

УДК : 574.587(262.5)+(546.48+546.66+546.815]

Заклецький О. А., Кадошніков В. М.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У БІОТИЧНІЙ СКЛАДОВІЙ БЕНТОСНИХ ЕКОСИСТЕМ АКВАТОРІЇ КАРАДАЗЬКОГО ЗАПОВІДНИКА

У статті висвітлено питання моніторингу важких металів у біотичній складовій бенталі акваторії Карадазького природного заповідника, а також: ретроспектива вивчення цього питання. Представлено сучасні результати, отримані автором у рамках комплексного дослідження морських екосистем заповідника.

Важкі метали є одними з найнебезпечніших забруднювачів довкілля, багато з яких можуть викликати гострі отруєння, інвалідність і навіть смерть людини. Для деяких чутливих видів кон-

центрація важких металів, яка може спричинити припинення росту й смерть, є ще нижчою. Таким чином, забруднення важкими металами природних екосистем зумовлює зменшення біо-

розмаїття екосистем та зменшення їх продуктивності [1].

З іншого боку, деякі живі організми є малочутливими до вмісту важких металів і можуть їх накопичувати у значній кількості. Це дає змогу використовувати вказані організми для моніторингу забруднення важкими металами. Однак далеко не всі види можна використовувати як монітори. Наприклад, досить складно використовувати організми, що стоять на вершині трофічної піраміди через здатність таких тварин до міграції на великі відстані. Неefективним було б використання не тільки рибоїдних птахів, таких як скопа, а й навіть хижих риб та ссавців, бо при їх використанні як біоіндикаторів ми отримуємо розмити узагальнену картину з усього ареалу їх проживання. Найкращим у даному випадку є використання малорухливих видів, або навіть видів, що стаціонарно мешкають на певній локалізованій території. Для водного середовища найкраще цим вимогам відповідають бентосні фільтратори - устриці та мідії. Ідея глобальної «мідійної вахти» активно розроблялася Скріппсовським океанографічним інститутом в Каліфорнії США та підтримувалася ЮНЕСКО починаючи з 70-х років ХХ ст. Основним об'єктом для моніторингу було обрано звичайну мідію *Mytilus edulis* як еврибонтний вид, що має широкий ареал та утворює численні популяції вздовж усіх берегів Європи та Північної Америки [1].

У Чорному морі знаходили 6 видів мітілід, що належать до 4 родів. З них 1 вид *Musculus marmoratus* знаходили тільки декілька разів у Прибосфорському районі. Мітілідами, які впевнено можна розрізнити та які постійно мешкають у Чорному морі, є: мідія чорноморська (*M. galloprovincialis*), мітілястер (*M. lineatus*), фазеоліна (*M. phaseolinus*), модіола адриатична (*M. adriaticus*) [2].

Оскільки *M. galloprovincialis* є атлантико-середземноморським низькобореально-субтропічним видом - мешкає вздовж атлантичного узбережжя Європи (до півдня Англії, Данських проток та Скандинавії) та Африки (до Зеленого мису, а також знайдено у Південній Африці) - саме цей вид бажано було б використовувати як біоіндикаторний об'єкт [2].

Такі постійні моніторингові дослідження проводилися протягом тривалого періоду, проте на нинішньому етапі вони зіткнулися з проблемою зникнення частини локальних популяцій *M. galloprovincialis*, а також зміною вікового стану природних популяцій цього виду. Наші дослідження показали зменшення сумарної біомаси мідійних банок навіть у порівняно чистому районі Карадазького природного заповідника більш ніж у 2 рази [3; 4]. А у багатьох районах спостерігається майже повне зникнення дорослої чорно-

морської мідії. Пояснюється цей феномен двома чинниками - хижацький вилов мідій людиною та активність виду-інтродуценту *Rapana tomasiana*. Особливо небезпечним є останній фактор - *R. tomasiana*, що, неконтрольовано розмножуючись, знищує популяції фільтраторів як на скелях, так і в мулі. На місці старих колоній, які було знищено *R. tomasiana*, не завжди відновлюється колонія мідій, а в разі відновлення такої колонії треба дуже багато часу для того, щоб відновити таку фільтраційну потужність, яка була у зрілої колонії [5; 6]. Окрім того, по молодих мідіях досить складно відстежувати баланс накопичення важких металів. Однак, попри всі наведені проблеми, чорноморська мідія залишається найзручнішим об'єктом моніторингу важких металів.

