

---

# БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

---

УДК 504.054:574.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.15>

## БІОАКУМУЛЯЦІЯ МЕРКУРІЮ ( $Hg^{2+}$ ), ХРОМУ ( $Cr^{6+}$ ) ТА ЦИНКУ ( $Zn^{2+}$ ) У ЕКОСИСТЕМАХ ОБУХІВСЬКОГО РАЙОНУ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Бондар О.І., Риженко Н.О., Жаврида Д.Є.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ  
[alsko2011@ukr.net](mailto:alsko2011@ukr.net)

Проблематика накопичення та транслокації в складниках екосистем хімічних речовин наразі досить актуальна. Здатність рослин та гідробіонтів до біоаккумуляції є одним із найважливіших індексів у вивченні екологічної особливості міграції поллютантів, оскільки цей показник не лише дає змогу порівнювати токсичність поллютантів, особливо металів, які завжди наявні в рослині, ґрунті, водному середовищі та гідробіонті, які можуть водночас бути як токсикантами, так і мікроелементами, а й дати прогноз транслокації, біоаккумуляції поллютантів і реакції складників екосистем на їх дію. Доля різних металів, зокрема хрому, нікелю, міді, марганцю, ртуті, кадмію та свинцю та металоїдів, у природному середовищі викликає велике занепокоєння. Так, неподалік промислових майданчиків, смітників, хвостосховищ та відвалів, а також у міських районах та індустриальних центрах. Однією з таких місцевостей є Обухівський район Київської області, територія якого досліджувалася на вміст  $Cr^{6+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ . Ґрунт, осад, вода та органічні сполуки на цих територіях можуть містити більше, ніж фонова та кларкова кількості таких елементів, а також біодоступні форми цих елементів. Установлено, що в системі «вода-гідробіонт» найбільшими значеннями коефіцієнтів біоаккумуляції щодо води характеризується  $Hg^{2+}$ , а найменшими –  $Cr^{6+}$ . За інтенсивністю біоаккумуляції у *Taraxacum officinale* L. з ґрунту на досліджуваній території отримано такий ряд металів:  $Cr^{6+} > Hg^{2+} > Zn^{2+}$ . Серед досліджених металів максимально високими значеннями коефіцієнтів біоаккумуляції у водному середовищі відрізняється  $Hg^{2+}$ , мінімальними –  $Cr^{6+}$ . З'ясовано, що інтенсивність накопичення меркурію гідробіонтами (*Ceratophyllum demersum* L., *Blicca bjoerkna*, *Esox lucius*) достовірно більша, ніж наземним видом рослин *Taraxacum officinale* L, що свідчить про вищу біодоступність меркурію у водному середовищі. **Ключові слова:** біоаккумуляція, метали ( $Hg^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $Zn^{2+}$ ), ґрунт, вода, забруднення, *Taraxacum officinale* L., *Ceratophyllum demersum* L., *Blicca bjoerkna*, *Esox lucius*, Обухівський район Київської області.

**Bioaccumulation of Mercury's ( $Hg^{2+}$ ), Chrome's ( $Cr^{6+}$ ), and Zinc's ( $Zn^{2+}$ ) in ecosystems of Obukhiv district of Kyiv region.**  
**Bondar O., Ryzhenko N., Zhavryda D.**

