

ВПЛИВ ТРАНСПОРТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ЕЛЕМЕНТНИЙ СКЛАД ҐРУНТУ У ПРИМІСЬКІЙ ЗОНІ М. ЛЬВОВА

Поліщук О.І., Антоняк Г.Л.

Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Сакаганського, 1, 79005, м. Львів
oleksandr.polishchuk@lnu.edu.ua; halyna.antonnyak@lnu.edu.ua

Мета дослідження – з'ясування рівня транспортного навантаження та елементного складу ґрунту на приміській території м. Львова, прилеглої до європейського маршруту E40, та аналіз накопичення потенційно токсичних елементів (As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn, Zr) у ґрунті залежно від відстані до автотраси. Дослідження проведено на території с. Сокильники Львівського району, де вибрано три ділянки (Д1, Д2 і Д3) на відстані відповідно 100, 50 і 10 м від автотраси E40. Елементний склад ґрунту досліджено методом рентгенофлуоресцентного аналізу за допомогою аналізатора Expert 3L (Україна). Обчислено коефіцієнти забруднення ґрунту окремими елементами і показник поліелементного забруднення; під час оцінки екологічного стану ґрунту враховано значення гранично допустимих концентрацій (ГДК) металів та орієнтовно допустимої концентрації (ОДК) арсену. Результати опрацьовано методами варіаційної статистики. Згідно з результатами досліджень аналізований відрізок автошляху E40 зазнає значного транспортного навантаження (978±91 транспортних засобів за 1 годину), а рівень акумуляції металів у ґрунті залежить від відстані до автотраси. У ґрунті з ділянки Д3 вміст більшості досліджуваних металів досягає вірогідно вищих значень порівняно з ділянкою Д1, водночас найбільші відмінності виявлені за концентрацією Cu, Zn і Sr. Встановлено, що ступінь поліелементного забруднення ґрунту на ділянці Д1 слабкий до помірного, на ділянці Д2 – помірний, а на ділянці Д3 – помірний до сильного. У зразках ґрунту з ділянки Д3 концентрація Cr, Cu, Pb, і Zn перевищувала значення ГДК відповідно у 1,2, 1,9, 4,1 і 2,1 рази, а вміст As – значення ОДК у 1,7 разів. На ділянках Д1 і Д2 концентрація Pb у ґрунті була більшою від значення ГДК відповідно в 1,4 і 1,9 рази. У зразках ґрунту із ділянки Д2 концентрація Cu і Zn досягала значень ГДК, а вміст As перевищував значення ОДК у 1,2 рази. Отримані результати свідчать, що поряд із високим рівнем акумуляції металів у придорожній смузі ґрунту шириною 10 м концентрація низки потенційно токсичних елементів перевищує її безпечний рівень на ділянках, розміщених на відстані 50 і 100 м від автотраси E40, що створює ризик перевищення допустимого вмісту металів у рослинній продукції, вирощеній на прилеглої до автотраси приміській території. *Ключові слова:* метали, ґрунт, екологічна оцінка, автотранспорт.

Influence of transport load on the elemental composition of soil in the suburban area of the city of Lviv. Polishchuk A., Antonyak H.

The aim of the study was to assess the transport load and the elemental composition of the soil in suburban area of the city of Lviv adjacent to the European route E40, and to analyze the accumulation of potentially toxic elements (As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn, Zr) in the soil depending on the distance from the highway. The study was conducted on the territory of the village of Sokilnyky, where three experimental sites (S1, S2 and S3) were selected at a distance of 100, 50 and 10 m from the E40 highway, respectively. Elemental composition of the soil was investigated by X-ray fluorescence analysis using an Expert 3L analyzer (Ukraine). The coefficients of soil contamination with individual elements and the index of multi-element pollution were calculated. When assessing the ecological state of the soil, the maximum allowable concentrations (MAC) of metals and the approximate permissible concentration (APC) of arsenic were taken into account. The results were processed by methods of variation statistics. According to the results obtained, the analyzed section of the route E40 is subject to a significant traffic load (978±91 vehicles per hour), and the levels of metal accumulation in the soil depend on the distance to the highway. In the soil from site S3, the content of most of the studied metals reached significantly higher values compared to site S1, with the greatest differences found in the concentrations of Cu, Zn, and Sr. The degree of multi-element soil contamination at site S1 was weak to moderate, the S2 site was characterized by a moderate level of contamination, and at site S3, the pollution level was moderate to high. In soil samples from site S3, the concentration of Cr, Cu, Pb, and Zn exceeded the MAC values by 1.2, 1.9, 4.1 and 2.1 times, respectively, and the As content exceeded the APC value by 1.7 times. At sites S1 and S2, the concentration of Pb in the soil was 1.4 and 1.9 times higher than the MAC value, respectively. In soil samples from site S2, the concentrations of Cu and Zn reached the MAC values, while the content of As exceeded the APC value by 1.2 times. Consequently, along with a high level of metal accumulation in the 10 m wide roadside soil strip, the content of several potentially toxic elements exceeds the safe level in soil areas located at a distance of 50 and 100 m from the highway E40. This creates a risk of exceeding the permissible content of metals in plant products grown in suburban area adjacent to highway. *Key words:* metals, soil, environmental assessment, motor transport

