

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОХІМІЧНОЇ СТРУКТУРИ ЛАНДШАФТІВ М. КАМ'ЯНСЬКЕ

Гулько С.О.

Дніпровський державний технічний університет
вул. Дніпробудівська, 2, 51918, м. Кам'янське
goonko@gmail.com

У статті представлено результати дослідження геохімічної структури ландшафтів м. Кам'янське (Дніпропетровської обл.), а саме: латеральний та радіальний розподіл кадмію в едафотопях міста. Відомо, що зовнішні фактори міграції визначають умови, концентрації та розсіювання хімічних елементів, в результаті формуються просторові закономірності розподілу Cd, що виражаються в утворенні геохімічної структури ландшафтів у латеральному та радіальному напрямках. З отриманих у роботі даних прослідковується тенденція до збільшення вмісту валової форми кадмію з півдня на північ при наближенні до промислової зони, що розташована в північній правобережній частині міста. Найвищі концентрації вмісту кадмію відмічені для екологічного профілю едафотопів № 2 (т. 1–6), зокрема для корененасиченого ґрунтового горизонту (до 50 см), що свідчить, вірогідно, про техногенне надходження кадмію в едафотопи урбанізованих територій. За інтервалом варіювання вмісту мікроелементу екологічного профілю едафотопів № 2 максимальні значення концентрації важкого металу зафіксовано у корененасиченому шарі ґрунту (0–10 см). Вміст валової форми елементу в ґрунті коливається в межах $2,57 \pm 0,25$ – $2,69 \pm 0,27$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту (мінімальні значення – т. 1 і 2) та $6,74 \pm 0,52$ – $7,59 \pm 0,62$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту (максимальні значення – т. 6 і 5) валової форми, перевищення ГДК в 2,39 рази. Щодо рухомої форми Cd простежується аналогічна тенденція $0,08 \pm 0,007$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту (мінімальні значення – т. 2) та $0,98 \pm 0,0085$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту (максимальні значення – т. 5), незначне перевищення ГДК. Відмічено тенденцію підвищення концентрації валової і рухомої форм Cd зі зниженням рельєфу – висхідний (асцендіальний) латеральний розподіл. Аналіз радіального розподілу валової форми Cd (шар ґрунту 0–150 см) екологічного профілю едафотопів № 2 дозволив виділити наступні види геохімічної структури ландшафтів: 1) невиразний (т. 1 і 2) – плантоземи району житлової забудови поблизу залізничного та автовокзалів, які характеризуються незначною зміною вмісту валової форми кадмію; 2) гумусовий (т. 4, 5, 6) – власне урбаноземи, плантоземи, природні порушені ґрунти, що відмічаються максимальним рівнем вмісту валової форми Cd у ґрунтовому горизонті. Радіальний розподіл рухомої форми кадмію у плантоземах показав, що на досліджуваній пробній ділянці (т. 1) інтервал варіювання збільшується з глибиною ґрунтового профілю: в шарі ґрунту 0–10 см, вміст рухомої форми Cd складає $0,08 \pm 0,007$ мг/кг ґрунту, в шарі 120–150 см вже дорівнює $0,14 \pm 0,010$ мг/кг, що свідчить про лесивований вид структури ландшафту. Радіальний аналіз розподілу валової та рухомої форм Cd на пробних ділянках (точках) досліджених ґрунтів показав, що кадмій концентрується у верхній частині ґрунтового профілю та відносно рівномірно зменшує вміст вниз по ґрунтовому профілю міських ландшафтів. Латеральний розподіл кадмію демонструє наявність трьох видів структури ландшафтів: асцендіальний, дисцендіальний та пікоподібний. *Ключові слова:* кадмій, едафотопи, геохімічна структура, латеральний та радіальний розподіл, екологічний профіль, альтитуда, урбанізована територія.

The Research of Geochemical Landscapes Structure of Kamianske City. Hunko S.

