

УДК 504.056:(282.243.7)

О. Г. Васенко, канд. біол. наук, **С. О. Кулак**
(УкрНДІЕП)

НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ГІДРОБІОНТАХ РІЧКИ ДУНАЙ

*Досліджено можливі негативні екологічні наслідки біоаккумуляції важких металів у системі «вода – донні відклади – молюски» української ділянки річки Дунай. Встановлено, що молюски *Unio pictorum* (L., 1758) і *Anadonta cygnea* (L., 1758) переважно накопичують кадмій, свинець і цинк. Розраховані коефіцієнти накопичення важких металів по відношенню до води і донних відкладів. Визначені шляхи міграції важких металів по трофічних ланцюгах.*

Ключові слова: екологічні наслідки, важкі метали, молюски, донні відклади.

Відомо, що техногенний вплив на довкілля підсилюється внаслідок забруднення водних екосистем важкими металами. Вони становлять небезпеку як забруднювачі водних об'єктів, бо навіть у порівняно малих концентраціях вони токсично впливають на водні організми, зокрема внаслідок біоаккумуляції в органах і тканинах. Разом з прямою токсичною дією на організми важкі метали спричиняють небезпечні біологічні наслідки (мутагенний, ембріотоксичний, гонадотоксичний та ін.). Важкі метали за певних концентрацій можуть викликати масову загибель представників іхтіофауни, що, у свою чергу, створює загрозу для здоров'я людини. Особливо актуальним у екологічному аспекті є встановлення закономірностей розподілу та накопичення ряду важких металів у системі «вода – донні відклади – молюски».

Дунай є найбільшою річкою Центральної і Південно-Східної Європи і належить до басейну Чорного моря. Протікає по території Румунії, Угорщини, Австрії, Сербії, Німеччини, Словаччини, Болгарії, Хорватії, України та Молдови. За протяжністю і площею водозабору Дунай – друга річка в Європі після Волги. Загальна площа басейну річки Дунай становить 817 тис. км².

Інтенсивне ведення в басейні Дунаю господарської діяльності призводить, зокрема, до підвищення вмісту важких металів у воді, суспензіях і донних відкладах [1]. Для розробки заходів щодо поліпшення екологічного стану Дунаю важливе значення мають відомості про розподіл важких металів між окремими компонентами екосистеми [2, 3]. У зв'язку з цим виникає необхідність дослідження фізіологічного

стану гідробіонтів у природних водоймах і, в першу чергу, визначення динаміки накопичення металів в органах і тканинах різних видів, з'ясування шляхів надходження і виведення мікроелементів з організму. Слід звернути увагу на те, що надійні дані можуть бути отримані при використанні сучасних методів аналітичної хімії, які дозволяють визначити вміст важких металів на рівні ½ ГДК [4].

Мета описуваної у статті роботи – дослідити особливості розподілу та накопичення важких металів у системі «вода – донні відклади – моллюски» української ділянки річки Дунай.

Матеріали і методи досліджень

Дослідження української ділянки річки Дунай на вміст специфічних забруднюючих речовин токсичної дії проводиться в лабораторії еколого-аналітичних досліджень УкрНДІЕП з 2004 р. у рамках екологічного моніторингу впливу відновлення та експлуатації ГСХ Дунай – Чорне море. Відбір проб води і донних відкладів проводили на всьому протязі української ділянки р. Дунай. Його приурочували до літньої межні, коли у воді визначаються найбільші концентрації забруднюючих речовин внаслідок максимального забруднення і мінімального стоку. У цей же час відзначається найбільша фільтраційна активність та інтенсивне харчування у деяких гідробіонтів, зокрема моллюсків. Двостулкові моллюски були обрані як об'єкти дослідження через їх поширеність, малу міграційну активність, що дозволяє використовувати їх як біоіндикаторні організми. Збір статевозрілих моллюсків проводили в дельті р. Дунай поблизу м. Вилкове.

Моллюски перлівниця *Unio pictorum* (L., 1758) і беззубка *Anadonta cygnea* (L., 1758) малорухливі і можуть тривалий час перебувати в несприятливих умовах, викликаних впливом різних антропогенних чинників, що робить ці види незамінними об'єктами у подібних дослідженнях. За способом харчування їх відносять до фільтраторів. Одна особина за добу пропускає через себе кілька літрів води, поглинаючи при цьому не тільки поживні речовини і кисень, а й хвороботворні бактерії і токсичні речовини. Завдяки цьому моллюски чудово очищують воду, а їх м'які тканини накопичують різні мікроелементи.

Пробопідготовку м'яких тканин моллюсків для визначення в них важких металів здійснювали відповідно до рекомендацій, що наведені

у нормативних документах для харчових продуктів [5]. Вимірювання масової концентрації важких металів проводили атомно-абсорбційним методом з використанням регламентованих методик [6]. Мінералізація продукту виконувалась способом сухого озолення. Концентрація важких металів у розчині мінералізату визначалася методом полуменевої атомної абсорбції.