Постановка проблеми. Автомобільний транспорт – одне із головних антропогенних джерел забруднення навколишнього середовища у містах і приміських районах [1–4]. На території України на автотранспорт припадає у середньому 34 % від загального об'єму викидів забруднювальних речовин в атмосферу, однак у багатьох містах рівень надходження у повітря шкідливих речовин від тран-

спортних засобів більший, ніж викиди зі стаціонарних джерел [5–7]. Значна частина поллютантів накопичується у педосфері.

Актуальність дослідження. До найпоширеніших груп забруднювачів, пов'язаних із діяльністю автотранспорту, належать метали і металоїди. Потрапляючи в атмосферу з вихлопними газами автомобілів, сажею та пилом, ці поллютанти у складі

аерозолів переміщуються з потоками повітря на поверхню ґрунту, рослинний покрив і водні об'єкти насамперед на територіях, прилеглих до автомобільних доріг [7–10]. З огляду на це актуальними є дослідження екологічного стану ґрунту на приміських ділянках, розташованих поблизу автотрас із інтенсивним транспортним навантаженням.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Виконане наукове дослідження є фрагментом науково-дослідної роботи кафедри екології Львівського національного університету імені Івана Франка «Екологічний моніторинг абіотичних і біотичних компонентів середовища в умовах антропогенно-техногенного впливу на довкілля» (№ державної реєстрації 0119U002396).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Збільшення кількості приватних автомобілів та інтенсивності вантажних і пасажирських автоперевезень, яке спостерігають упродовж останнього десятиріччя, зумовлює зростання рівня забруднення компонентів довкілля в урбанізованих районах України і світу [3; 6; 7; 10]. Забруднення металами призводить до погіршення екологічного стану педосфери, спричинює зміни видового складу ґрунтової біоти і наземних фітоценозів. Техногенне забруднення ґрунту призводить до його деградації, зменшення родючості і біологічної активності, пригнічення процесів нітрифікації, зниження рівня гумусу та вологи [11]. За умов вирощування рослин на забруднених ґрунтах метали можуть накопичуватися в аграрній продукції, що становить загрозу здоров'ю людей [12–14].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У низці наукових праць встановлено високий рівень техногенного забруднення ґрунтів та інших компонентів довкілля на території промислових міст [1; 3; 4; 7; 15; 16]. Значно менш дослідженим є екологічний стан педосфери на приміських територіях, прилеглих до автомобільних доріг, однак наявні відомості про забруднення металами сільськогосподарської продукції, яку вирощують у приміських населених пунктах [17–19].

У попередніх дослідженнях встановлено значний рівень акумуляції металів у дикорослих рослинах, зібраних поблизу автомобільних шляхів у м. Львові та на приміській території, прилеглий до європейського маршруту E40 [20]. Метою цієї роботи є оцінка рівня транспортного навантаження і вивчення елементного складу ґрунту приміських ділянок, розташованих у зоні впливу автомобільного руху на автотрасі E40.

Новизна. Під час дослідження вперше з'ясовано елементний склад ґрунту на приміській території м. Львова, прилеглий до європейського маршруту E40, проаналізовано та доведено особливості накопичення потенційно токсичних елементів (As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn, Zr) у ґрунті залежно від відстані до автотраси.