The article presents the results of geochemical landscapes structure research of in city of Kamianske (Dnipropetrovsk region). Specifically, it provides lateral and radial distribution of cadmium in the city's edaphotopes. As is known, external migration factors define conditions, concentrations and dispersal of chemical elements. As result, spatial regularities of cadmium distribution are forming, which are represented in the formation of geochemical structure of landscapes in lateral and radial directions. The data received from the current research allows to trace tendencies of increasing content of gross cadmium form from south to north at the approach to industrial areas, which are located in the north of right-bank part of the city. The highest concentration of cadmium content is noted in ecological profile of edaphotopes № 2 (spots from 1 to 6), in particular for a root-saturated soil horizon (up to 50 cm), which probably indicates the man-caused impact upon cadmium income to the edaphotopes of urbanized terrains. According to interval of variation of microelement content in ecological edaphotopes' profile № 2 maximum values of heavy metal concentrations are observed in root-saturated soil layer (0–10 sm). The content of gross form element in soil fluctuates within $2,57 \pm 0,25$ – $2,69 \pm 0,27$ mg/kg of absolutely dry soil (minimum values – spots 1 and 2) and $6,74 \pm 0,52$ – $7,59 \pm 0,62$ mg/kg of absolutely dry soil (minimum values – spots 6 and 5) of gross form, and there is an exceeding the MPC by 2,39 times. As for active forms of cadmium, similar trends are to be observed: $0,08 \pm 0,007$ mg/kg of absolutely dry soil (minimum values – spot 2) and $0,98 \pm 0,0085$ mg/kg of absolutely dry soil (minimum values – spot 5), and there is a minor exceeding the MPC. Also, the tendency of increasing active and gross form of cadmium content was determined in the areas with descending relief – ascendant lateral distribution. The analysis of distribution of radial gross cadmium form (soil layer from 0 to 150 sm) in ecological edaphotopes' profile № 2 allows to distinguish next types of geochemical structures: 1) indistinct (spots 1 and 2) – plantosols of housing construction districts near railway and bus stations, which are characterized by insignificant content of gross cadmium form; 2) humus (spots 4, 5 and 6) – properly urban soils, plantosols and anthropogenic-surface-transformed natural soils, which are marked by maximum level of gross cadmium form content in soil horizons. The radial distribution of active cadmium form in plantosols indicated, that an interval of variation is increasing with a depth of a soil profile on the studied test plots according to the next values: in a soil layer from 0 to 10 sm the content of active cadmium form is estimated as $0,08 \pm 0,007$ mg/kg of soil, in a layer from 120 to 150 sm it has already been estimated as $0,14 \pm 0,010$ mg/kg, indicating an influence of lessivage processes on a structure form of the landscape. The radial analysis of gross and active forms distribution of cadmium at the test plots (spots)

of studied soils showed, that cadmium concentrates in the high part of soil horizon and, relatively, decreases its content uniformly with lowering of genetical soil horizons of the city landscapes. The lateral distribution of cadmium demonstrates occurrence of three types of landscape structures: ascendant, descending and peak-shaped. *Key words*: cadmium, edaphotopes, geochemical structure, lateral and radial distribution, ecological profile, altitude, urbanized terrains.

Постановка проблеми. Екологічні дослідження урбанізованих територій та оцінка стану міського середовища є пріоритетними напрямками науки сьогодні. Їх актуальність обумовлена необхідністю виявлення факторів і причин формування екологічної ситуації в містах, виділення суттєвих проблем і вивчення просторової диференціації урбанізованих територій з метою створення комфортного середовища проживання міського населення.

Актуальність дослідження. Актуальність досліджень закономірностей розподілу кадмію в едафотопях урбанізованих територій важлива також у плані розширення інформаційної бази спостережень і обумовлена необхідністю сучасного фактичного аналізу екологічного стану промислового міста Кам'янське. Це може бути досягнуто за допомогою досліджень геохімічної структури ландшафтів, тобто латерального та радіального розподілу Cd в едафотопях урбанізованих територій міста.