Водночас актуальним є пошук більш багаточисельних видів гідробіонтів - потенційних моніторів. Такими заміниками можуть стати макробентофіти - багатоклітинні донні водорості. Звичайно, далеко не всі макробентофіти можуть бути добрими біоіндикаторами. Водорості мають бути багаторічними, широкоареальними та масовими. Таким вимогам, зокрема, відповідають *Cystoseira crynita* та *C. barbata*, *Phyllophora nervosa*, *Cladophora sp.*, *Laurentia*.

Слід зазначити, що екологічний моніторинг забруднення світового океану в цілому та Чорного моря зокрема містить як моніторинг у районах високого антропогенного впливу, так і дослідження еталонних екосистем. Інакше кажучи, необхідним є вимір концентрацій важких металів не тільки поблизу міст і великих промислових центрів, а й у заповідних територіях [7].

Дослідження накопичення важких металів у гідробіонтах Чорного моря поки що мали нерегулярний характер. З іншого боку, не можна стверджувати, що дослідження взагалі не проводилися. Наприклад, з 1979 по 1983 рр. М. В. Крупіною з біологічного факультету МГУ було проведено масштабне дослідження концентрацій важких металів у макробентофітах Карадазького природного заповідника. Проби відбирали водолази на глибинах від 0 до 15 метрів, висушували при температурі 105 °С та визначали концентрації Mn, Cu, Zn, Fe, Pb, Ni, Co. Слід зазначити, що якщо у 1979 р. концентрації металів у водоростях розташовувалися в ряду Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Pb, то у 1980-1981 р. ряд виглядав так: Fe > Zn > Mn > Si > Ni > Pb, а у 1983 р. Манган майже у всіх водоростях за концентрацією домінував над Цинком. При цьому М. В. Крупіна зазначає, що, незважаючи на деякі коливання, істотні тенденції до збільшення чи зменшення концентрації металів у водоростях виявлено не було [8].

Окрім того, М. В. Крупіна стверджує, що концентрації Cu, Fe, Zn найменші у зелених

водоростях. Більше за все цинку в червоних водоростях (у 4-Ю разів більше, ніж у бурих). *Gracilaria s.* та *Phyllophora nervosa* значно накопичують Манган. *Cladophora albida* та *S. sericea* містять у 3-5 разів більше Феруму, ніж інші водорості [9]. Своєю чергою, К. С Бурдін, Е. Ю. Золотухіна, Є. Є. Гавріленко стверджують, що менш за все варіюють концентрації Мангану та Цинку для всіх відділів водоростей, незважаючи на їх концентрації у довкіллі. Червоні та бурі водорості ефективно регулюють накопичення Мангану та Купруму, проте концентрації Кадмію та Нікелю слабко регулюються фізіологічним бар'єром, тому ці метали досить ефективно накопичуються в талломах водоростей. На основі своїх досліджень К. С Бурдін, Е. Ю. Золотухіна, Є. Є. Гавріленко рекомендують використовувати для моніторингу рівня Mn, Cu, Pb зелені водорості, а для контролю Cd та Ni - бурі водорості.

Діапазон концентрацій та середні значення у пробах М. В. Крупіної наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Концентрація важких металів у макрофітах Кара-Дагу у 1984 р. [8].

	Mn	Cu	Zn	Fe	Pb	Ni	Co
Min (нг/г сухої ваги)	6	3	4	77	0,01	1,1	0,3
Max (нг/г сухої ваги)	198	24	64	843	3,9	11,3	8,5
Середнє значення, нг/г	64	8	26	317	0,4	5,4	2,1

Цікаво ці дані порівняти з концентраціями металів у чорноморській мідії *Mytilus galloprovincialis*, які вимірювали у 1981-1982 рр. у районі Карадазького природного заповідника Д. С. Парчевська та Д. К. Міхальюнок. Для вимірювання відбиралися мідії розміром 40-50 мм, які діставали з глибини 0,5-1 м на місі Чалка [7]. Дослідники отримали дані про вміст металів на грам золи (див. табл. 2).