Методологічне та загальнонаукове значення. Результати досліджень акумуляції металів і металоїдів у ґрунті мають важливе значення під час комплексної екологічної оцінки стану компонентів довкілля у зоні впливу транспортного руху як джерела забруднення педосфери. Особливості забруднення ґрунту металічними елементами на різній відстані від автотрас із високим рівнем транспортного навантаження потрібно враховувати під час вирощування аграрної продукції на приміських територіях.

Викладення основного матеріалу. Дослідження здійснювали на території с. Сокільники Львівського району, яке межує із південно-західною частиною м. Львова. У фізико-географічному аспекті територія розташована в межах Опільського горбогір'я (Львівське плато) Західного лісостепу. На території дослідження переважають ясно-сірі та сірі опідзолені ґрунти.

Із метою аналізу елементного складу ґрунту ми вибрали три ділянки відбору зразків (Д1, Д2 і Д3), розміщені відповідно на відстані 100, 50 і 10 м від Європейського маршруту E40 (кільцева дорога м. Львова). Проби ґрунту на зазначених ділянках відбирали методом конверта 1×1 м, глибина відбору зразків становила 0–20 см. Відбір ґрунту і підготовку зразків до аналізу здійснювали, використовуючи загальноприйняті методи [21]. Елементний склад ґрунту досліджували методом рентгенофлуоресцентного аналізу [22] за допомогою аналізатора Expert 3L (Україна). У зразках аналізували концентрацію арсену (As), хрому (Cr), купруму (Cu), феруму (Fe), мангану (Mn), ніобію (Nb), нікелю (Ni), плюмбуму (Pb), рубідію (Rb), стануму (Sn), стронцію (Sr), титану (Ti), ванадію (V), ітрію (Y), цинку (Zn) і цирконію (Zr).

Коефіцієнти забруднення ґрунту потенційно токсичними елементами на ділянках, прилеглих до автотраси E40, обчислювали за формулою: $K_s = C_a / C_\phi$, де C_a – концентрація окремого елемента у досліджуваних зразках ґрунту (мг/кг), C_ϕ – фонові концентрації цього елемента у незабруднених ґрунтах (мг/кг) [12]. В якості фонових концентрацій As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn і Zr використовували еталонні значення, наведені у праці [23]. Рівень забруднення ґрунту кожним із цих елементів оцінювали за значеннями K_s , а саме: $K_s < 1$ – низький рівень забруднення; $1 \leq K_s < 3$ – помірний рівень забруднення; $3 \leq K_s < 6$ – високий рівень забруднення; $K_s \geq 6$ – дуже високий рівень забруднення [24].

Показник забруднення (ПЗ), що характеризує загальний рівень акумуляції у ґрунті досліджуваних елементів (n), розраховували за формулою: $ПЗ = (K_{s1} \times K_{s2} \times \dots \times K_{sn})^{1/n}$, де K_{s1} , K_{s2} і т.д. – коефіцієнти забруднення, обчислені за кожним із елементів, n – загальна кількість аналізованих елементів [12]. Ступінь поліелементного забруднення ґрунту на ділянках Д1–Д3 визначали за категоріями: відсутність забруднення (ПЗ = 0); слабе до помірного забруднення ($0 < ПЗ \leq 1$); помірне забруднення

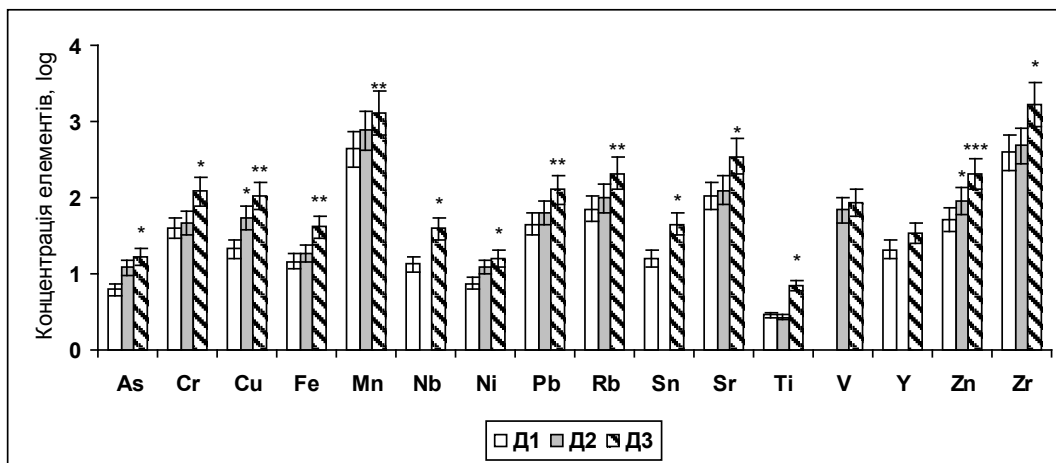


Рис. 1. Концентрація аналізованих елементів у зразках ґрунту із ділянок Д1–Д3, вибраних на різній відстані від автотраси Е40

