [2]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n Kc - (n-1) \quad (2)$$

де  $n$  – число врахованих елементів,  $Kc$  – коефіцієнт концентрації (накопичення), відношення фактичної концентрації до фонового вмісту [2].

Хоча ця методика використовується в багатьох роботах, пов'язаних із оцінкою накопичення ВМ у ґрунтах, 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 (3) [9, 15, 16]:

$$RI = \sum E_i, \quad (3)$$

де  $E_i$  – фактор ризику для  $i$ -того ВМ,

$$E_i = T_i f_i = T_i \frac{C_i}{S_i}, \quad (4)$$

де  $T_i$  – фактор, що відображає токсичність  $i$ -того ВМ і ступінь чутливості до цього металу, значення  $T_i$  для Hg, Cd, As, Ni, Cu, Pb, Cr, Zn та 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 ( $S_i$ ) [9, 15, 16].

Класифікації  $Z_c$  та  $RI$  представлені у табл. 5 і 6.

Таблиця 5

Класифікація 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 6  
Класифікація потенційного екологічного ризику забруднення ґрунтів

$E_i$	Індивідуальний	$RI$	Загальний
$E_i \leq 40$	Низький	$RI \leq 150$	Низький
$40 < E_i \leq 80$	Середній	$150 < RI \leq 300$	Середній
$80 < E_i \leq 160$	Значний	$300 < RI \leq 600$	Значний
$160 < E_i \leq 320$	Високий	$RI > 600$	Дуже високий
$E_i > 320$	Надзвичайно високий		

### Результати

Результати досліджень представлені у табл. 7. Було визначено концентрації валових форм Mn, Cu, Zn, Ni, Pb, Cd та Fe у ґрунтах станцій «КП», «ЗК», «Т» і на трьох контрольних ділянках, де антропогенний вплив є досить незначним.

Наведені дані за всіма позиціями перевищують контрольні показники й фонові концентрації, що свідчить про прямий вплив залізничного транспорту на копичення ВМ у ґрунтах.

Отримані результати вказують на те, що стан ґрунтів станції «КП» відповідає низькому екологічному ризику й слабкому ступеню забруднення, оскільки станція є тільки пасажирською, і забруднення відбувається за рахунок тертя коліс і рейок, пантографа об контактну мережу, а також використання пестицидів.

Забруднення ґрунтів станції «ЗК» відрізняється значним потенційним екологічним ризиком і дуже сильним ступенем забруднення. Ця станція є вантажно-пасажирською, і такий рівень забруднення є здебільшого наслідком процесів завантаження й розвантаження.

Ґрунти станції «Т» характеризуються середнім потенційним екологічним ризиком і помірним ступенем забруднення. На цій станції відбувається переформування товарних поїздів, але за рахунок перевезення значних обсягів си-

пучих рудних вантажів у ґрунти станції потрапляють ВМ. Крім того, станція неелектрифікована.

### Наукова новизна та практична значимість

Уперше на базі проведеного фізико-хімічного аналізу вмісту ВМ у ґрунтах станцій «КП», «ЗК» і «Т», визначено потенційний екологічний ризик забруднення ґрунтів. На основі отриманих даних підтверджується необхідність та актуальність постійного контролю вмісту ВМ у ґрунтах залізничної інфраструктури. Результати дослідження можуть бути використані як обґрунтування доцільності впровадження програм екологічного моніторингу для земель залізниць, природоохоронних заходів із очищення ґрунтів від ВМ, захисту прилеглих територій від розповсюдження цих полютантів і коригування зони відчуження залізниць.

### Висновки

У зв'язку з тим, що експлуатація залізничного транспорту призводить до забруднення ґрунтів ВМ у концентраціях, які перевищують нормативні, необхідно розробити рекомендації щодо нецільового (сільськогосподарського) використання земельних ділянок, що входять у межі демпферної зони залізниць.

За представленими даними проведено диференціювання зон залізничних магістралей з високими показниками забрудненості й розроблено рекомендації щодо заходів із деконтамінації й санації ґрунтів залізничної інфраструктури.