The issue of accumulation and translocation in the components of chemical ecosystems is currently quite relevant. The ability of plants and aquatic organisms to bioaccumulate is one of the most important indices in studying the ecological features of pollutant migration. Bioaccumulation not only allows to compare the toxicity of pollutants, especially metals, which are always present in plants, soil, aquatic environment and aquatic environment as a trace element, but also to predict the translocation, bioaccumulation of metals as a pollutants. The fate of various metals, including chromium, nickel, copper, manganese, mercury, cadmium and lead, and metalloids in the natural environment, is of great concern, particularly near industrial sites, landfills, tailings ponds and dumps, as well as in urban areas and industrial areas. One of such territories is Obukhiv district of Kyiv region, the territory of which was studied for the content of  $Cr^{6+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ . Soil, sediment, water and organic compounds in these areas may contain more than the background and clarke amounts of these elements, as well as bioavailable forms of these elements. In the system “water-hydrobiont” the highest values of bioaccumulation coefficients are characterized by  $Hg^{2+}$ , and the lowest – respectively  $Cr^{6+}$ . According to the intensity of bioaccumulation in *Taraxacum officinale* L., the following number of metals was obtained from the soil in the study area:  $Cr^{6+} > Hg^{2+} > Zn^{2+}$ . Among the studied metals,  $Hg^{2+}$  differs by the highest values of bioaccumulation coefficients in the water, and  $Cr^{6+}$  – by the minimum. The intensity of accumulation of mercury by aquatic organisms (*Ceratophyllum demersum* L., *Blicca bjoerkna*, *Esox lucius*) is significantly higher than the terrestrial plant species *Taraxacum officinale* L, which indicates higher bioavailability of mercury in the aquatic environment. **Key words:** bioaccumulation, metals ( $Hg^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $Zn^{2+}$ ), soil, water, pollution, *Taraxacum officinale* L., *Ceratophyllum demersum* L., *Blicca bjoerkna*, *Esox lucius*, Obukhiv district of Kyiv region.

**Постановка проблеми.** Ураховуючи аспекти децентралізації, Обухівський район Київської області характеризуватиметься значним техногенним та демографічним навантаженням на довкілля [1–3]. Тому моніторинг стану екосистеми є необхідною умовою екологічного нормування як з огляду на середовище життя людини, так і з огляду на необхідність охорони природи. Доля різних металів, зокрема хрому, нікелю, міді, марганцю, ртуті,

кадмію та свинцю та металоїдів, у природному середовищі викликає велике занепокоєння, зокрема поблизу промислових майданчиків, смітників, хвостосховищ та відвалів, а також у міських районах та індустриальних центрах. Однією з таких територій є Обухівський район Київської області. Ґрунт, осад, вода та органічні сполуки на цих територіях можуть містити більше, ніж фонова та кларкова кількості цих елементів, а також біодоступні форми цих елементів.

Для того, щоб оцінити ефекти та потенційні ризики, пов'язані з підвищеними концентраціями елементів, які виникають внаслідок антропогенної діяльності, необхідно визначити частку загальної кількості елементів у воді, осаді та ґрунті, які є біодоступними. Біодоступність – це частка загальної кількості металів, доступних для включення їх у біоаккумуляцію. Валові концентрації металів не обов'язково корелюють із біодоступними формами [4; 5]. Так, сульфідні сполуки можуть бути доволі інертними. Незважаючи на високі загальні концентрації металів в осаді та ґрунті, метали не є доступними для включення у біоту, тому вплив на довкілля від високих валових концентрацій металів у подібних сполуках може бути незначним. Проте доступні для біоти форми металів у ґрунті чи водному середовищі є потенційно небезпечними через можливість їх біоаккумуляції живими організмами, наприклад метилмеркурій. З огляду на це, все більше набуває актуальності дослідження питання інтенсивності біоаккумуляції металів у системі «середовище-біота» [4–7].

У токсикологічному контексті суттєвого значення набуває оцінка біоаккумуляції металів у підсистемі «Біота». Значення інтенсивності біоаккумуляції живими організмами у природних екосистемах також важко переоцінити, адже саме поглинання токсикантів наземними рослинами, гідробіонтами тощо є суттєвим вектором фізичної міграції токсикантів. Здатність рослин (або гідробіонтів) до поглинання є одним із найважливіших індексів у вивченні токсичності поллютантів, оскільки цей показник не тільки дозволяє порівнювати токсичність поллютантів, що є особливо важливим у випадку з металами, які завжди присутні в рослині, ґрунті, воді, гідробіонти та можуть водночас бути як токсикантами, так і мікроелементами (ультрамикроелементами), а й дати можливість прогнозу поведінки поллютантів та відповіді екосистеми на їх дію [7; 8]. Отже, виявлені особливості біоаккумуляції хрому, цинку та ртуть у екосистемах Обухівського району дозволяють оцінити їх стан та прогнозувати порушення їх функціонування.