Примітки: 1) для зручності результати виражені у логарифмах значень, обчислених для Fe і Ti у г/кг сухої маси зразків, а для інших елементів – у мг/кг сухої маси; 2) *, **, *** – вірогідні різниці між умістом елементів на ділянках Д2 і Д3 порівняно із ділянкою Д1 (* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

($1 < ПЗ \leq 2$); помірне до сильного забруднення ($2 < ПЗ \leq 3$); сильне забруднення ($3 < ПЗ$) [25].

Окрім того, під час оцінки рівня забруднення ґрунту враховували значення гранично допустимих концентрацій (ГДК) валових форм Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V і Zn та орієнтовно допустиму концентрацію (ОДК) валової форми As [26§ 27].

Інтенсивність автотранспортного навантаження на відрізку автотраси, суміжному з аналізованими ділянками ґрунту, досліджували методом підрахунку транспортних засобів різного типу за методикою [28].

Результати опрацьовували методами варіаційної статистики [29].

Згідно з отриманими результатами, відрізок автотраси Е40, який пролягає на приміській території м. Львова, характеризується високим рівнем транспортного навантаження. Показник інтенсивності транспортного руху тут становить 978 ± 91 транспортних засобів за 1 годину і загалом співпадає з таким на інших автошляхах у межах м. Львова

[3, 20]. Інтенсивне транспортне навантаження спричинює забруднення суміжних із автотрасою ґрунтів металічними елементами, на що вказують результати аналізу елементного складу ґрунту на ділянках Д1–Д3, прилеглих до автотраси Е40 (рис. 1).

За середніми значеннями концентрації у ґрунті із трьох ділянок проаналізовані у цій роботі елементи можна розмістити в такому порядку: $Fe > Ti > Mn > Zr > Sr > Zn > Rb > Pb > V > Cr > Cu > Sn > Y > Nb > Ni > As$. Однак ґрунт із ділянки Д3, розташований на відстані 10 м від автотраси, характеризується більшим вмістом металів порівняно з іншими ділянками. Насамперед це стосується купруму, цинку і стронцію, концентрація яких у ґрунті з ділянки Д3 перевищує показники, характерні для ґрунту з ділянки Д1 (100 м від автотраси), відповідно у 4,85 ($p < 0,01$), 3,86 ($p < 0,001$) і 3,32 разів ($p < 0,05$). Концентрація таких елементів, як As, Cr, Fe, Mn, Nb, Pb, Rb, Sn, Ti і Zr у ґрунті з ділянки Д3 є більшою, ніж із ділянки Д1, у 1,8–3,0 рази ($p < 0,05–0,01$). Під час аналізу кон-

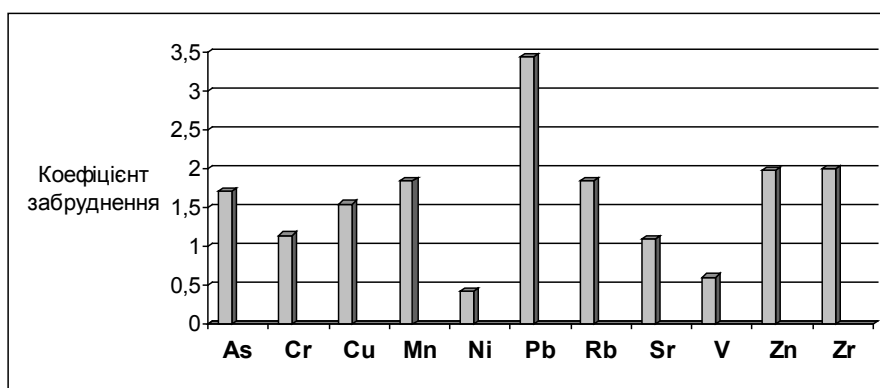


Рис. 2. Середні значення коефіцієнтів забруднення (K_z) ґрунту потенційно токсичними елементами на ділянках, прилеглих до автотраси Е40

