

УДК 574.64

Ткаченко Ф. П., канд. біол. наук, доц., докторант
Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова, кафедра ботаніки,
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65026, Україна

ВАЖКІ МЕТАЛИ (Cd, Cu) І ФІЗІОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ВОДРОСТЕЙ-МАКРОФІТІВ (НА ПРИКЛАДІ CLADOPHORA VAGABUNDA (L.) НОЕК)

З'ясовано, що важкі метали Cd і Cu проявляють альготоксичну дію: пригнічують процес фотосинтезу, але активують процес дихання; змінюють кількісні характеристики і співвідношення зелених та жовтих пігментів в бік зростання частки каротиноїдів; зменшують кількість новоутворених життєздатних проростків водорості. Більш токсичним є Cu, а менш — Cd.

Ключові слова: важкі метали, фотосинтез, дихання, пігменти, розмноження

Відомо, що важкі метали є досить поширеним компонентом забруднення навколишнього середовища, у тому числі і Світового океану [1]. Районом нашого дослідження є північно-західна частина Чорного моря, яка являє собою один із найбільш нестабільних в екологічному відношенні морських регіонів [2]. Тут рееструються такі поллютанти як нафта і нафтопродукти (їх вміст перевищує ГДК в 1,5 - 3,0 рази), стійкі хлорорганічні пестициди ДДТ і ГХЦГ та їх метаболіти (рееструються в 75-80 % проб). У донних відкладах постійно виявляються важкі метали (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Pb, Cd, As). Індекс загального забруднення в прибережних акваторіях цього району змінюється в межах IV - V класів, тобто вони є брудними, а в деяких випадках (акваторіях) і гранично брудними [3]. Серед важких металів одними з найбільш токсичних вважаються Cd і Cu. [4].

Cd надходить в атмосферу при спалюванні усіх видів викопного палива, переноситься повітряними течіями і разом з опадами потрапляє у водне середовище. Cu відноситься до халькофільних металів і його виявляють у сульфідних осадах разом з Cd і Pb. Відносно впливу різних видів забруднення на гідробіонтів існує численна література [5, 6, 7 та ін.]. Біотестування проводиться в основному на мікрowodоростях та безхребетних водних тваринах [1, 4], які вважаються більш чутливими до забруднення. Менше уваги надається водоростям-макрофітам [5], віднесеним до більш токсикорезистентних організмів.

Проте помітне скорочення видового різноманіття водоростей-макрофітів в окремих районах північно-західної частини Чорного моря [8] і здатність водоростей до накопичення важких металів [7] свідчить про те, що цей вид забруднення є, очевидно, однією з причин деградації макрофітобентосу. Відомо, що забруднення екосистем негативно впливає на метаболітні процеси водних рослин [5], що призводить до зниження їх продуктивності.

Метою наших досліджень була оцінка фізіологічної реакції водоростей-макрофітів (на прикладі зеленої нитчастої водорості *C. vagabunda*) на забруднення водного середовища важкими металами Cd і Cu.

Матеріали і методи

Досліджувана нами зелена водорість *C. vagabunda* широко розповсюджена в прибережних акваторіях північно-західного району Чорного моря, де відіграє важливу роль у донних біоценозах. По відношенню до забруднення вона належить до домінуючої тут групи мезосапробних організмів. *C. vagabunda* досить толерантна до умов лабораторного культивування [9] і зручна для проведення токсикологічних досліджень.

Досліди ставили в лабораторних умовах в чашках Петрі, а також у скляних судинах об'ємом 1 л з притертими кришками. Використовували розчини солей CdCl₂ і CuCl₂ з концентраціями іонів металів 0,01 мг/л, 0,1 мг/л і 1,0 мг/л, що відповідають 0,5, 1 і 10 ГДК (гранично допустимі концентрації для рибогосподарських цілей). Аніон Cl⁻ — звичайний компонент морської води, його концентрація у використаних розчинах є незначною і не може впливати на якість води. Згідно нормативних документів, ГДК для Cl⁻ дорівнює 300 мг/л [10]. Токсичність важких металів оцінювали за такими параметрами: інтенсивністю фотосинтезу і інтенсивністю дихання за методом Вінклера [11], вмісту хлорофілів і суми каротиноїдів [12], ефективністю відтворення водорості (за кількістю прикріплених і пророслих на предметних скельцях зооспор) [9].