Таблиця 2. Концентрація важких металів у мідіях Карадазького заповідника у 1981-1982 рр. [7]

	Zn	Cu	Mn	Co	Fe	Pb	K	Na
Min (мкг/г)	0,69	0,19	0,05	0,04	1,02	0,3	0,74	41,24
Max (мкг/г)	1,87	1,04	1	0,16	3,24	0,64	23,15	197
Середнє значення (мкг/г)	1,275	0,422	0,312	0,075	2,015	0,402	14,38	119,257

Слід зазначити, що Т. М. Авдеева та В. Д. Третьякова на основі багаторічних дослідів вивели наступну послідовність, яка відзеркалює зменшення вмісту металів у Чорному морі [10]:

$$Fe > Zn > Cu > Ni > Cd > Cr > Pb.$$

Для 2003 р. нами було проведено відбір мідій на території Карадазького заповідника починаючи від смт Курортне та закінчуючи гротом Ревучий. Окрім того, було відібрано цілий ряд водоростей та проведено аналіз отриманих об'єктів на важкі метали. Відбір здійснювали в стаціонарних точках відбору проб з глибин від 0 до 15 м, проводили геоботанічний якісний та кількісний просторовий аналіз фітоценозів за методом, що використовували для досліджень А. А. Калугіна-Гутнік та Н. С Костенко [11-13]. Найбільш масові види водоростей було відібрано та висушено при температурі до 105 °С, після чого спалено в муфельній печі за наявності хімічно чистої азотної кислоти з доведенням температури до 450 °С та подальшим вимірюванням інверсійним ампервольтметром АВА-1 (метод полярографії). Результати вимірювань вмісту Кадмію, Плюмбуму та Купруму, отримані нами, наведено у таблицях 3 (водорості) та 4 (мідії).

Таблиця 3. Концентрація Cd, Pb, Cu для *Cystoseira crinita*

	Min	Max	Середнє
Cd (мкг/г)	$1,9625 \times 10^{-6}$	6×10^{-6}	$5,5725 \times 10^{-6}$
Pb (мкг/г)	$0,53 \times 10^{-3}$	$2,4875 \times 10^{-3}$	$1,449 \times 10^{-3}$
Cu (мкг/г)	$1,6625 \times 10^{-3}$	$8,575 \times 10^{-3}$	$5,032 \times 10^{-3}$

Таблиця 4. Концентрація Cd, Pb, Cu для *Mytilus galloprovincialis*

	Min	Max	Середнє
Cd (мкг/г)	$1,804078 \times 10^{-2}$	$25,5263158 \times 10^{-2}$	$7,693285 \times 10^{-2}$
Pb (мкг/г)	$4,264323 \times 10^{-3}$	$179,973822 \times 10^{-3}$	$36,236612 \times 10^{-3}$
Cu (мкг/г)	$1,0688 \times 10^{-3}$	$50,918197 \times 10^{-3}$	$8,235984 \times 10^{-3}$

Порівняння отриманих даних щодо концентрацій Pb та Cu із даними вісімдесятих років показує, що принципових змін у їх концентраціях не відбулося [7; 8].

Дослідження концентрації Кадмію у тканинах гідробіонтів із природного середовища акваторії Карадазького природного заповідника нами проведено вперше. Більшість попередніх досліджень переважно стосувалися накопичення кадмію в різних органах гідробіонтів в умовах експерименту та його впливу на різні біохімічні процеси в організмі [9]. Досліджені також концентрації Плюмбуму та Купруму у донних відкладах і тканинах рапан, а також мушлях мідій. Вимірювання проводили на базі Інституту геохімії довколишнього середовища НАН та МНС України (див. табл. 5).