Виклад основного матеріалу. Геохімічна структура ландшафтів базується на вченні про геохімічні бар'єри О. І. Перельмана [5; 6] та доповнена сучасними дослідженнями М. К. Чертко та інших вчених [1; 3; 7; 8; 14; 16; 20–22]. Зовнішні фактори міграції визначають їх умови, концентрації та розсіювання хімічних елементів [12; 13], в результаті чого формуються просторові закономірності розподілу, що виражаються в утворенні геохімічної структури ландшафтів у латеральному та радіальному напрямках [2; 10; 17–19]. Принцип виділення геохімічної структури заснований на аналізі особливості концентрації хімічного елементу в латеральній та радіальній структурі.

Коротко охарактеризуємо види латеральної та радіальної структур ландшафтів. Латеральна геохімічна структура в межах екологічного профілю (катени) представлена п'ятьма видами. Висхідна (асцендіальна) характеризується підвищенням концентрації елементів у напрямку супераквального ландшафту. Спадна (дисцендіальна) відмічається підвищенням кількості елементів в напрямку елювіального ландшафту. Радіальна геохімічна структура більш різноманітна і нараховує вісім видів. У невиразній структурі хімічні елементи розподіляються рівномірно або близько до рівномірного по всьому вертикальному профілю ґрунт-порода. За концентрацією елементів в гумусовому горизонті ґрунту виділяється гумусова структура. Якщо відбувається перерозподіл колоїдних часток з хімічними елементами за глибиною профілю ґрунтів і порід, а їх вміст поступово збільшується з глибиною, такий розподіл елементів характеризується лесивованою структурою.

Одним з найважливіших компонентів біогеоценозу (урбосистеми) є ґрунти, які здатні поглинати більшу частину забруднювачів з аеральних потоків. Відомо, що навколо джерел промислових аерозольних викидів в атмосферу утворюється локальна зона підвищених (порівняно з природним фоном) концентрацій забруднюючих речовин у ґрунті [15].

Визначення меж локальної зони забруднення досить умовне, оскільки воно залежить від можливості розділити фоновий вміст металів у ґрунті від кількості хімічного елементу, що потрапила у ґрунт з певного джерела. Відомо, що довжина зони локального забруднення ґрунтів металами досягає 10–20 км. При цьому найбільш високі рівні забруднення відзначаються у зоні 3–5 км від джерела. Найбільша довжина локальної зони забруднення збігається з напрямком переважаючого вітру [9]. Вона залежить також від висоти дисперсного складу викиду, швидкості вітру, кількості опадів і його розподілу за розгою вітрів та інших факторів [2; 4; 10; 11].

Для створення цілісної характеристики вмісту кадмію в едафотопях м. Кам'янське (рис. 1) застосовано системний підхід оцінювання екологічних проблем в урбосистемах з різним ступенем техногенного навантаження.



Рис. 1. Картосхема екологічних профілів м. Кам'янське (цифра – точка відбору проб (т.) – пробна ділянка)

Для оцінки розповсюдження кадмію в ґрунтах міста Кам'янське проведено ретельне ґрунтове обстеження, виділено 29 пробних ділянок (точки – т. – на картосхемі), закладених з півдня на північ, згідно рози вітрів і альтitudи. Пробні ділянки утворюють п'ять екологічних профілів едафотопів на території м. Кам'янське. Кожен із закладених профілів має значну амплітуду перепаду висот, проте, усі з п'яти наближаються до стаціонарних джерел антропогенного забруднення, якими виступають промислові підприємства та автомагістралі міста. Найбільш показовими з вмісту та розповсюдження Cd є екологічний профіль едафотопів № 2 (т. 1–6), який закладено уздовж центральної транспортної магістралі міста та наближені до металургійного підприємства ПАТ «Каметсталь» (колишній «Дніпровський меткомбінат»). Екологічний профіль едафотопів № 5 (т. 25–29), розташований у лівобережній селитебній частині міста зі значною віддаленістю від основних галузей підприємства. На кожній пробній ділянці закладався ґрунтовий розріз глибиною 150 см. Відбір

ґрунтових зразків проводився через 10 см за допомогою агрохімічного буру (на першому етапі було відібрано 435 проб). Для подальшого аналізу кількість проб була скорочена, за визначеною нами морфологічною будовою, у чотири ґрунтові горизонти: 0–10; 20–50; 50–80; 120–150 см відповідно, та становила 116 ґрунтових зразків. Дослідження проводились у п'яти-семикратній повторюваності.