Отримані цифрові дані опрацьовані методами біологічної статистики [13].

Результати та їх обговорення

Інтенсивність фотосинтезу (ІФ). За впливом на інтенсивність фотосинтезу водорості досліджувані важкі метали Cd і Cu виявилися високотоксичними. Так, за їх концентрації 0,01 мг/л і експонуванні водорості протягом 1 год дані політанти пригнічували процес фотосинтезу у порівнянні з контролем у 2,6 - 3,2 рази (табл. 1). Із зростанням експозиції і концентрації токсикантів спостерігали подальше зниження інтенсивності фотосинтезу, який через 2 - 3 години з початку досліду повністю був відсутній за концентрації важких металів 1,0 мг/л. Згідно літературних джерел [5], це явище можна пояснити адсорбцією важких металів на поверхні клітин з наступним порушенням бар'єрних функцій мембран, проникненням токсикантів у клітини і зниженні фотохімічної активності пігментів. Іони досліджуваних металів за своєю дією створили так званий парадоксальний ефект [10], суть якого полягає в тому, що менші концентрації токсикантів впливають на водорості сильніше, ніж більш високі. Проте за подальшого збільшення концентрації токсикантів їх дія знову посилюється.

Інтенсивність дихання (ІД). Встановлено, що із збільшенням концентрації важких металів і тривалості експозиції закономірно наростає процес

поглинання кисню клітинами водорості (табл. 2). Особливо помітно це проявилось за тривалості експозиції 1 год: інтенсивність дихання за цей проміжок часу зростала у 2,5 - 4,5 рази. Більш значну альгіцидну дію на *C. vagabunda* спричиняли йони міді.

Таблиця 1

**Вплив іонів Cd і Cu на інтенсивність фотосинтезу *C. vagabunda*,
мг O₂/г × год**

Експозиція, год.	Варіанти дослідів						
	Контроль	Cd, мг/л			Cu, мг/л		
		0,01	0,1	1,0	0,01	0,1	1,0
1	2,16±0,42	0,81±0,23	1,08±0,14	0,27±0,11*	0,81±0,21	1,21±0,00	—
2	2,12±0,41*	0,18±0,07*	0,53±0,12*	—	0,53±0,16*	0,38±0,19*	—
3	2,11±0,41*	0,19±0,00*	0,38±0,18*	—	—	—	—

Примітка: * — різниця достовірна у порівнянні з контролем; “—” — фотосинтез відсутній

Таблиця 2

**Вплив іонів Cd і Cu на інтенсивність дихання *C. vagabunda*,
мг O₂/г × год**

Експозиція, год.	Варіанти дослідів						
	Контроль	Cd, мг/л			Cu, мг/л		
		0,01	0,1	1,0	0,01	0,1	1,0
1	0,50±0,16	1,25±0,21	2,08±0,43*	2,27±0,55*	1,25±0,29	2,78±0,61*	—
2	0,91±0,31	1,04±0,33	0,99±0,28*	1,32±0,36*	1,07±0,27	1,05±0,24	—
3	0,92±0,22	0,98±0,25	0,93±0,17	1,56±0,32	1,13±0,17	1,08±0,12	—

Примітка: * — достовірно у порівнянні з контролем; “—” — дихання відсутнє.

Певний позитивний вплив іонів Cd і Cu спостерігається лише за концентрації металів, рівній 0,1 мг/л (ГДК). В цьому випадку, очевидно, проявляється їх роль як біогенних мікроелементів.