Таблиця 1

Показник і ступінь поліелементного забруднення ґрунту на ділянках, розташованих на різній відстані від автотраси Е40

Аналізований показник	Д1 (100 м від автотраси)	Д2 (50 м від автотраси)	Д3 (10 м від автотраси)	Середнє значення
Показник забруднення ґрунту	0,789	1,127	2,079	1,390
Ступінь забруднення ґрунту	забруднення слабке до помірного ($0 < ПЗ \leq 1$)	помірне забруднення ($1 < ПЗ \leq 2$)	забруднення помірне до сильного ($2 < ПЗ \leq 3$)	помірне забруднення ($1 < ПЗ \leq 2$)

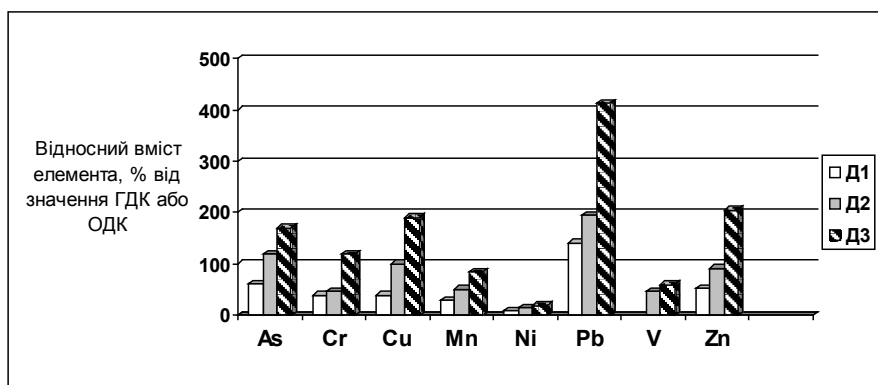


Рис. 3. Вміст металів у ґрунті у відсотках від значень гранично допустимих концентрацій (ГДК), та арсену – у відсотках від значення орієнтовно допустимої концентрації (ОДК) (показники ГДК і ОДК приймали за 100 %)

центрації елементів у ґрунті з ділянки Д2 виявлено, що вміст більшості металів у зразках із цієї ділянки виявляє динаміку до підвищення порівняно з ділянкою Д1, а вірогідні різниці виявлені щодо концентрації Cu і Zn (відповідно у 2,6 і 1,7 разів, $p < 0,05$).

Із метою аналізу інтенсивності концентрування As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn і Zr у ґрунті на ділянках Д1–Д3 проведено обчислення коефіцієнтів забруднення (K_z). Середні значення K_z для цих елементів представлені на рис. 2. Із урахуванням показників K_z оцінювали рівень забруднення ґрунту кожним із указаних елементів за відповідними категоріями [24]. Згідно з отриманими результатами значний рівень забруднення ґрунту на території, прилеглої до автотраси Е40, характерний для Pb ($K_z = 3,44$); помірний рівень забруднення ґрунту виявлено для As, Cr, Cu, Mn, Rb, Sr, Zn і Zr ($1 \leq K_z < 3$), а для Ni і V – низький рівень забруднення (значення K_z становлять відповідно 0,417 і 0,603).

Результати обчислення показника поліелементного забруднення (ПЗ) ґрунту на ділянках Д1–Д3 свідчать, що ступінь забруднення ґрунту на ділянці Д1 слабкий до помірного, на ділянці Д2 – помірний, а на ділянці Д3 – помірний до сильного (табл. 1). За середнім значенням показника ПЗ на ділянках Д1–Д3 ґрунт на території шириною 100 м, прилеглої до автотраси Е40, характеризується помірним ступенем забруднення.

Із метою детальнішої характеристики екологічного стану ґрунту і ризику накопичення у ньому потенційно токсичних елементів концентрацію Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V і Zn у досліджуваних зразках ми порівнювали зі значеннями ГДК валових форм цих елементів, а концентрацію As – зі значенням ОДК (рис. 3).