Зовнішні фактори міграції визначають умови, концентрації та розсіювання хімічних елементів. В результаті формуються просторові закономірності розподілу Cd, що виражаються в утворенні геохімічної структури ландшафтів у латеральному та радіальному напрямках. З отриманих у роботі даних прослідковується тенденція до збільшення вмісту валової форми кадмію з півдня на північ при наближенні до промислової зони, що розташована в північній правобережній частині міста (табл. 1).

Найвищі концентрації вмісту кадмію відмічені для екологічного профілю едафотопів № 2 (т. 1–6), зокрема для корененасиченого ґрунтового гори-

Таблиця 1

Концентрація кадмію в екологічному профілю едафотопів № 2 урбанізованих територій (центральна правобережна частина м. Кам'янське), мг/кг абсолютно-сухого ґрунту

Ґрунтовий горизонт, см	Урбанізовані території (пробні ділянки)	Валова форма Cd				Рухома форма Cd			
		Сmax	Сmin	\bar{C}	% до еталону	Сmax	Сmin	\bar{C}	% до еталону
0–10	1	2,82	2,32	2,57	856,7	0,087	0,073	0,080	8,0
	2	2,92	2,46	2,69	896,7	0,082	0,078	0,080	8,0
	3	4,04	3,34	3,69	1230,0	0,171	0,159	0,160	16,0
	4	6,19	5,11	5,65	1883,3	0,112	0,108	0,110	11,0
	6	7,26	6,22	6,74	2246,7	0,535	0,485	0,510	51,0
20–50	1	2,74	2,28	2,51	836,7	0,172	0,148	0,160	16,0
	2	2,69	2,39	2,54	846,7	0,083	0,077	0,080	8,0
	3	3,68	3,12	3,40	1133,3	0,083	0,077	0,080	8,0
	4	6,10	5,08	5,59	1863,3	0,081	0,079	0,080	8,0
	6	6,90	5,72	6,31	2103,3	0,392	0,368	0,380	38,0
50–80	1	7,96	6,66	7,31	2436,7	0,793	0,667	0,730	73,0
	1	2,42	2,00	2,21	736,7	0,151	0,129	0,140	14,0
	2	2,72	2,26	2,49	830,0	0,082	0,078	0,080	8,0
	3	3,40	2,90	3,15	1050,0	0,052	0,048	0,050	5,0
	4	4,92	4,08	4,50	1500,0	0,061	0,059	0,060	6,0
120–150	6	6,42	5,30	5,86	1953,3	0,360	0,340	0,350	35,0
	5	5,43	4,59	5,01	1670,0	0,419	0,361	0,390	39,0
	1	2,21	1,81	2,01	670,0	0,150	0,130	0,140	14,0
	2	2,15	1,85	2,00	666,7	0,081	0,079	0,080	8,0
	3	2,67	2,37	2,52	840,0	0,041	0,039	0,040	4,0
0–50	4	4,49	3,71	4,10	1376,7	0,061	0,059	0,060	6,0
	6	5,90	4,94	5,42	1806,7	0,320	0,300	0,310	31,0
	5	4,70	4,08	4,39	1463,3	0,382	0,378	0,380	38,0
0–50	Еталон	0,3				0,1			
	ГДК (регіональний фон)	3,0				0,7			

зонту (до 50 см), що свідчить, вірогідно, про техногенне надходження кадмію в едафотопи урбанізованих територій.

За інтервалом варіювання вмісту мікроелементу екологічного профілю едафотопів № 2 максимальні значення концентрації важкого металу зафіксовано у корененасиченому шарі ґрунту (0–10 см). Вміст валової форми елементу в ґрунті коливається в межах $2,57 \pm 0,25$ – $2,69 \pm 0,27$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту (мінімальні значення – т. 1 і 2) та $6,74 \pm 0,52$ – $7,59 \pm 0,62$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту (максимальні значення – т. 6 і 5) валової форми, перевищення ГДК в 2,39 рази. Щодо рухомої форми Cd простежується аналогічна тенденція $0,08 \pm 0,007$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту (мінімальне значення – т. 2) та $0,98 \pm 0,0085$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту (максимальне значення – т. 5), незначне перевищення ГДК. Відмічено тенденцію підвищення концентрації валової і рухомої форм Cd зі зниженням рельєфу – висхідний (асцендіальний) латеральний розподіл (рис. 2).

