ПОКАЗНИКИ МІГРАЦІЇ КАДМІЮ В КУЛЬТУРБІОГЕОЦЕНОЗАХ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ М. КАМ'ЯНСЬКЕ

Гулько С.О.

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

Характер та інтенсивність кругообігу біогенних елементів і потоків енергії – ключові характеристики стану екосистем. Особливо інформативним для біологічної індикації є кругообіг окремих елементів. Дослідження біологічного кругообігу кадмію у біосфері дозволяє оцінити його дефіцит або надлишок, ступінь токсичності у природних умовах, порушення механізму його міграції під впливом діяльності людини. Встановлено, що швидкість розкладання органічної речовини та біологічна активність ґрунту залежать не тільки від інтенсивності забруднення, але й від складу токсикантів. Знання закономірностей біогеохімічних циклів дозволяє прогнозувати їх зміни у навколишньому природному середовищі. У представленій роботі визначено показники міграції кадмію в досліджуваних фітоценозах. Відомо, що кадмій не розкладається в разі надходження до навколишнього середовища, продовжуючи циркуляцію. Нові надходження важкого металу додаються до вже існуючої кількості в довкіллі. Кадмій і його сполуки відносно водорозчинні, тому вони більш мобільні (наприклад, у ґрунті) та зазвичай відрізняються більшою біологічною доступністю та тенденцією до накопичення.

У статті наведено розрахунки запасів кадмію у штучних насадженнях і співвідношення вмісту важкого металу в підстильці й опаді (ОПК), що дозволило класифікувати швидкість кругообігу елементу в підсистемі опад-підстилка. Отримані значення опад-підстилкового коефіцієнту як індексу інтенсивності біологічного кругообігу Cd для фітоценозів м. Кам'янське, в яких переважають дуби, клени, біла акація, дають підставу свідчити про наявність загальмованого типу біологічного кругообігу в досліджуваних компонентах біогеоценозу (бал 6 за шкалою числових показників). Підтверджено інформацію про те, що біогеохімічні цикли біогенів виявляються розірваними на стадії деградації органічної речовини, а макро- і мікроелементи – законсервованими в шарі підстилки, тобто забруднення ґрунтів важкими металами, зокрема кадмієм, і токсичними окислами уповільнює деструкційні процеси. *Ключові слова:* вміст кадмію, екологічна характеристика, урбанізовані території, коефіцієнт концентрації, закономірності розподілу, техногенне забруднення

Characteristics of cadmium migration in artificial biogeocenoses of urbanized terrains of Kamianske. Hunko S.

The nature and the intensity of biogenic elements' cycles and streams of energy are key characteristics of ecosystem's conditions. The cycles of certain elements are especially informational for a bioindication. An examination of the biological cadmium cycle allows to estimate its deficiency or surplus, a level of toxicity in biological conditions, disorders in a process of its migration under the influence of anthropogenic factors. There was determined that the speed of decay of organic substances and the biological soil activity depend not only on an intensity of pollution, but also on toxicants' composition. The knowledge of biogeochemical cycles' appropriateness allows to forecast their changes in the environment. Values of cadmium migration in studied plant communities were established in this work. It is known, that cadmium cannot decay in the environment and continues its circulation. New arrivals of this heavy metal add to the existed amount of cadmium in the environment. Cadmium and its compounds are relatively water-soluble. Thus, they are more mobile. For example, such chemical compounds, as a rule, are more biologically accessible and have a tendency of a biological accumulation. Calculations of cadmium reserves in man-made plantations and relation of heavy metal content in a forest floor and a litterfall (FFLC), what gave an opportunity to characterize speed of element cycle in the litterfall-forest-floor subsystem, were presented in this article. Received data of forest-floor-litterfall coefficient (FFLC) as factor of the intensity of the biological cadmium cycle in Kamianske's oak-maple-false-acacia plant community attests drugged biological cycle type in the studied ecosystems (6-point, according to the scale of number scale). The data in this scientific work confirmed an information, that biogeochemical cycles of biogens are divided into several phases of a destruction of organic substances, and macro- and microelements are preserved in the layer of a forest floor, which means soil contamination of heavy metals, including cadmium and toxic oxides, which decelerate processes of destruction. *Key words:* content of cadmium, ecological characteristic, urbanized terrains, concentration factor, regularity of dispersal, technogenic pollution.