Автори висловлюють подяку керівникам експедиційних досліджень – науковим співробітникам М. Л. Лунгу та А. В. Колеснику – за допомогу у відборі та транспортуванні досліджуваного матеріалу.

Результати досліджень

Для оцінки екологічного стану української ділянки р. Дунай за рівнем вмісту металів нами були узагальнені дані щодо їх розподілу і міграції за останні шість років [7].

Аналіз хімічного складу води на всьому протязі української ділянки р. Дунай свідчать про досить сильне її забруднення. Показано, що концентрація цинку перевищує ГДК_{р-х} в 3,3–37 разів. Найбільше за величиною (до 12 ГДК_{р-х}) забруднення нікелем зазначено у весняно-літній період. Повсюдне і високе, а місцями екстремально високе, забруднення міддю (до 150 ГДК_{р-х} та 99 ГДК_{р-х} відповідно). Вміст кадмію та свинцю – нижче ГДК_{р-х}.

Результати визначення вмісту важких металів у донних відкладах коливаються: для цинку – від 18 до 144 мг/кг; для нікелю – від <10 до 125 мг/кг; для міді – від 0,62 до 55 мг/кг; для кадмію – від <0,1 до 3 мг/кг; для свинцю – від 6,5 до 54 мг/кг.

Дані за вмістом важких металів у воді, донних відкладах та м'яких тканинах молюсків представлені в таблиці 1.

У цілому, вміст важких металів у м'яких тканинах молюсків р. Дунай змінюється в такому порядку: Zn > Cu > Ni > Pb > Cd (табл. 1). Цей ряд частково корелює з рядом, що побудований за результатами експедиційних досліджень 2005 р.: Zn > Cu > Ni > Cd > Pb.

Одним з критеріїв допустимих рівнів вмісту металів у водних об'єктах є також виявлення кореляційних залежностей між інтенсивністю акумуляції гідробіонтів у екосистемі та їх концентрацією. Акумуляуючу здатність гідробіонтів зазвичай виражають коефіцієнтами біокумуляції (*K*), які відображують відношення вмісту будь-

якого елемента (у нашому випадку – важкого металу) в організмі до вмісту його в навколишньому середовищі (воді, ґрунті):

$$K = C_x / C_0,$$

де C_x і C_0 – концентрації металу в тканинах молюсків (мг/кг) і концентрації металу у воді (мг/дм³) чи донних відкладах (мг/кг) відповідно.

Отримані дані дозволили розрахувати коефіцієнти біоаккумуляції важких металів молюсками по відношенню до води (табл. 2) і до донних відкладів (табл. 3).

1. Вміст важких металів у воді, донних відкладах і м'яких тканинах двостулкових молюсків р. Дунай

Об'єкт дослідження	Вміст важких металів				
	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd
Вода, мг/дм ³	0,14 ± 0,03	0,035 ± 0,005	0,0018 ± 0,0005	0,015 ± 0,004	0,0005 ± 0,0002
Донні відклади, мг/кг	69 ± 26	30 ± 9	12 ± 5	43 ± 17	0,95 ± 0,38
Молюски Unio pictorum, мг/кг	32 ± 10	2,3 ± 0,9	1,2 ± 0,5	1,2 ± 0,5	0,37 ±
Молюски Anadonta cygnea, мг/кг	43 ± 17	2,2 ± 0,9	0,92 ± 0,37	1,1 ± 0,4	0,70 ± 0,28

2. Коефіцієнти біоаккумуляції металів у м'яких тканинах двостулкових молюсків (K_a – по відношенню до води)

Вид молюска	$K_{a(Zn)}$	$K_{a(Cu)}$	$K_{a(Pb)}$	$K_{a(Ni)}$	$K_{a(Cd)}$
Unio pictorum	229	66	667	80	740
Anadonta cygnea	307	63	511	73	1400

3. Коефіцієнти біоаккумуляції металів у м'яких тканинах двостулкових молюсків (K_d – по відношенню до донних відкладів)

Вид молюска	$K_{d(Zn)}$	$K_{d(Cu)}$	$K_{d(Pb)}$	$K_{d(Ni)}$	$K_{d(Cd)}$
Unio pictorum	0,46	0,08	0,10	0,03	0,4
Anadonta cygnea	0,62	0,07	0,08	0,03	0,7

Серед досліджених металів максимально високими значеннями коефіцієнтів біоаккумуляції по відношенню до води відрізняються Cd, Pb, Zn, мінімальними – Cu та Ni.