Концентрація валових форм Cd (шар ґрунту 0–50 см) екологічного профілю едафотопів № 1 варіює в межах $1,57 \pm 0,05$ мг/кг ґрунту (мінімальне значення – т. 8) та $4,73 \pm 0,15$ мг/кг ґрунту (максимальні значення – т. 7), перевищення ГДК в 1,58 рази. Стосовно рухомої форми кадмію, відмічено вміст $0,09 \pm 0,005$ (мінімальне значення – т. 7) та $0,45 \pm 0,035$ мг/кг ґрунту (максимальне значення – т. 10), мінімальне перевищення ГДК. Екологічний профіль едафотопів № 1 характеризується спадною (дисцендіальною) латеральною тенденцією. Концентрація валових форм Cd (шар ґрунту 0–50 см) екологічного профілю едафотопів № 3 варіює в межах (мінімальні значення – т. 12 – $1,43 \pm 0,04$ мг/кг ґрунту, максимальні – т. 17 – $3,78 \pm 0,21$ мг/кг ґрунту,

перевищення ГДК в 1,26 рази; рухомих форм кадмію: мінімальні значення (т. 12) – $0,09 \pm 0,005$ мг/кг ґрунту, й максимальні (т. 17) – $0,24 \pm 0,015$ мг/кг ґрунту, відповідно, в межах ГДК. У екологічному профілі едафотопів № 3 відмічено пікоподібну латеральну структуру. Концентрації валових форм Cd екологічного профілю едафотопів № 4 варіює в діапазоні: мінімальне значення (т. 24) – $1,78 \pm 0,03$, максимальне (т. 22) – $3,01 \pm 0,18$, і рухомих – мінімальні значення (т. 22 і 23) – $0,08 \pm 0,003$, максимальні (т. 24) – $0,55 \pm 0,031$ абсолютно сухого ґрунту, відповідно, не перевищує допустимі нормативи. Екологічний профіль едафотопів № 4: пікоподібна латеральна структура. Інтервал варіювання концентрації кадмію в едафотопі екологічного профілю едафотопів № 5 лівобережної частині міста: вміст валових і рухомих форм в максимальному та мініальному значенні в корененасиченому шарі ґрунту: мінімальні значення (т. 27) становлять $0,49 \pm 0,02$, максимальні (т. 25) – $1,06 \pm 0,05$ мг/кг ґрунту; мінімальні значення (т. 28) – $0,04 \pm 0,002$, максимальні (т. 29) – $0,35 \pm 0,021$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту, відповідно, відсутнє перевищення ГДК. Для екологічного профілю едафотопів № 5 характерна рівномірна латеральна структура. Радіальний вид структури ландшафтів екологічних профілів едафотопів № 1–4 – гумусовий, в екологічному профілі едафотопів № 5 – невиразний.

Головні висновки. Максимальна акумуляція кадмію спостерігається в ґрунтах, що перебувають у умовах максимального антропо-техногенного пресу, а саме розташованих поблизу великих промислових підприємств і транспортних розв'язок, що виступають основними джерелами надходження кадмію у повітря м. Кам'янське та, як наслідок, у його ґрунтовий покрив. Узагальнено особливості розподілу