Згідно з отриманими результатами у зразках ґрунту із ділянки Д3 концентрація Cr, Cu, Pb, і Zn перевищувала значення ГДК відповідно у 1,2, 1,9, 4,1 і 2,1 рази, а вміст As – значення ОДК у 1,7 разів. На ділянках Д1 і Д2 концентрація більшості металів не перевищувала значень ГДК. Однак вміст Pb на цих ділянках був більшим від значень ГДК відповідно в 1,4 і 1,9 разів, а вміст As на ділянці Д2 перевищував значення ОДК в 1,2 разів. Водночас концентрація Cu і Zn у ґрунті ділянки Д2 була майже рівною зі значеннями ГДК цих елементів. Такі результати зумовлені атмосферним розповсюдженням As, Cu, Pb і Zn на більшу відстань від автотраси порівняно з іншими аналізованими елементами. Відомо, що ці елементи входять до складу дрібнодисперсних аерозольних частинок, здатних мігрувати з повітряними потоками на значну відстань від джерела емісії [30; 31]. Водночас результати дослідження вказують на ризик забруднення металами і металоїдами рослинних продуктів за умови їх вирощування на приміських територіях, прилеглих до автотрас.

Головні висновки. Отримані результати свідчать, що інтенсивний транспортний рух на відрізку європейського шляху Е40, який проходить приміською територією м. Львова, є істотним джерелом забруднення ґрунту металами та металоїдом арсеном. Найбільший рівень акумуляції поллютантів у ґрунті виявлено на ділянці, розташованій на відстані 10 м від автотраси. На ділянках, вибраних на відстані 50 і 100 м від автошляху Е40, виявлено перевищення допустимих рівнів забруднення ґрунту арсеном і плумбумом; водночас вміст Cu і Zn у ґрунті на

відстані 50 м від автотраси досягає значень показників ГДК. Такі результати свідчать про ризик для організму людини за умови вирощування рослинної продукції на приміських територіях, розташованих на відстані 50 і 100 м від автотрас.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть служити основою для екологічної оцінки стану ґрунтів приміських територій і з'ясування рівня накопичення металів у рослинних продуктах, вирощених на суміжних з автомобільними шляхами територіях.