Рекомендуємо для оцінки рівнів забруднення ґрунтів ВМ розраховувати показники  $Z_c$  та  $RI$ , а також визначати концентрації ВМ на контрольних ділянках, оскільки використання фонових концентрацій для порівняння викликає багато питань і сумнівів, хоча застосовується багатьма дослідниками. І як завершальний етап оцінки – біотестування, що продемонструє токсичний вплив досліджених ґрунтів (або його відсутність) на рослини, ракоподібні, бактерії та інші живі організми.

## Загальний показник забрудненості й потенційний екологічний ризик забруднення ґрунтів станцій

Станції й показники відповідно до методики	Концентрації важких металів, мг/кг													
	Mn (600*)		Cu (20*)		Zn (30*)		Ni (10*)		Pb (10*)		Cd (1*)		Fe (22 000*)	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
«КП»	654	670	61	60	178	170	32	31	40	35	1,5	1,5	35 670	35 660
Kc	1,1	1,1	3,1	3,0	5,9	5,7	3,2	3,2	4,0	3,5	1,5	1,5	1,6	1,6
Ei	1,1	1,1	15,2	15	5,9	5,9	16	16	20	17,5	4,5	4,5	1,6	1,6
RI	103,35 – низький потенційний екологічний ризик													
Zc	14 – слабкий ступінь забруднення													
«ЗК»	2220	2220	456	476	678	656	111	115	340	324	4	4	61 860	61 230
Kc	3,7	3,7	22,8	23,8	22,6	21,8	11,1	11,5	34	32,4	4	4	2,8	2,8
Ei	3,7	3,7	114	119	22,6	21,8	55,5	57,5	170	162	1,2	1,2	2,8	2,8
RI	487,7 – значний потенційний екологічний ризик													
Zc	94,5 – дуже сильний ступінь забруднення													
«Т»	710	715	75	67	180	179	63	65	150	130	2	2	48 700	48 705
Kc	1,18	1,19	3,75	3,35	6	6	6,3	6,5	15	13	2	2	2,2	2,2
Ei	1,18	1,19	18,8	16,8	6	6	31,5	32,5	75	65	6,0	6,0	2,2	2,2
RI	188,14 – середній потенційний екологічний ризик													
Zc	29,3 – помірний ступінь забруднення													
Контроль	340 <sup>1</sup> /240 <sup>2</sup> /300 <sup>3</sup>		6 <sup>1</sup> /5 <sup>2</sup> /6 <sup>3</sup>		23 <sup>1</sup> /30 <sup>2</sup> /40 <sup>3</sup>		7 <sup>1</sup> /6 <sup>2</sup> /7 <sup>3</sup>		10 <sup>1</sup> /8 <sup>2</sup> /5 <sup>3</sup>		0,5 <sup>1</sup> /0,3 <sup>2</sup> /н. в <sup>3</sup>		2 340 <sup>1</sup> /3 078 <sup>2</sup> /1 460 <sup>3</sup>	

\* – фоновий вміст ВМ у ґрунтах Дніпропетровської області.

1, 2, 3 – контрольні показники вмісту важких металів для станцій «КП», «ЗК» та «Т» відповідно.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Бобрик, Н. Ю. Поширення та акумуляція важких металів у ґрунтах призалізничних територій / Н. Ю. Бобрик // Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Серія: Біологія. Екологія. – 2015. – Вип. 23 (2). – С. 183–189. doi: 10.15421/011526
- Дабахов, М. В. Тяжелые металлы: Экотоксикология и проблемы нормирования : монография / М. В. Дабахов, Е. В. Дабахова, В. И. Титова. – Нижний Новгород : ВВАГС, 2005. – 165 с.