Постановка проблеми. Розвиток промисловості, її екологічно необґрунтоване розміщення, інтенсивне збільшення кількості автотранспорту в містах супроводжуються забрудненням довкілля, негативний вплив якого відбивається на фітоценотичному і ґрунтовому покриві. В урбанізованому середовищі трав'яні культури, поряд із чагарниками й деревними породами, виступають як універсальні біологічні природні фільтри очищення атмосфери, ґрунту,

води від техногенних забруднень [1–5]. Лісові біоценози розвиваються за законами біологічного кругообігу речовин своєї зони. Характер та інтенсивність кругообігу біогенних елементів і потоків енергії – ключові характеристики стану екосистем. Особливо інформативним для біологічної індикації може бути кругообіг окремих елементів [6–11].

Дослідження біологічного кругообігу кадмію в біосфері дозволяє оцінити його дефіцит або над-

лишок, ступінь токсичності у природних умовах, порушення механізму міграції під впливом діяльності людини. Знання закономірностей біогеохімічних циклів дозволяє прогнозувати їх зміни в навколишньому природному середовищі.

Актуальність дослідження. Отримані відомості про вміст кадмію в едафотопях урбанізованих територій м. Кам'янське потребують постійних моніторингових досліджень та узгоджуються з «Програмою розвитку земельних відносин і охорони земель у Дніпропетровській області на 2011–2018 роки», термін дії якої закінчився і знаходиться на контролі. Оцінка антропо-техногенної дії на ґрунтовий покрив міста Кам'янське актуальна стосовно розширення інформаційної бази спостережень, яка відповідає сучасним задачам моніторингу стану навколишнього середовища.

Виклад основного матеріалу. Опадо-підстилковий коефіцієнт є показником інтенсивності міграції речовин у конкретних типах біогеоценозів, а тип міграції речовин у біогеоценозах визначається за десятибальною шкалою, запропонованою Н.І. Базилевич і Н.І. Родіним [12]. Ця шкала представлена на табл. 1.

Важливим показником біологічного кругообігу є його інтенсивність. Опадо-підстилковий коефіцієнт (ОПК) – це коефіцієнт утилізації органічної речовини, тобто показник її інтенсивності [13; 14]. Біологічний кругообіг речовин характеризується

опадо-підстилковим коефіцієнтом, для визначення якого необхідна інформація про запаси підстилки та опаду в досліджуваних біогеоценозах.

Опадо-подстилковий коефіцієнт речовин визначається як відношення загального запасу лісової підстилки (степової повсті) до запасу опаду зеленої маси:

$$ОПК = \frac{\text{загальний_запас_підстилки}}{\text{загальний_запас_опаду}} \quad (1)$$

Об'єктами дослідження виступили підстилка як один із основних акумуляторів політантів, потужність якої є одним із найбільш чутливих та інформативних показників біологічного кругообігу, та опад екосистем урбанізованих територій міста. Для розрахунку ОПК нами визначені інформативні показники запасів підстилки (табл. 2) та опаду (табл. 3) в екосистемах дубово-кленово-білоакацієвих насаджень правобережної та лівобережної частин міста.

Зниження вмісту гумусу верхніх горизонтів ґрунтів – явище типове майже для всіх сучасних міст, передусім пов'язане з вилученням листяного опаду [13]. Постійне видалення листяного опаду та підстригання газонів призводить до розмикання природних біогеохімічних циклів унаслідок знищення каналів повернення поживних речовин до ґрунтів [15–19]. З іншого боку, процеси розпаду, гуміфікації і мінералізації навіть тих рослинних решток, які не були вилучені, гальмуються внаслідок дії усього комплексу антропогенних впливів.