Література

- Liu E., Yan T., Birch G., Zhu Y. Pollution and health risk of potentially toxic metals in urban road dust in Nanjing, a mega-city of China. *Sci. Total Environ.* 2014. Vol. 476–477. P. 522–531.
- Chen R.H., Wang B.Q., Wang Z.B., Yao S. The pollution character analysis and risk assessment for metals in dust and PM10 around road from China. *Biomed. Environ. Sci.* 2015. Vol. 28 (1). P. 44–56.
- Polishchuk A., Lesiv M., Antonyak H. Road transport in Ukraine: the impact of heavy traffic loads on the environment. *Acta Carpathica.* 2019. Vol. 31–32. P. 16–24.
- Adimalla N. Heavy metals pollution assessment and its associated human health risk evaluation of urban soils from Indian cities: a review. *Environ Geochem. Health.* 2020. Vol. 42 (1). P. 173–190.
- Васькін Р.А., Васькіна І.В. Аналіз динаміки забруднення атмосферного повітря України викидами автотранспорту. *Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського.* 2009. Вип. 5 (58), Ч. 1. С. 109–112.
- Першаков В.М., Белятинський А.О., Степанчук О.В., Кротов Р.В. Дослідження транспортних потоків в аспектах заторових станів дорожнього руху : монографія. Київ : НАУ, 2015. 177 с.
- Antonyak H., Mamchur Z., Polishchuk A., Lesiv M., Hoivanovych N. Environmental impact of road transport. *Sustainable Development and Human Health / A. Krynski, G.K. Tebug, S. Voloshanska. Czestochowa: Publishing House of Polonia University "Educator", 2020. P. 61–74.*
- Awofolu O.R. Impact of automobile exhaust on levels of lead in a commercial food from bus terminals. *J. Appl. Sci. Environ. Manag.* 2004. Vol. 8. P. 23–27.
- Adamiec E., Jarosz-Krzemińska E., Wieszała R. Heavy metals from non-exhaust vehicle emissions in urban and motorway road dusts. *Environ. Monit. Assess.* 2016. Vol. 188. P. 369.
- Yaylali-Abanuz G. Application of multivariate statistics in the source identification of heavy-metal pollution in roadside soils of Bursa, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences.* 2019. Vol. 12. P. 382.
- Mishra R.K., Mohammad N., Roychoudhury N. Soil pollution: Causes, effects and control. *Van Sangyan.* 2016. No 3 (1). P. 1–14.
- Antoniadis V., Shaheen S.M., Boersch J., Frohne T., Du Laing G., Rinklebe J. Bioavailability and risk assessment of potentially toxic elements in garden edible vegetables and soils around a highly contaminated former mining area in Germany. *J. Environ. Manag.* 2017. Vol. 186 (2). P. 192–200.
- Onakpa M.M., Njan A.A., Kalu O.C. A review of heavy metal contamination of food crops in Nigeria. *Ann. Glob. Health.* 2018. Vol. 84 (3). P. 488–494.
- Zhao X., Li Z., Wang D., Li J., Zou B., Tao Y., Lei L., Qiao F., Huang J. Assessment of residents' total environmental exposure to heavy metals in China. *Sci. Rep.* 2019. Vol. 9 (1). 16386. DOI: 10.1038/s41598-019-52649-w
- Wei B., Yang L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchem. J.* 2010. Vol. 94. P. 99–107.
- Hong N., Guan Y., Yang B., Zhong J., Zhu P., Ok Y.S., Hou D., Tsang D.C.W., Guan Y., Liu A. Quantitative source tracking of heavy metals contained in urban road deposited sediments. *J. Hazard Mater.* 2020. Vol. 393. 122362. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.122362.
- Hu X., Ding Z. Lead/cadmium contamination and lead isotopic ratios in vegetables grown in peri-urban and mining/smelting contaminated sites in Nanjing, China. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2009. Vol. 82 (1). P. 80–84.
- Li F.L., Liu C.Q., Yang Y.G., Bi X.Y., Liu T.Z., Zhao, Z.Q. Natural and anthropogenic lead in soils and vegetables around Guiyang city, southwest China: Pb isotopic approach. *Sci. Total Environ.* 2012. Vol. 431. P. 339–347.
- Bing H., Xiang Z., Zhu H., Wu Y. Spatiotemporal variation and exposure risk to human health of potential toxic elements in suburban vegetable soils of a megacity, SW China, 2012–2016. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2018. Vol. 25 (5). P. 4223–4237.
- Поліщук О., Лесів М., Антоняк Г. Вплив транспортного навантаження на акумуляцію металів у рослинах на території міста Львова. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна.* 2020. Вип. 82. С. 101–109.
- ДСТУ ISO 10381-1:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Ч. 1. Настанови щодо складання програм відбирання проб (ISO 10381-1:2002, IDT).
- Weindorf D.C., Bakr N., Zhu Y. Advances in portable X-ray fluorescence (pXRF) for environmental, pedological, and agronomic applications. *Advances in Agronomy.* 2014. Vol. 128. P. 1–45.
- Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants, 4th edition. CRC Press, Boca Raton. 2011.
- Islam M.S., Ahmed M.K., Al-Mamun M.H. Metal speciation in soil and health risk due to vegetables consumption in Bangladesh. *Environ. Monit. Assess.* 2015. Vol. 187. P. 288–303.

25. Mirzaei M., Marofi S., Solgi E., Abbasi M., Karimi R., Riyahi Bakhtyari H.R. Ecological and health risks of soil and grape heavy metals in long-term fertilized vineyards (Chaharmahal and Bakhtiari province of Iran). *Environ. Geochem. Health*. 2020. Vol. 42 (1). P. 27–43.
26. Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / За ред. С.М. Рижуча, М.В. Лісового, Д.М. Бенцаровського. Київ, 2003. 64 с.
27. Наказ № 1595 МОЗ України «Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті» від 14.07.2020.
28. М 218-02070915-674:2010. Методика визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг. Київ, 2010. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=25990
29. Welham S.J., Gezan S.A., Clark S.J., Mead A. *Statistical Methods in Biology. Design and Analysis of Experiments and Regression*. Taylor & Francis Group, LLC, 2015. 568 p.
30. Sanchez-Rodas D., Sanchez de la Campa A., Oliveira V., de la Rosa J. Health implications of the distribution of arsenic species in airborne particulate matter. *J. Inorg. Biochem.* 2012. Vol. 108. P. 112–114.
31. Liu Y., Li S., Sun C., Qi M., Yu X., Zhao W., Li X. Pollution level and health risk assessment of PM2.5-bound metals in Baoding city before and after the heating period. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2018. Vol. 15 (10). 2286. DOI: 10.3390/ijerph15102286.