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

3. Державна служба статистики України [Electronic resource]. – Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua> – Title from the screen. – Accessed : 23.07.2018.
4. Журавлева, М. А. Загрязнение придорожной зоны тяжелыми металлами / М. А. Журавлева, Н. И. Зубрев, С. М. Кокин // Мир транспорта. – 2014. – Т. 12, № 6. – С. 174–178.
5. Зеленько, Ю. В. Проблема забруднення важкими металами смуги відводу залізниць / Ю. В. Зеленько, А. В. Самарська // Заліз. трансп. України. – 2014. – № 5 (108). – С. 51–53.
6. Казанцева, М. Ю. Железнодорожный транспорт как источник загрязнения окружающей среды / М. Ю. Казанцева, Д. А. Зибарева // Самарский научный вестник. – 2014. – № 4 (9) – С. 54–56.
7. Казанцев, И. В. Железнодорожный транспорт как источник загрязнения почв тяжелыми металлами / И. В. Казанцев // Самарский научный вестник. – 2015. – № 2 (11). – С. 94–96.
8. Крошечкина, И. Ю. Комплексная оценка загрязнения балластного слоя железнодорожного полотна / И. Ю. Крошечкина, Н. И. Зубрев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 1 (17). – С. 100–102.
9. Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization / Y. Hu, X. Liu, J. Bai, K. Shih, E. Y. Zeng, H. Cheng // Environmental Science and Pollution Research. – 2013. – Vol. 20. – Iss. 9. – P. 6150–6159. doi: 10.1007/s11356-013-1668-z
10. Does the Function of Railway Infrastructure Determine Qualitative and Quantitative Composition of Contaminants (PAHs, Heavy Metals) in Soil and Plant Biomass? / M. Mętrak, M. Chmielewska, B. Sudnik-Wójcikowska, B. Wiłkomirski, T. Staszewski, M. Suska-Malawska // Water, Air, & Soil Pollution. – 2015. – Vol. 226. – Iss. 8. doi: 10.1007/s11270-015-2516-1
11. Dzierżanowski, K. Heavy metal concentration in plants growing on the vicinity of railroad tracks: a pilot study / K. Dzierżanowski, S. W. Gawroński // Challenges of Modern Technology. – 2012. – Vol. 3, No. 1. – P. 42–45.
12. Railway Tracks – Habitat Conditions, Contamination, Floristic Settlement – A Review / B. Wiłkomirski, H. Galera, B. Sudnik-Wójcikowska, T. Staszewski, M. Malawska // Environment and Natural Resources Research. – 2012. – Vol. 2, No. 1. – P. 86–95. doi: 10.5539/enrr.v2n1p86
13. Railway transportation as a serious source of organic and inorganic pollution / B. Wiłkomirski, B. Sudnik-Wójcikowska, H. Galera, M. Wierzbicka, M. Malawska // Water, Air, & Soil Pollution. – 2010. – Vol. 218. – Iss. 1-4. – P. 333–345. doi: 10.1007/s11270-010-0645-0
14. Soil and plants contamination with selected heavy metals in the area of a railway junction / T. Staszewski, M. Malawska, B. Studnik-Wójcikowska, H. Galera, B. Wiłkomirski // Archives of Environmental Protection. – 2015. – Vol. 41, No. 1. – P. 35–42. doi: 10.1515/aep-2015-0005
15. Soil Heavy Metal Pollution and Risk Assessment in Shenyang Industrial District, Northeast China / X. Jiao, Y. Teng, Y. Zhan, J. Wu, X. Lin // Plos One. – 2015. – Vol. 10. – Iss. 5. – P. e0127736. doi: 10.1371/journal.pone.0127736
16. Soliman, N. F. Potential ecological risk of heavy metals in sediments from the Mediterranean coast, Egypt / N. F. Soliman, S. M. Nasr, M. A. Okbah // Journal of Environmental Health Science and Engineering. – 2015. – Vol. 13. – Iss. 1. doi: 10.1186/s40201-015-0223-x
17. The effects of railway transportation on the enrichment of heavy metals in the artificial soil on railway cut slopes / Z. Chen, K. Wang, Y. W. Ai, W. Li, H. Gao, C. Fang // Environmental Monitoring and Assessment. – 2013. – Vol. 186. – Iss. 2. – P. 1039–1049. doi: 10.1007/s10661-013-3437-3
18. The effects of the Qinghai–Tibet railway on heavy metals enrichment in soils / H. Zhang, Z. Wang, Y. Zhang, Z. Hu // Science of the Total Environment. – 2012. – Vol. 439. – P. 240–248. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.09.027
19. The selected trace elements in soil of railway stations in north-eastern Poland / B. Wiłkomirski, M. Suska-Malawska, B. Sudnik-Wójcikowska, T. Staszewski // Rocznik Świętokrzyski. Ser. B – Nauki Przyr. – 2013. – T. 34. – P. 171–180.
20. Wierzbicka, M. Multidimensional evaluation of soil pollution from railway tracks / M. Wierzbicka, O. Bemowska-Kalabun, B. Gworek // Ecotoxicology. – 2015. – Vol. 24. – Iss. 4. – P. 805–822. doi: 10.1007/s10646-015-1426-8