**Метою роботи** є дослідження біоаккумуляції ртуть ( $\text{Hg}^{2+}$ ), хрому ( $\text{Cr}^{6+}$ ) та цинку ( $\text{Zn}^{2+}$ ) в системі «ґрунт-рослина» у природних та трансформованих ландшафтах Обухівського району Київської області, «вода-гідробіонт» Канівського водосховища. Під час порівняння між собою досліджуваних територій за біоаккумуляцією всіх досліджуваних металів ставилось на меті виокремити суттєвий фактор, який би суттєво впливав на біоаккумуляцію всіх металів певного локалітету, адже близькість до автошляхів, рекреаційне навантаження та інші антропогенні фактори можуть суттєво впливати на перебіг біоаккумуляційних процесів у складниках екосистеми досліджуваної території в цілому.

**Умови та методи проведення досліджень.** Дослідження біоаккумуляції металів у природних еко-

системах проводилось за результатами вмісту металів в таких складниках екосистеми, як ґрунт, рослини *Taraxacum officinale L.* та *Ceratophyllum demersum L.*, поверхнева вода, риба густера (*Blicca bjoerkna*), риба щука звичайна (*Esox lucius*) на чотирьох локаціях Обухівського району (в зоні діяльності Трипільської ТЕС м. Українка, полігону ТПВ № 5 с. Підгірці, в межах Канівського водосховища м. Українка та ландшафтного заказника місцевого значення «Урочище «Калинове» с. Витачів. Зразки відбирали згідно з вимогами ДСТУ (ДСТУ 4287:2004, ДСТУ ISO 10381-4-2005) в межах 3-х пробних ділянок. Глибина відбору ґрунтових зразків була в межах 0–20 см. На кожній площі відбиралися рослинні зразки, з яких готували змішаний усереднений зразок об'ємом до 100 г (загальна фітомаса). Аналіз зразків ґрунту ( $\text{Zn}^{2+}$  та  $\text{Cr}^{6+}$ : ацетатно-амонійний буфер pH 4,8) та рослин ( $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ) здійснювали методом атомно-абсорбційної спектроскопії. Підготовку м'яких тканин риб для визначення в них вмісту металів здійснювали відповідно до рекомендацій, наведених у нормативних документах для харчових продуктів. Вимірювання концентрації металів у донних відкладах проводили методом атомно-абсорбційної спектроскопії (спектрофотометр атомно-абсорбційний Сатурн-4, Аналізатор ртуть, РА-915). Коефіцієнт біоаккумуляції розраховували за рівнянням [4–9]:

$$K_b = \text{Conc}(\text{росл., гідроб.}) / \text{Conc}(\text{ґрунт, вода}) \quad (1),$$

де  $K_b$  – коефіцієнт біоаккумуляції;

$\text{Conc}(\text{росл./гідроб.})$  – концентрація у надземній фітомасі рослини або гідробіонту, мг/кг;

$\text{Conc}(\text{ґрунт, вода})$  – концентрація у ґрунті або воді, мг/кг ( $\text{дм}^3$ ).

Статистична обробка експериментальних даних була проведена з використанням пакета прикладних програм Microsoft Excel за загальноприйнятими у біометрії методиками [10].

**Виклад основного матеріалу.** Ураховуючи шляхи надходження токсикантів антропогенного походження в екосистеми, підсистема «ґрунт» та підсистема «Вода» є первинними акумуляторами металів, а далі – підсистема «Рослина» та «Гідробіонт» стає основним акумулятором металів, оскільки основна частина металів виноситься саме фітокомпонентом та біотичною складовою [1; 5; 7].