Таблиця 1

Десятибальна шкала числових показників біологічного кругообігу речовин

Бал	Органічна частина		Відношення підстилки до опаду	
	Опад, ц/га	Підстилка, ц/га	Індекс інтенсивності	Тип кругообігу
1	10	1	50	Застійний
2	11–25	1–5	21–50	
3	26–35	6–25	16–20	Сильно загальмований
4	36–45	26–76	11–15	
5	46–76	76–125	6–10	
6	76–100	126–250	1,6–6	Загальмований
7	101–125	251–400	0,8–1,5	Інтенсивний
8	126–225	401–600	0,3–0,7	
9	226–400	601–1000	0,1–0,2	Дуже інтенсивний
10	400	1000	0,1	

Таблиця 2

Запаси підстилки лісових екосистем м. Кам'янське

Тип міських ґрунтів	Зона міста	Екосистема	Потужність підстилки, см	Підстилка, ц/га					
				Повітряно-суха маса			Абсолютно-суха маса		
				$\bar{C}$	δ	V, %	$\bar{C}$	δ	V, %
Природні порушені	Рекреаційна правобережна частина міста	Дубово-кленово-білоакацієве насадження	1,9	110,98	11,62	10,47	108,09	11,21	10,37
Рістоземі	Рекреаційна лівобережна частина міста	Дубово-кленово-білоакацієве насадження	2,5	123,14	12,22	9,92	120,10	12,52	10,42

Потужність підстилки екосистем досліджувалася як важливий діагностичний показник інтенсивності деструкційних процесів та відображення балансу надходження і розкладу органічної речовини в екосистемі [20]. Важливою частиною пізнання особливостей біологічного кругообігу речовин в екосистемах є визначення зольного складу підстилки [21; 22]. Цей показник дозволив з'ясувати швидкість вивільнення окремих елементів живлення з органічно-мінеральної речовини під час її розкладу, а також простежити напрямок міграції Cd у ґрунті.

Потужність підстилки дубово-кленово-білоакацієвого насадження лівобережної частини міста становить 2,5 см, правобережної – 1,9 см. Такі закономірності пояснюються неоднаковим фракційним складом і різною щільністю складеності відмерлих рослинних залишків.

Запаси опадів лісових екосистем урбанізованих територій міста в середньому коливались у межах від $31,10 \pm 3,15$ ц/га (у правобережній частині міста) до $38,88 \pm 3,95$ ц/га абсолютно-сухої маси.

За отриманими даними нами розраховано опадо-підстилковий коефіцієнт речовин у штучних лісових насадженнях для визначення типу біологічного кругообігу (табл. 4).

Отримані показники опадо-підстилкового коефіцієнту свідчать про загальмований тип біологічного кругообігу в досліджуваних екосистемах (бал 6 за шкалою числових показників).

Відомо, що кадмій не піддається розкладанню під час надходження до навколишнього середовища і продовжує свою циркуляцію. Нові надходження важкого металу додаються до вже існуючої кількості в довкіллі. Кадмій і його сполуки відносно водорозчинні, тому вони більш мобільні (наприклад, у ґрунті), зазвичай відрізняються більшою біологічною доступністю і тенденцією до накопичення в організмах [23–28]. Уміст кадмію у штучних лісових насадженнях промислового міста Кам'янського представлений в табл. 5.

Уміст кадмію в підстилці та опаді дубово-кленово-білоакацієвих насаджень правобережної частини міста майже не відрізняється за своїми значеннями, тоді як уміст Cd в аналогічних досліджуваних об'єктах екосистем лівобережної частини характеризується дещо вищими значеннями.

Гумусо-аккумулятивний горизонт є важливим сорбентом та накопичувачем сполук, що надходять з викидами, зокрема в підстилці їхній уміст може збільшуватися на 1–2 порядки. Накопичення

Таблиця 3

Запаси опадів лісових екосистем м. Кам'янське

Тип міських ґрунтів	Зона міста	Екосистема	Опад, ц/га					
			Повітряно-суха маса			Абсолютно-суха маса		
			$\bar{C}$	δ	V, %	$\bar{C}$	δ	V, %
Природні порушені	Рекреаційна правобережна частина міста	Дубово-кленово-білоакаціє внасадження	35,90	3,730	10,38	31,10	3,15	10,13
Рістоземі	Рекреаційна лівобережна частина міста	Дубово-кленово-білоакаціє внасадження	44,43	4,61	10,36	38,88	3,95	10,16

Таблиця 4

Інтенсивність (ОПК) біологічного кругообігу речовин у штучних лісових насадженнях м. Кам'янське