А. В. САМАРСКАЯ<sup>1\*</sup>, Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Химия и инженерная экология», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (097) 091 74 51, эл. почта samarskaya.av@gmail.com, ORCID 0000-0002-0828-9457

<sup>2</sup>Каф. «Химия и инженерная экология», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (067) 774 04 64, эл. почта j.v.zelenko@gmail.com, ORCID 0000-0001-5551-0305

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ГРУНТАХ

**Цель.** Научная статья своей целью имеет анализ современного состояния загрязнения грунтов железнодорожной инфраструктуры тяжелыми металлами (ТМ), а именно трех станций Приднепровской железной дороги: Каменское–Пассажи́рское, Запоро́жье–Каменское и Тритузная. **Методика.** Объект исследования – грунты вышеупомянутых железнодорожных станций, предмет – валовое содержание ТМ. Отбор проб осуществлялся каждые 15 м между рельсами и за ними с обеих сторон. Общая площадь исследуемых территорий – 600 м<sup>2</sup>. Методом атомно-абсорбционной спектрометрии определены валовые концентрации Fe, Pb, Zn, Cu, Ni, Cd и Mn. Полученные данные сравнивались с фоновыми концентрациями ТМ для Днепропетровской области и результатами анализа контрольных участков, находящихся на расстоянии 250 м от железнодорожных станций. **Результаты.** Установлено, что железнодорожный транспорт является источником поступления ТМ в грунты. Полученные результаты указывают на то, что состояние грунтов станции Каменское–Пассажи́рское соответствует низкому экологическому риску и слабой степени загрязнения, поскольку станция является только пассажирской, и загрязнение происходит за счет трения колес и рельсов, пантографа о контактную сеть, а также использования пестицидов. Загрязнение грунтов станции Запоро́жье–Каменское отличается значительным потенциальным экологическим риском и очень сильной степенью загрязнения. Эта станция является грузопассажирской, и такой уровень загрязнения является в большей степени следствием процессов загрузки и разгрузки. Грунты станции Тритузная характеризуются средним потенциальным экологическим риском и умеренной степенью загрязнения. На этой станции происходит переформирование товарных поездов, но за счет перевозки значительных объемов сыпучих рудных грузов в грунты станции попадают ТМ. Кроме того, станция неэлектрифицирована. Даны рекомендации по оценке уровней загрязнения почв. **Научная новизна.** Впервые на основе проведенного физико-химического анализа содержания ТМ в грунтах вышеупомянутых станций определены потенциальные экологические риски загрязнения грунтов. **Практическая значимость.** Результаты исследования могут быть использованы в качестве обоснования целесообразности внедрения программ экологического мониторинга для земель железнодорожного транспорта, природоохранных мероприятий по очистке грунтов от ТМ, корректировки зоны отчуждения железных дорог и защиты прилегающих территорий от распространения и аккумуляции этих поллютантов. На основе полученных данных доказана необходимость постоянного контроля содержания ТМ в грунтах железнодорожной инфраструктуры и актуальность продолжения исследований в данном научном направлении.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы; железнодорожный транспорт; грунты; железнодорожные станции; потенциальный экологический риск