Відомо [4], що інтенсивність фотосинтезу водоростей залежить від вмісту пігментів та їх фотосинтетичної активності. Нами встановлено, що Cd за концентрації 0,01 мг/л сприяв збільшенню на 29,5 % (у порівнянні з контролем) вмісту хлорофілу *a*. За такої ж концентрації Cu вміст цього пігменту зменшувався (табл. 3).

Така ж тенденція зберігалась і при збільшенні концентрації токсикантів до 1 мг / л: Cd спричиняв підвищення рівня вмісту хлорофілу *a* на 16,2 %, а Cu — його зниження на 27,7 %. Концентрація токсикантів, що дорівнювала 1,0 мг / л, виявилась летальною для даного виду водоростей. Відомо, що в нормі вміст хлорофілу *b* корелює з таким же показником щодо хлорофілу *a*. Проте досліджувані важкі метали істотно впливали на ці співвідно-

шення. З'ясовано, що під впливом токсикантів змінюється співвідношення зелених пігментів: за дії Cd доля хлорофілу *a* збільшується, а за впливу Cu — різко зменшується у порівнянні з контролем (табл. 3). Слід зауважити, що з підвищенням у середовищі концентрації досліджуваних важких металів зростає протекторна роль каротиноїдів [9], а тому їх кількість збільшується і, відповідно, зменшується величина співвідношення суми хлорофілів до суми каротиноїдів (табл. 3).

Таблиця 3

Вплив іонів Cd і Cu на вміст пігментів (мг/г сирової маси) і співвідношення останніх у клітинах *C. vagabunda*

Варіанти дослідів	Хлорофіли				Каротиноїди	Chl <i>a+b</i> каротиноїди
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	<i>a/b</i>		
Контроль	1,48 ± 0,01	1,09 ± 0,01	2,57	1,35	0,50 ± 0,01	5,10
Cd, мг/л:						
0,01	1,91 ± 0,02	1,23 ± 0,02	3,14	1,55	0,52 ± 0,01	6,04
0,1	1,72 ± 0,01	1,18 ± 0,01	2,90	1,45	0,53 ± 0,01	5,47
1,0	—	—	—	—	—	—
Cu, мг/л:						
0,01	1,13 ± 0,02	1,40 ± 0,02	2,53	0,80	0,56 ± 0,02	4,51
0,1	1,07 ± 0,02	1,28 ± 0,01	2,35	0,83	0,58 ± 0,01	4,05
1,0	—	—	—	—	—	—

Примітка: “—” — водорості загинули

Проведені дослідження свідчать про те, що важкі метали негативно впливають не тільки на фізіологічні процеси у дорослих рослин, але й пригнічують їх репродуктивні функції (табл. 4).

Таблиця 4

Вплив іонів Cd і Cu на формування життєздатних паростків *C. vagabunda*, екз/см²

Концентрація токсикантів, мг/л	Cd	Cu
0,00	204 ± 30	204 ± 30
0,01	166 ± 14	162 ± 21
0,10	58 ± 9	45 ± 7
1,00	27 ± 4	20 ± 3

Таким чином, реакцією макроводоростей на забруднення водного середовища важкими металами є зміни їх функціонального стану, які полягають у пригніченні процесу фотосинтезу, кількісній та функціональній перебудові пігментного комплексу і посиленні процесу дихання, що узгоджується з відомими даними літератури [4].

Слід зазначити, що досліджувані важкі метали виявляли суттєву гальмівну дію на початкові етапи розвитку тестованої водорості (зменшувалась кількість новоутворених життєздатних паростків).

Отже, досліджувані важкі метали в комплексі з іншими забруднювачами водного середовища [4, 6] негативно впливають на водорості-макрофіти і є однією з причин збіднення видового складу макрофітобентосу.