Після надходження токсиканта до «воріт» екосистеми на другому етапі міграційного процесу алохтонних речовин (металів) відбувається біохімічне та геохімічне впровадження цих сполук через фізіологічні та геохімічні реакції, що значно формує біопродукційний процес. Біоаккумуляція залежить від біодоступності металу у водній фазі ґрунту, у воді, pH, окисно-відновного потенціалу, вмісту органічної речовини у ґрунті та воді. У нашій роботі досліджувалась біоаккумуляція  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$  у системі «ґрунт-рослина», «вода-гідробіонт» (табл. 1, 2).

На трьох локаціях досліджуваних ґрунтів у системі «ґрунт-рослина» коефіцієнти біоаккумуляції металів *Taraxacum officinale* L. мали значення ті, які варіювали від 0,3 до 1,5. Слід указати на коефіцієнт біоаккумуляції ртуті в районі діяльності Трипільської ТЕС, який дорівнював 1,4 (на відміну від локації біля Полігону № 5 та заказника «Урочище Калинове», який становив по 0,9 в обох випадках). Це свідчить про інтенсивніше поглинання рослинами доступної форми ртуті з ґрунту в районі діяльності ТЕС порівняно з іншими досліджуваними ділянками. Така особливість біоаккумуляції ртуті може бути пов'язана із вмістом вологи у ґрунті у м. Українка (русло Дніпра розташоване від місця

забору зразків на відстані 500 метрів). Коефіцієнти варіації ( $v$ , %) коефіцієнтів біоаккумуляції металів для трьох різних локацій становили: Hg – 22,1, Cr – 23,1, Zn – 45,3 відповідно. Для ртуті та хрому варіація була незначна, а для цинку – помірна, що, вочевидь, пояснюється есенціальними властивостями цього елемента для досліджуваної рослини. За інтенсивністю біоаккумуляції у *Taraxacum officinale* L з ґрунту на досліджуваній території отримано такий ряд металів:  $Cr^{6+} > Hg^{2+} > Zn^{2+}$ .

Серед досліджених металів максимально високими значеннями коефіцієнтів біоаккумуляції у водному середовищі відрізняється  $Hg^{2+}$  (від 49,6 до 64,0), мінімальними –  $Cr^{6+}$  (табл. 2).

Таблиця 1

Біоаккумуляція металів у системі «ґрунт-рослина»,  $P_{05}$ 

Метал	Вміст у ґрунті, мг/кг	Вміст у рослині <i>Taraxacum officinale</i> L., мг/кг сух.реч.	Коефіцієнт біоаккумуляції (Кб)
<b>Трипільська ТЕС м. Українка</b>			
Cr <sup>6+</sup>	0,0151±0,003	0,0141±0,003	0,9
Hg <sup>2+</sup>	0,0028±0,001	0,0040±0,001	1,4
Zn <sup>2+</sup>	1,7986±0,400	1,1252±0,250	0,6
<b>Полігон ТПВ № 5 с. Підгірці</b>			
Cr <sup>6+</sup>	0,0253±0,004	0,0258±0,002	1,0
Hg <sup>2+</sup>	0,0056±0,001	0,0050±0,001	0,9
Zn <sup>2+</sup>	3,6258±0,320	1,2687±0,051	0,3
<b>Заказник «Урочище Калинове» с. Витачів</b>			
Cr <sup>6+</sup>	0,0044±0,0007	0,0065±0,001	1,5
Hg <sup>2+</sup>	0,0053±0,001	0,0052±0,001	0,9
Zn <sup>2+</sup>	1,8765±0,520	1,9562±0,232	1,0
	$s^2(Kб)$	$v, \% (Kб)$	
Cr <sup>6+</sup>	0,690	23,1	
Hg <sup>2+</sup>	0,056	22,1	
Zn <sup>2+</sup>	0,082	45,3	