А. V. SAMARSKA<sup>1\*</sup>, Y. V. ZELENKO<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Chemistry and engineering ecology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (097) 091 74 51, e-mail samarskaya.av@gmail.com, ORCID 0000-0002-0828-9457

<sup>2</sup>Dep. «Chemistry and engineering ecology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 774 04 64, e-mail j.v.zelenko@gmail.com, ORCID 0000-0001-5551-0305

## ASSESSMENT OF THE RAILWAY INFLUENCE ON THE HEAVY METAL ACCUMULATION IN SOIL

**Purpose.** The scientific paper aims at analyzing the current state of the railway infrastructure soil contamination with heavy metals (HM), namely, the three stations of Prydniprovsk railway: Kamianske-Pasazhyske, Zaporizhzhia-Kamianske and Trytuzna. **Methodology.** The research object is the soil of the above mentioned railway stations, the research subject is the total content of HM. Sampling was carried out every 15 m between and outside both rails up to the end of railway ties. The total area of the investigated sites is 600 m<sup>2</sup>. The total form of Fe, Pb, Zn, Cu, Ni, Cd and Mn concentration was determined by the atomic absorption spectrometry method. The obtained data were compared with the background concentration of HM for Dnipropetrovsk oblast and the results of analyzing the reference control located at a distance of 250 m from the railway stations. **Findings.** It is found out that rail transport is a source of HM emission into soil. The findings indicate that the soil state of the Kamianske-Pasazhyske station corresponds to a low ecological risk and a low degree of pollution, since the station is a passenger one only and pollution occurs mostly due to the friction of wheels and rails and that of the pantograph and overhead system, as well as the pesticide use. The soil contamination of the Zaporizhzhia-Kamianske station is characterized by a considerable potential environmental risk and a very high degree of pollution. This station is a cargo-passenger one, and this pollution level is mainly due to loading and unloading processes. The soil of the Trytuzna station is characterized by an average potential ecological risk and a moderate degree of pollution. Although this station is mainly used for the freight trains reformation, but due to the transportation of large volumes of bulk ore cargoes HM fall into soil. Besides, the station is not electrified. Recommendations for assessment of the soil pollution levels are given. **Originality.** For the first time the potential ecological risk of soil contamination was determined on the basis of the physical and chemical analysis of the HM content in the soil of the above-mentioned stations. **Practical value.** The results of the study can be used as a justification of the reasonability of introducing the environmental monitoring programs for the railway land, the environmental protection measures for the soil treatment from HM, correcting the railway exclusion zone, as well as protection of adjacent territories from the propagation and accumulation of the mentioned pollutants. The necessity and urgency of the constant control of the HM content in the railway soil and the relevance of the research continuation in this scientific direction are confirmed on the basis of the received data.

**Keywords:** heavy metals; railway transport; soil, railway stations, potential environmental risk

### REFERENCES

1. Bobryk, N. Y. (2015). Spreading and accumulation of heavy metals in soils of railway-side areas. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*, 23, 2, 183-189. doi: 10.15421/011526 (in Ukrainian)
2. Dabakhov, M. V., Dabakhova, E. V., & Titova, V. I. (2005). *Tyazhelye metally: Ekotoksikologiya i problemy normirovaniya: Monografiya*. Novgorod: VVAGS. (in Russian)
3. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*. Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua> (in Ukrainian)
4. Zhuravleva, M. A., Zubrev, N. I., & Kokin, S. M. (2014). Contamination of roadside areas with heavy metals. *Worlds of Transport and Transportation*, 6, 174-181. (in Russian)
5. Zelenko, Y. V., & Samarska, A. V. (2014). Problema zabrudnennia vazhkymy metalamy smuhy vidvodu zaliznyts. *Zaliznychnyi transport Ukrainy*, 5(108), 51-53. (in Ukrainian)
6. Kazantseva, M. Y., & Zibareva, D. A. (2014). Rail transport as a source of environmental pollution. *Samara journal of science*, 4(9), 54-56. (in Russian)
7. Kazantsev, I. V. (2015). Rail transport as a source of soil contamination with heavy metals. *Samara journal of science, journal of science*, 2(11), 94-96. (in Russian)
8. Kroshechkina, I. Y., & Zubrev, N. I. (2014). Kompleksnaya otsenka zagryazneniya ballastnogo sloya zheleznodorozhnogo polotna. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus*, 1(17), 100-102. (in Russian)
9. Hu, Y., Liu, X., Bai, J., Shih, K., Zeng, E. Y., & Cheng, H. (2013). 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*, 20, 9, 6150-6159. doi: 10.1007/s11356-013-1668-z (in English)
10. Mętrak, M., Chmielewska, M., Sudnik-Wójcikowska, B., Wiłkomirski, B., Staszewski, T., & Suska-Malawska, M. (2015). Does the Function of Railway Infrastructure Determine Qualitative and Quantitative Composition of Contaminants (PAHs, Heavy Metals) in Soil and Plant Biomass? *Water, Air, & Soil Pollution*, 226, 8, 1-12. doi: 10.1007/s11270-015-2516-1 (in English)