Література

1. Брагинский Л. П. Методические аспекты токсикологического биотестирования на *Daphnia magna* Str. и других ветвистых ракообразных (критический обзор) // Гидробиол. журн. — 2000. — Т. 36, № 5. — С. 50-70.
2. Виноградов М. Е. Современные тенденции изменения экосистемы Черного моря // Вестник АН СССР. — 1987. — № 10. — С. 50-68.
3. Piyin Y. P., Klimentenko N. P., Ryabinin A. I. The Black Sea coastal waters pollution in the period of 1990-2000 on monitoring materials of Ukrainian marine hydrometeorological units // International symposium "The Black Sea ecological problems": Coll. scient. art. — Odessa: SCSEIO, 2000. — P. 91-95.
4. Патин С. А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. — М.: Пищевая промышленность, 1979. — 304 с.
5. Клоченко П. Д., Медведь В. А. Влияние Pb и Cu на некоторые показатели жизнедеятельности зеленых и сине-зеленых водорослей // Гидробиол. журн. — 1999. — Т. 35, № 6. — С. 52-62.
6. Миронов О. Г. Биологические проблемы нефтяного загрязнения морей // Гидробиол. журн. — 2000. — Т. 36, № 1. — С. 82-96.
7. Христофорова Н. К., Айздайчер Н. А., Березовская О. Ю. Действие ионов меди и детергентов на зеленые микроводоросли *Dunaliella tertiolecta* и *Platymonas sp.* // Биология моря. — 1996. — Т. 22, № 2. — С. 114-119.
8. Ткаченко Ф. П. Макрофитобентос Одесского залива Черного моря и его динамика // Альгология. — 2001. — Т. 11, № 1. — С. 115-121.
9. Ткаченко Ф. П. Особенности биологии *Cladophora vagabunda* (L.) Høek (*Chlorophyta*) // Альгология. — 1991. — Т. 1, № 4. — С. 23-28.
10. Ольхович О. П., Смирнова Н. М. Газообмін вищих водяних рослин під впливом надлишку іонів Cu, Fe, Cr і Ni // Укр. ботан. журн. — 1994. — Т. 51, № 2/3. — С. 95-103.
11. Руководство по химическому анализу вод суши / Алекин О. А., Семенов А. Д., Скопинцев Б. А. — Л.: Гидрометеоздат, 1973. — 269 с.
12. Виктор Д. П. Малый практикум по физиологии растений. — М.: Высшая школа, 1969. — 121 с.
13. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике. — Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1984. — 287 с.

Ткаченко Ф. П.

Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова, кафедра ботаники, ул. Дворянская, 2, Одесса, 65026, Украина

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ (Cd, Cu) И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДРОСЛЕЙ-МАКРОФИТОВ (НА ПРИМЕРЕ *CLADOPHORA VAGABUNDA* (L.) НОЕК)

Резюме

Выяснено, что тяжелые металлы Cd и Cu проявляют альготоксическое действие: ингибируют процесс фотосинтеза, но активируют процесс дыхания; изменяют ко-

личественные характеристики и отношение зеленых и желтых пигментов в сторону увеличения доли каротиноидов; уменьшают количество новообразованных жизнеспособных проростков водоросли. Более токсичным является Cu, а менее — Cd.

Ключевые слова: тяжелые металлы, фотосинтез, дыхание, пигменты, размножение.

Tkachenko F. P.

Odessa National University, Department of Botany
Dvoryanskaya St., 2, Odessa, 65026, Ukraine

**THE HARD METALS (Cd, Cu) AND FISIOLOGICAL FUNCTIONS OF
SEAWEEDS-MACROPHYTES (FOR EXAMPLE *CLADOPHORA*
VAGABUNDA (L.) HOEK)**

Summary

The toxical action of the hard metals Cd and Cu has been established: the process of photosynthesis is inhibited, but the process of respiration opportunity is activated; the quantity characteristics and negotiation of green and yellow pigments are changed in the direct of increasing of the part of carotenoids; the quantity of new-formated germinates are decrease. Cu is the most of all toxical and Cd is the least of all.

Key words: hard metals, photosynthesis, respiration, pigments, germling.