Екосистема	Зона міста	ОПК	Тип біологічного кругообігу
Дубово-кленово-білоакацієве насадження	Рекреаційна правобережна частина міста	$3,14 \pm 0,15$	загальмований
Дубово-кленово-білоакацієве насадження	Рекреаційна лівобережна частина міста	$3,09 \pm 0,11$	загальмований

Таблиця 5

Уміст кадмію в лісових екосистемах промислового міста Кам'янське, мг/кг

Тип міських ґрунтів	Зона міста	Екосистема	Об'єкти	$\bar{C} \pm \delta$
Природні порушені	Рекреаційна правобережна частина міста	Дубово-кленово-білоакацієве насадження	Підстилка	$0,351 \pm 0,003$
			Опад	$0,356 \pm 0,004$
Рістоземі	Рекреаційна лівобережна частина міста	Дубово-кленово-білоакацієве насадження	Підстилка	$0,511 \pm 0,005$
			Опад	$0,430 \pm 0,003$

Таблиця 6

Запаси кадмію в лісових екосистемах промислового міста Кам'янське

Тип міських ґрунтів	Зона міста	Екосистема	Об'єкти	Cd, г/га
Природні порушені	Рекреаційна правобережна частина міста	Дубово-кленово-білоакацієве насадження	Підстилка	3,79
			Опад	1,11
Рістоземі	Рекреаційна лівобережна частина міста	Дубово-кленово-білоакацієве насадження	Підстилка	6,14
			Опад	1,67

Таблиця 7

Інтенсивність ОПК біологічного кругообігу кадмію у штучних лісових насадженнях міста Кам'янське

Екосистема	Зона міста	ОПК	Тип біологічного кругообігу
Дубово-кленово-білоакацієве насадження	Рекреаційна правобережна частина міста	3,41	загальмований
Дубово-кленово-білоакацієве насадження	Рекреаційна лівобережна частина міста	3,67	загальмований

забруднювачів значно змінює природне кількісне співвідношення окремих елементів, їхніх органічних, органо-мінеральних і мінеральних форм сполук у ґрунті. Поллютанти діють як на мінеральну, так і на органічну речовину ґрунту [29; 30]. Внаслідок зниження біологічної активності ґрунтів і швидкості трансформації рослинного опаду зменшується вміст водорозчинних органічних сполук, зокрема вуглеводних і фенольних компонентів.

Для розрахунку інтенсивності міграції кадмію в досліджуваних екосистемах нами визначено запаси кадмію у дубово-кленово-білоакацієвому насадженні (табл. 6).

Співвідношення вмісту кадмію в підстилці та опаді (ОПК) дає можливість оцінити швидкість обігу мікроелементу в системі ґрунт–рослина.

Для оцінки інтенсивності міграції важких металів у досліджуваних біогеоценозах нами визначено опад-підстилковий коефіцієнт важких металів (ОПК_{в.м.}), який розраховується за формулою:

$$\text{ОПК}_{\text{в.м.}} = \frac{\text{запаси важких металів в підстилці}}{\text{запаси важких металів в опаді}} \quad (2)$$

Швидкість розкладання органічної речовини та біологічна активність ґрунту залежать не тільки від інтенсивності забруднення, але й від складу токсикантів [31]. За даними Обухова, промислові викиди різко гальмують швидкість біологічного кругообігу в лісових екосистемах. Біогеохімічні цикли біогенів виявляються розірваними на стадії деструкції органічної речовини, а макро- і мікроелементи – законсервованими в шарі підстилки, тобто забруднення ґрунтів важкими металами й токсич-

ними окислами уповільнює деструкційні процеси, що цілком узгоджується з отриманими нами результатами та представляє значний інтерес для подальших, більш масштабних досліджень [32–34].

Головні висновки. На основі вищезазначеного нами сформульовано такі висновки:

1. Запаси опаду лісових екосистем урбанізованих територій міста в середньому становлять $31,10 \pm 3,15$ ц/га (у правобережній частині) та $38,88 \pm 3,95$ ц/га абсолютно-сухої маси – в лівобережній частині міста.

2. Отримані показники опад-підстилкового коефіцієнту (ОПК) свідчать про загальмований тип біологічного кругообігу в досліджуваних культурних біогеоценозах. ОПК правобережної частини міста становить $3,14 \pm 0,15$, лівобережної – $3,09 \pm 0,11$, що відповідає балу 6 за шкалою числових показників.