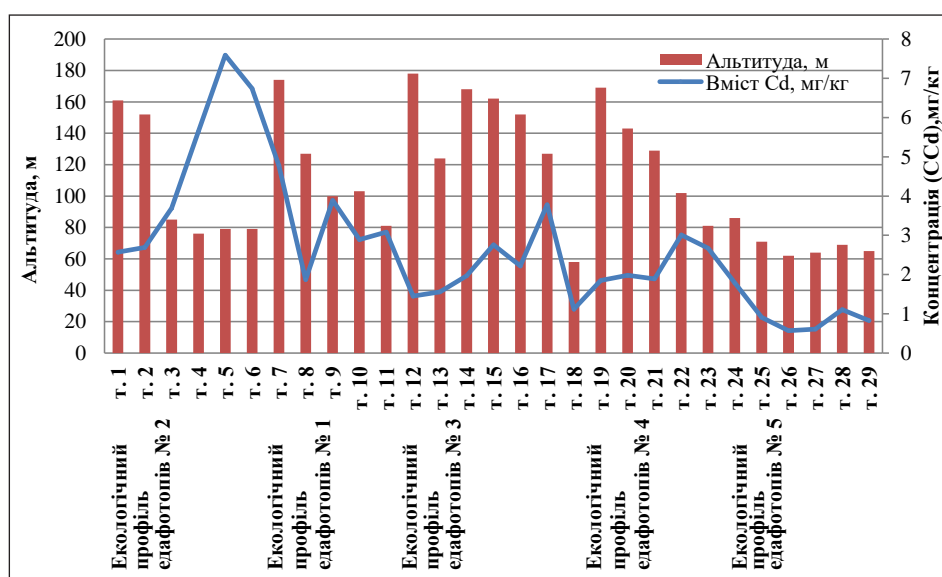


Рис. 2. Латеральний розподіл вмісту Cd (валова форма) в екологічних профілях едафотопів урбанізованих територій міста

Cd Екологічного профілю № 2 латерально, визначено висхідний (асцендіальний) вид структури ландшафту, оскільки саме цей вид характеризується підвищенням концентрації кадмію з пониженням рельєфу. Враховуючи концентрацію валової форми кадмію та альтитуду досліджуваних ділянок (точок) латеральний вид структури ландшафту утворює висхідний ряд: т. 1 – $C_{Cd}^{вал.}$ ($2,57 \pm 0,25$ мг/кг) – альтитуда (161 м) → т. 2 – $C_{Cd}^{вал.}$ ($2,69 \pm 0,27$ мг/кг) – альтитуда (152 м) → т. 3 – $C_{Cd}^{вал.}$ ($3,69 \pm 0,35$ мг/кг) – альтитуда (85 м) → т. 4 – $C_{Cd}^{вал.}$ ($5,65 \pm 0,54$ мг/кг) – альтитуда (76 м) → т. 5 – $C_{Cd}^{вал.}$ ($7,59 \pm 0,62$ мг/кг) – альтитуда (79 м) → т. 6 – $C_{Cd}^{вал.}$ ($6,74 \pm 0,52$ мг/кг) – альтитуда (79 м). Аналіз розподілу Cd радіально (шар ґрунту 0–150 см) в Екологічному профілі № 2 дозволив виділити наступні види геохімічної структури ландшафтів:

1) невиразний (т. 1 і 2) – плантоземи району житлової забудови біля залізничного та автовокзалів характеризуються незначною зміною вмісту валової форми кадмію; 2) гумусовий (т. 4, 5, 6) – власне урбаноземи, плантоземи, природні порушені ґрунти відзначаються максимальним рівнем вмісту валової форми Cd у ґрунтовому горизонті. Радіальний розподіл рухомої форми кадмію у плантоземах пробних ділянок показав, що інтервал варіювання збільшується з глибиною ґрунтового профілю. Встановлено лесивований вид структури ландшафту. Інтервал варіювання рухомої форми Cd в ґрунтах пробної ділянки (т. 2) залишається незмінним по всьому генетичному горизонті і складає $0,08 \pm 0,002$ – $0,08 \pm 0,01$ мг/кг ґрунту, що дало підставу охарактеризувати цей вид ландшафту за геохімічною структурою як невиразний.