Аналіз результатів дозволив побудувати ряди накопичення важких металів для цих видів молюсків:

$$K_{Cd} > K_{Pb} > K_{Zn} > K_{Ni} > K_{Cu}.$$

Водні організми поділяють на групи за величиною коефіцієнтів біоаккумуляції, що розраховані відносно вмісту важких металів:

а) у воді – на макроконцентратори ($K_a > 15000$), мікроконцентратори ($10000 < K_a < 15000$) та деконцентратори ($K_a < 10000$);

б) у донних відкладах – на макроконцентратори ($K_d > 2$), мікроконцентратори ($1 < K_d < 2$) і деконцентратори ($K_d < 1$) [8].

Проведені дослідження підтверджують належність молюсків перлівниця (*Unio pictorum*) і беззубка (*Anadonta cygnea*) до деконцентраторів. Таким чином, молюски накопичують значні кількості важких металів. Коефіцієнти накопичення свідчать як про забруднення середовища цими металами, так і про доступність їх для гідробіонтів.

Висновки

Проведені дослідження свідчать, що двостулкові молюски є важливим об'єктом, за допомогою якого можна отримати більш повну характеристику екологічної ситуації у водному об'єкті.

Встановлено, що молюски накопичують значну кількість важких металів. Найбільш інтенсивно відбувається акумуляція кадмію, свинцю та цинку.

Розраховані коефіцієнти накопичення важких металів по відношенню до води і донних відкладів дозволяють віднести двостулкових молюсків *Unio pictorum* і *Anadonta cygnea* до деконцентраторів.

Молюски можуть слугувати індикаторами хронічного впливу антропогенних чинників на водні екосистеми.

1. Харченко Т. А. Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов / Т. А. Харченко и др. – К. : Наукова думка, 1993. – 325 с.
2. Васенко О. Г. Программа комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды при возобновлении глубоководного судового

- хода Дунай – Черное море: опыт реализации современных принципов мониторинга качества вод в Украине / *О. Г. Васенко, П. П. Станкевич* // Сб. научн. тр. Междунар. научно-практич. конфер. «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» (г. Алушта, 2005 г.) / УкрННІЕП. – Х. : Райдер, 2005. – Т. 1. – С. 237-246.
3. *Васенко О. Г.* Щодо наслідків виконання Програми комплексного екологічного моніторингу довкілля при відновленні та експлуатації глибоководного суднового ходу (ГСХ) Дунай – Чорне море / *О. Г. Васенко, М. Л. Лунгу* // Зб. наук. пр. IV Міжнар. наук.-практ. конфер. «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» / УкрНДІЕП. – Х. : Райдер, 2008. – Т. 1. – С. 297-300.
 4. *Коваленко М. С.* Применение атомно-абсорбционного анализа в мониторинге окружающей природной среды / *М. С. Коваленко, Е. А. Калиниченко, С. А. Кулак* // Сб. научн. тр. Междунар. научно-практич. конфер. «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» (г. Алушта, 2005 г.). – Х. : Райдер, 2005. – Т. 2. – С. 167-171.
 5. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов.
 6. ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов.
 7. *Юрченко Л. Л.* Особливості фазового вмісту важких металів в поверхневих водах української частини р. Дунай / *Л. Л. Юрченко, О. П. Мирошниченко* // Зб. наук. пр. IV Міжнар. наук.-практ. конфер. «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» (м. Алушта, 2011 р.). – Х. : Райдер, 2011. – Т. 1. – С. 282-286.
 8. *Никаноров А. М.* Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах / *А. М. Никаноров, А. В. Жулидов*. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 312 с.

Васенко А. Г., Кулак С.А. НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ГИДРОБИОНТАХ РЕКИ ДУНАЙ

*Исследованы возможные негативные экологические последствия биоаккумуляции тяжелых металлов в системе «вода – донные отложения – моллюски» украинского участка реки Дунай. Установлено, что моллюски *Unio pictorum* (L., 1758) и *Anadonta cygnea* (L., 1758) преимущественно накапливают кадмий, свинец и цинк. Рассчитаны коэффициенты накопления тяжелых металлов по отношению к воде и к донным отложениям. Определены пути миграции тяжелых металлов по трофическим цепям.*

Ключевые слова: *экологические последствия, тяжелые металлы, моллюски, донные отложения.*

**Vasenko A.G., Kulak S.A. ACCUMULATION OF HEAVY METALS
IN AQUATIC LIVES OF DANUBE RIVER**

*The possible negative ecological consequences of bioaccumulation of heavy metals are investigational in the system «Water – ground sedimentations – bivalves» the Ukrainian area of the river Danube. It is set that bivalves of *Unio pictorum* (L., 1758) and *Anadonta cygnea* (L., 1758) mainly accumulate a cadmium, lead and zinc. The coefficients of accumulation of heavy metals are expected in relation to water and to the ground sedimentations. The ways of migration of heavy metals are certain on trophy chains.*

Keywords: *ecological consequences, heavy metals, bivalves, ground sediments.*