3. Для розрахунку інтенсивності міграції кадмію в досліджуваних культурбіогеоценозах наведені показники запасів кадмію в дубово-кленово-білоакацієвих насадженнях. У правобережній частині міста запаси кадмію в підстилці досліджуваних штучних деревних насаджень складають 3,79 ц/га, в опаді – 1,11 ц/га, у лівобережній частині в аналогічних насадженнях містяться запаси кадмію в підстилці 6,14 ц/га, в опаді – 1,67 ц/га.

4. Співвідношення вмісту важких металів у підстилці та опаді зеленої маси дає можливість характеризувати швидкість обігу елемента в системі ґрунт–рослина: інтенсивність ОПК біологічного кругообігу кадмію у штучних лісових насадженнях міста Кам'янське становила 3,41 та 3,67 відповідно, що характерно для загальмованого типу кругообігу.

Література

1. Сараненко І.І. Екологічні дослідження лісових культурбіогеоценозів м. Кременчука. Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2011. 154 с.
2. Shi W, Ma X. Effects of heavy metal Cd pollution on microbial activities in soil. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. 2017. № 24. P. 722-725.
3. Volesky Z.R., Holan A. Biosorption of heavy metals. *Biotechnology Progress*. 1995. № 11. P. 235–250. doi:10.1021/bp00033a001.