Література

1. Касимов Н. С. Базовые концепции и принципы геохимии ландшафтов. Геохимия ландшафтов и география почв. 2002. С. 23–39.
2. Кураева И. В. Формы нахождения тяжелых металлов в почвах техногенно-загрязненных территорий. Минералогический журнал. 1997. 6. С. 53–57.
3. Мицкевич Б. Ф. Геохимические ландшафты Украинского щита. Київ : Наукова Думка, 1971. 174 с.
4. Мицкевич Б. Ф., Сушик Ю. Я. Основы ландшафтно-геохимического районирования. Київ : Наукова Думка, 1981. 176 с.
5. Пейве Я. В. Биохимия почв. Москва : Сельхозгиз, 1961. 422 с.
6. Перельман А. И. Геохимия. Москва : Высшая школа, 1975. 341 с.
7. Польшов Б. Б. Учение о ландшафтах. Москва : АН СССР, 1956. 751 с.
8. Савосько В. Н. Экологическая роль геохимических барьеров в распределении аэротехногенных тяжелых металлов в почвах Кривбаса. Вопросы биоиндикации и экологии. 2000. 5. С. 145–153.
9. Савосько В. Н. Локальное фоновое содержание тяжелых металлов в почвах Криворожского железорудного региона. Грунтознавство. 2009. 10 (3–4). С. 64–73.
10. Самчук А. І., Кураева І. В., Войтюк Ю. Ю., Матвієнко О. В., Вовк К. В. Форми знаходження важких металів у техногенно забруднених ґрунтах міських агломерацій. Мінералогічний журнал. 2016. 38 (4). С. 66–73.
11. Сараненко І. І. Екологічні дослідження лісових культурбіогеоценозів м. Кременчука. Кременчук : ПП Щербатих О. В., 2011. 154 с.
12. Узбек И. Х., Шемавнев В. И., Галаган Т. И., Волох П. В. Техногенные ландшафты как объект исследования. Грунтознавство. 2007. 8 (3–4), С. 41–45.
13. Узбек И. Х., Галаган Т. И. Едафотопи техногенних ландшафтів як біокосні підсистеми. Грунтознавство. 2008. 9 (1–2). С. 73–78.
14. Цветкова Н. М., Тагунова Е. О. Геохімічні бар'єри в розподілі мангану в едафотобах Присамар'я Дніпровського. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія. 2015. 23 (1). С. 3–9.
15. Цветкова Н. М., Пахомов О. С., Сердюк С. М., Якуба М. С. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. ґрунти. Метали у ґрунтах. Дніпропетровськ : Ліра, 2016. 180 с.
16. Чертко Н. К., Ковальчик Н. В., Хомич В. С., Карпиченко А. А., Жумарь П. В., Тимофеева Т. А. Геохимия ландшафта. Минск : БГУ, 2011. 303 с.
17. Чмиленко Ф. А., Смитюк Н. М. О содержании подвижных форм тяжелых металлов в почве г. Днепропетровска. Вісник ДНУ. Біологія. Екологія. 2001. № 9 (2). С. 128–131.
18. Якушевская И. В. Микроэлементы в природных ландшафтах. Москва : МГУ, 1973. 136 с.
19. Fu H., Zhang B., Yang J., Liu H., Yang S., Zhao P. Cadmium and Lead speciation as affected by soil amendments in calcareous soil. Environmental Engineering Science. 2018. 35 (9). P. 937–942.
20. Gunko S. O., Tsvetkova N. M., Neposhivaylenko N. O. The interpolation of cadmium in soils urbanized territory of steppe Dnieper region using geoinformation modeling methods. Biosystems Diversity. 2018. 26 (2). 145–153. DOI: 10.15421/011823
21. Gong X., Huang D., Liu Y., Zeng G., Wang R., Wan J., Zhang C., Cheng M., Qin X., Xue W. Stabilized nanoscale zerovalent iron mediated cadmium accumulation and oxidative damage of *Boehmeria nivea* (L.) Gaudich cultivated in cadmium contaminated sediments. Environmental Science & Technology. (2017). 51 (19). P. 11308–11316.
22. Santos F., van Gestel C., Amorim M. (). Toxicokinetics of copper and cadmium in the soil model *Enchytraeus crypticus* (Oligochaeta). Chemosphere. 2021. 270. Article 129433. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.129433