Таблиця 5. Концентрації важких металів у *Rapana tomasiana*, мулі та в мушлях мідії (наведено усереднені дані)

	Си	РЬ
Рапана (мкг/г)	0,35	0,1
Мул (мкг/г)	5,63	4,38
Мушлі (мкг/г)	2	0,2

Отже, можна дійти висновку, що зменшення різноманіття та біомаси макробентофітів у акваторії

1. Куллини Д.ж. Леса моря / Пер. с англ. - Л.: Гидрометеоздат, 1981.
2. Митилиды Черного моря / В. Е. Заика, Н. А. Валовая, А. С. Повчун, Н. К. Ревков, отв. ред. В. Е. Заика; АН УССР. Ин-т биологии южных морей им. А. О. Ковалевского. - К.: Наук, думка, 1990.
3. Смирнова Ю. Д., Глибина Н. А., Кондратьева Е. Н., Заклецкий А. А. Исследование экологического состояния акватории заповедника и прилегающих районов // Летопись природы Карадага 2003 г. - Симферополь: СОНАТ, 2005. - Т. 20. - С. 30-35.
4. Смирнова Ю. Д., Марченко В. С, Смирнов Д. Ю. Состояние моллюсков в акватории Карадагского заповедника // Материалы III научной конференции «Заповедники Крыма: заповедное дело, биоразнообразие, экообразование». - Симферополь, 2005. - Т. 2. - С. 72-77.
5. Зайцев Ю. П. Твой друг море: Очерк. - 3-е изд., перераб. и доп. - Одесса: Маяк, 1985.
6. Чухчин В. Д. Экология брюхоногих моллюсков Черного моря. - К.: Наук, думка, 1984.
7. Парчевская Д. С, Михалёнок Д. К. Мидия как тест-объект для контроля загрязнения окружающей среды // Летопись природы Карадага 1984 г. - Т. 4.
8. Крупина М. В. Содержание тяжелых металлов в макрофитах заповедника Карадаг // Тезисы III всесоюзной конфе-

Карадазького природного заповідника не пов'язане із впливом на цю екосистему важких металів.

- ренции по морской биологии. Севастополь, октябрь 1988 г. - Киев, 1988. - 4. 2. - С. 168-169.
9. Бурдин К. С, Крупина М. В. Накопление тяжелых металлов макрофитами в экспериментальных условиях // Тезисы III всесоюзной конференции по морской биологии. Севастополь, октябрь 1988г. - Киев, 1988. - Ч. 2. - С. 174-177.
10. Авдеева Т. М, Третьякова В. Д. Мидиевый контроль токсических веществ прибрежных районов Чёрного моря // Тезисы III всесоюзной конференции по морской биологии. Севастополь, октябрь 1988 г. - Киев, 1988. - Ч. 2. - С. 57-59.
11. Калугина-Гутник А. А. Изменения донной растительности района Карадага за период 1970-1980 гг. // Многолетняя динамика структуры прибрежных экосистем Черного моря. - Краснодар: Изд-во Кубанского ун-та, 1984. - С. 85-96.
12. Костенко Я. С. Картирование фитобентоса акватории Карадагского природного заповедника АН УССР (Чёрное море) // Бот. Журн.- 1988.-Т. 73. - № 11. - С. 1590-1596.
13. Костенко Н. С, Дикий Е. А. Изменения растительности акватории Карадагского природного заповедника НАН Украины за период 1970-2002 гг. / Екологічні проблеми Чорного моря: 36. матеріалів до 4-го Міжнар. Сипозіуму, 31 жовтня - 1 листопада, 2002 р., Одеса / Одеськ. Центр наук.-техніч. та економіч. інформації; Ред. кол. Г. Г. Мінічева, Б. М. Кац. - Одеса: ОЦНТЕ1, 2002.

O. Zakletsky, V. Kadoshnikov

INVESTIGATION OF CONCENTRATION OF HEAVY METALS IN BIOTICAL COMPONENT OF BENTOS ECOSYSTEMS OF KARADAG NATURAL RESERVE WATER AREA

Questions of the monitoring of heavy metals in biotical component of the benthos ecosystems of water area of Karadag Natural Reserve are developed in the article. Also retrospective of research of the question is shown there and modern results which were received by the author in a frame of complex research of marine ecosystems of the reserve are discussed.