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

11. Dzierżanowski, K., & Gawroński, S. W. (2013). Heavy metal concentration in plants growing on the vicinity of railroad tracks: a pilot study. *Challenges of Modern Technology*, 3, 1, 42-45. (in English)
12. Wiłkomirski, B., Galera, H., Sudnik-Wójcikowska, B., Staszewski, T., & Malawska, M. (2012). Railway Tracks – Habitat Conditions, Contamination, Floristic Settlement – A Review. *Environment and Natural Resources Research*, 2, 1, 86-95. doi:10.5539/enrr.v2n1p86 (in English)
13. Wiłkomirski, B., Sudnik-Wójcikowska, B., Galera, H., Wierzbicka, M., & Malawska, M. (2011). Railway transportation as a serious source of organic and inorganic pollution. *Water Air Soil Pollution*, 218, 1-4, 333-345. doi: 10.1007/s11270-010-0645-0 (in English)
14. Staszewski, T., Malawska, M., Studnik-Wójcikowska, B., Galera, H., & Wiłkomirski, B. (2015). Soil and plants contamination with selected heavy metals in the area of a railway junction. *Archives of Environmental Protection*, 41(1), 35-42. doi: <https://doi.org/10.1515/aep-2015-0005> (in English)
15. Jiao, X., Teng, Y., Zhan, Y., Wu, J., & Lin, X. (2015). Soil Heavy Metal Pollution and Risk Assessment in Shenyang Industrial District, Northeast China. *Plos One*, 10(5). doi:10.1371/journal.pone.0127736 (in English)
16. Soliman, N. F., Nasr, S. M., & Okbah, M. A. (2015). Potential ecological risk of heavy metals in sediments from the Mediterranean coast, Egypt. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13, 1. doi:10.1186/s40201-015-0223-x(in English)
17. Chen, Z., Wang, K., Ai, Y. W., Li, W., Gao, H., & Fang, C. (2013) The effects of railway transportation on the enrichment of heavy metals in the artificial soil on railway cut slopes. *Environ Monit Assess*, 186 (2), 1039-1049. doi: 10.1007/s10661-013-3437-3 (in English)
18. Zhang, H, Wang, Z., Zhang, Y., & Hu, Z. (2012). The effects of the Qinghai – Tibet railway on heavy metals enrichment in soils. *Science of the Total Environment*, 439, 240-248. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.027> (in English)
19. Wiłkomirski, B., Suska-Malawska, M., Sudnik-Wójcikowska, B., & Staszewski T. (2013). The selected trace elements in soil of railway stations in north-eastern Poland. *Rocznik Świętokrzyski*, 34, B, 171-180. (in English)
20. Wierzbicka, M., Bemowska-Kalabun, O., & Gworek, B. (2015). Multidimensional evaluation of soil pollution from railway tracks. *Ecotoxicology*, 24(4), 805-822. doi: 10.1007/s10646-015-1426-8 (in English)

Надійшла до редколегії: 26.04.2018

Прийнята до друку: 27.07.2018