Таблиця 2

Біоаккумуляція металів гідробіонтами,  $P_{05}$ 

Метал	Вміст у воді, мг/л	Вміст у гідробіонті, мг/кг сух.реч.	Коефіцієнт біоаккумуляції (Кб)
<b>Кушир занурений (<i>Ceratophyllum demersum</i> L.)</b>			
Hg <sup>2+</sup>	0,0001149±0,00002	0,0074±0,001	64,4
Zn <sup>2+</sup>	0,1985±0,0030	2,3658±0,241	11,9
Cr <sup>6+</sup>	0,02244±0,007	0,0095±0,001	0,4
<b>Риба густера (<i>Blicca bjoerkna</i>)</b>			
Hg <sup>2+</sup>	0,0001149±0,00002	0,0055±0,001	47,9
Zn <sup>2+</sup>	0,1985±0,0030	1,9625±0,365	9,9
Cr <sup>6+</sup>	0,02244±0,007	0,0352±0,0026	1,6
<b>Риба щука звичайна (<i>Esox lucius</i>)</b>			
Hg <sup>2+</sup>	0,0001149±0,00002	0,0061±0,002	53,1
Zn <sup>2+</sup>	0,1985±0,0030	1,5688±0,345	7,9
Cr <sup>6+</sup>	0,02244±0,007	0,00322±0,0001	0,1
	$s^2(Kб)$	$v, \% (Kб)$	
Hg <sup>2+</sup>	948,0	12,49	
Zn <sup>2+</sup>	32,4	16,49	
Cr <sup>6+</sup>	6,1	92,58	

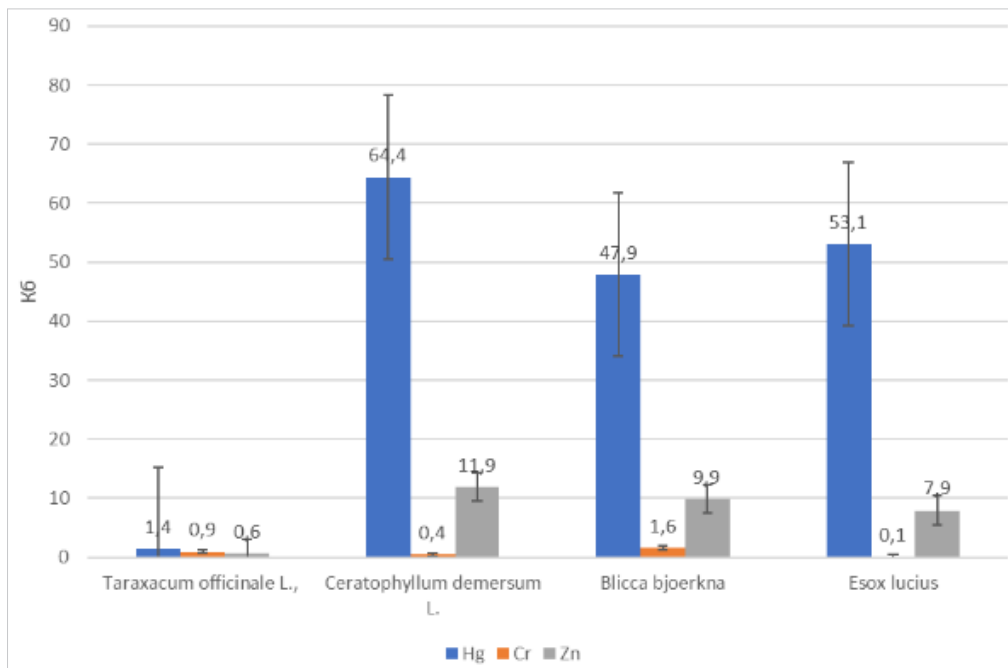


Рис. 1. Коефіцієнти біоаккумуляції у системі «середовище-організм»