4. Wang L., Jia X., Zhao Y., Zhang C.Y., Gao Y., Li X., Cao K., Zhang N. Effects of elevated CO₂ on arbuscular mycorrhizal fungi associated with Robinia pseudoacacia L. grown in cadmium-contaminated soils. *Science of The Total Environment*. 2021. № 768. article 144453. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144453
5. Wu J., Song Q., Zhou J., Wu Y., Liu X., Liu J., Zhou L., Wu Z., Wu W. Cadmium threshold for acidic and multi-metal contaminated soil according to *Oryza sativa* L. Cadmium accumulation: Influential factors and prediction model. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. № 208. article 111420. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111420
6. Дмитрук Ю.М. До питання методики геохімічної характеристики ґрунтового покриву екосистем. *Агроекологічний журнал*. 2004. № 4. С. 56-63.
7. Дмитрук Ю.М. Еколого-геохімічний аналіз міграції і вмісту важких металів у ґрунтах елементарних ландшафтів. *Ґрунтознавство*. 2004. № 5(3-4). С. 26-42.
8. Дмитрук Ю.М. Біогеохімічна класифікація біогеоценозів (педоцентричний підхід). *Екологія та ноосферологія*. 2006. № 17(1-2). С. 86-90.
9. Цветкова Н.М., Якуба М.С. Біокругообіг речовин у біогеоценозах Присамар'я Дніпровського. Дніпропетровськ: ДНУ, 2008. 112 с.
10. Biswas T., Parveen O., Pandey V., Mathur A., Dwivedi U. Heavy metal accumulation efficiency, growth and centelloside production in the medicinal herb *Centella asiatica* (L.) urban under different soil concentrations of cadmium and lead. *Industrial Crops and Products*. 2020. № 157. P. 585-598. doi:10.1016/j.indcrop.2020.112948
11. Yang X.E., Baligar V.C., Martens D.C., Clark R.B. Influx, transport and accumulation of cadmium in plant species grown at different Cd²⁺ activities. *Environmental Journal of Environmental Science and Health*. 1995. № 30. P. 569-583. doi:10.1080/03601239509372954.
12. Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Н. И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Ленинград: Наука, 1968. 143 с.
13. Дубина А.А. Роль подстилки в жизни степного леса. Вопросы степного лесоведения. 1977. № 8. С. 46-49.
14. Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. Ленинград: Наука, 1965. 264 с.
15. Якуба М.С. Характер та амплітуда біологічного кругообігу орґано-мінеральних речовин у штучних лісових біогеоценозах степу. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*. 2003. №7(32). С. 99-105.
16. Degryse F., Smolders E., Merckx R. Labile Cd complexes increase Cd availability to plants. *Environmental Science and Technology*. 2006. No 40. doi: 10.1021/es050894t.
17. Evangelou M.W., Daghan H., Schaeffer A. The influence of humic acids on the phytoextraction of cadmium from soil. *Chemosphere*. 2004. No 57. С. 207-213.
18. Kwiatkowska-Malina J. Functions of organic matter in polluted soils: the effect of organic amendments on phytoavailability of heavy metals. *Applied Soil Ecology*. 2018. No 123. С. 542-545.
19. Pan J., Yu L. Effects of Cd or/and Pb on soil enzyme activities and microbial community structure. *Ecological Engineering*. 2011. No 37. P. 1889-1894.
20. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тишкова Н.В. Геохимия окружающей среды. Москва: Недра, 1976. 248 с.
21. Бессонова В.П., Зайцева І.А. Вміст важких металів у листі дерев і чагарників в умовах техногенного забруднення різного походження. *Питання біоіндикації та екології*. 2008. № 13(2). С. 1-17.
22. Мартинова Н.В., Лихолат Ю.В. Акумуляція важких металів як один з критеріїв визначення ролі ґрунтопокривних рослин в оптимізації урбанізованого середовища. *Таврійський науковий вісник*. 2010. № 71(2). С. 130-135.
23. Смольянинов И.И., Рябуха Е.В. (). Круговорот веществ в природе. Киев: Наука, 1971. 120 с.
24. 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.
25. Cao X., Gao X., Zeng X., Ma Y., Gao Y., Baeyens W., Jia Y., Liu J., Wu C., Su S. Seeking for an optimal strategy to avoid arsenic and cadmium over-accumulation in crops: Soil management vs cultivar selection in a case study with maize. *Chemosphere*. 2021. No272, article 129891. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129891
26. Guan Q.Y., Zhao R., Wang F.F., Pan N.H., Yang L.Q., Song N., Xu C.Q., Lin J.K. Prediction of heavy metals in soils of an arid area based on multi-spectral data. *Journal of Environmental Management*. 2019. No 243. P. 137-143.
27. Hussain B., Muhammad Nadeem Ashraf M.N., Rahman S., Abbas A., Li J., Farooq M. Cadmium stress in paddy fields: Effects of soil conditions and remediation strategies. *Science of The Total Environment*. 2021. No 754, article 142188. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142188.
28. Kim H.S., Seo B.H., Owens G., Kim Y.N., Lee J.H., Lee M., Kim K.R. Phytoavailability-based threshold values for cadmium in soil for safer crop production. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2020. No 201. P. 110866.
29. Zhang H., Ke S., Zhang S., Shao J., Chen H. Reactive transport modeling of pollutants in heterogeneous layered paddy soils: a) Cadmium migration and vertical distributions. *Journal of Contaminant Hydrology*. 2020. No 235. P.103735. doi:10.1016/j.jconhyd.2020.103735
30. Zhu Q.H., Huang D.Y., Liu S.L., Luo Z.C., Zhu H.H., Zhou B., Lei M., Rao Z.X., Cao X.L. Assessment of single extraction methods for evaluating the immobilization effect of amendments on cadmium in contaminated acidic paddy soil. *Plant, Soil and Environment*. 2012. No 58 (2). P. 98-103.
31. Гулько С.О. Закономірності розподілу кадмію в едафотопях урбанізованих територій м. Кам'янське : автореф. дис. ... канд. біол. наук. Дніпро, 2021. 25 с. URL: http://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/dissertations/D08.051.04/autoreferat_6046399d5c7c2.pdf.
32. Гулько С.О. Закономірності розподілу кадмію в едафотопях урбанізованих територій м. Кам'янське : дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16 «Екологія» / Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, 2021. URL: http://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/dissertations/D08.051.04/dissertation_606016a359ebb.pdf.
33. Huang L., Wang Q., Zhou Q., Ma L., Wu Y., Liu Q., Wang S., Feng Y. Cadmium uptake from soil and transport by leafy vegetables: A meta-analysis. *Environmental Pollution*. 2020. No 264, article 114677. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114677.
34. Song W.Y., Park J., Eisenach C., Maeshima M., Lee Y., Martinoia E. ABC transporters and heavy metals. *Plant ABC Transporters*. Springer. 2014. P. 1-17.