Аналіз результатів дозволив отримати ряд накопичення металів для системи «вода-гідробіонт»:  $Hg^{2+} > Zn^{2+} > Cr^{6+}$ . За Критерієм Фішера, інтенсивність накопичення меркурію гідробіонтами (*Ceratophyllum demersum* L., *Blicca bjoerkna*, *Esox lucius*) достовірно більша, ніж досліджуваним наземним видом рослин *Taraxacum officinale* L. ( $F_{пр} > F_{табл.}$ ,  $F_{пр} = 948$ ,  $F_{табл. 0,05} = 19,5$ ). Аналогічна закономірність спостерігалась для цинку ( $F_{пр} > F_{табл.}$ ,  $F_{пр} = 32,4$ ,  $F_{табл. 0,05} = 19,5$ ), проте для хрому достовірна різниця коефіцієнтів біоаккумуляції між наземним видом рослин та гідробіонтами була відсутня ( $F_{пр} < F_{табл.}$ ,  $F_{пр} = 6,1$ ,  $F_{табл. 0,05} = 19,5$ ). Найбільшим коефіцієнтами біоаккумуляції у системі «середовище-організм» серед досліджуваних видів характеризувався вид *Ceratophyllum demersum* L. (див. рис. 1). Найбільшим коефіцієнтом

варіації ( $v, \%$ ) коефіцієнтів біоаккумуляції характеризувався хром, найменшим – меркурій, що свідчить про незначну варіацію біодоступності останнього для різних видів гідробіонтів.

**Головні висновки.** За інтенсивністю біоаккумуляції у *Taraxacum officinale* L з ґрунту на досліджуваній території отримано такий ряд металів:  $Cr^{6+} > Hg^{2+} > Zn^{2+}$ . Серед досліджених металів максимально високими значеннями коефіцієнтів біоаккумуляції у водному середовищі відрізняється  $Hg^{2+}$ , мінімальними –  $Cr^{6+}$ . За Критерієм Фішера інтенсивність накопичення меркурію гідробіонтами (*Ceratophyllum demersum* L., *Blicca bjoerkna*, *Esox lucius*) достовірно більша, ніж наземним видом рослин *Taraxacum officinale* L., що свідчить про вищу біодоступність меркурію у водному середовищі.

#### Література

- Бондар О.І., Риженко Н.О. Фітотоксикологічна класифікація токсичних металів за інтенсивністю їх біоаккумуляції в умовах зелених паркових зон м. Києва. *Агроекологічний журнал*. 2017. Т 3. С. 32–40.
- Chang, C., Yu, H., Chen, J., Li, F., Zhang, H., Liu, C., 2014. Accumulation of heavy metals in leaf vegetables from agricultural soils and associated potential health risks in the Pearl River Delta, South China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(3). Pp. 1547–1560
- Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна небезпека. / В.М. Гришко, Д.В. Сишиков, О.М. Піскова та ін.. Донецьк : Донбас, 2012. 303 с.
- Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе «почва-растение». Новосибирск : Наука, Сибирское отделение, 1991. 151 с.
- Риженко Н.О. Біоаккумуляція Pb, Cd, Zn, Cu при імпульсному забрудненні – екоотоксикологічний критерій якості довкілля. *Екологічні науки*. 2012. Т 1. с. 46–55.
- Ryzhenko N., Yastrebtsova N., Ryzhenko D. Cd and Pb in the “soil-plant” system of Holosiyiv green park area in Kyiv. *Polish journal of soil science*. 2020. Vol. LIII/2. Pp. 199–210.
- Бондар О.І., Риженко Н.О. Екологічний моніторинг м. Києва. *Агроекологічний журнал*. 2010. № 2. С. 41–46
- Morel F. M., Kraepiel A. M. The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 1998, Vol. 29, PP. 543–566.
- Hazrat, A., Ezzat, K., Ikram, I., 2019. Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019. Pp.1–15.
- Ивантер Э.В., Коросов А.В. Элементарная биометрия. Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2010. 104 с.