

ОЦІНКА ЗДАТНОСТІ ЗЕЛЕНИХ НИТЧАСТИХ ВОДОРОСТЕЙ ДО ОЧИСТКИ ВОДИ ВІД ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

О. О. ПАСІЧНА, кандидат біологічних наук,
старший науковий співробітник
Інститут гідробіології НАН України
E-mail ecopasichna@gmail.com

О. О. ГОДЛЕВСЬКА, кандидат фізико-математичних наук, доцент
**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**
E-mail godlevok@ukr.net

Анотація. Забруднення водного середовища важкими металами – серйозна екологічна проблема, для вирішення якої постає необхідність пошуку ефективних, доступних і дешевих методів його очистки, зокрема з використанням гідробіонтів.

Мета даного дослідження – визначення здатності до акумуляції важких металів розповсюдженими у водоймах України зеленими нитчастими водоростями (*Cladophora glomerata* (L.) Kütz. і *Oedogonium cardiacum* (Hass.) Wittr.) та оцінка можливості їх використання для очистки води. Визначення накопичення металів водоростями проводили методом атомно-адсорбційної спектрофотометрії.

Одержані результати свідчать про високу накопичувальну здатність *Cladophora glomerata* та *Oedogonium cardiacum* щодо йонів міді і мангану. Зі збільшенням концентрації Cu^{2+} і Mn^{2+} у водному середовищі відбувається майже пропорційне збільшення вмісту металів у досліджуваних водоростях. Поряд зі здатністю до накопичення значної кількості металів, нитчасті водорості *Cladophora glomerata* та *Oedogonium cardiacum* є достатньо стійкими до їх дії. У зв'язку з цим, ці види водоростей можна рекомендувати для видалення металів з водного середовища зі значним рівнем забруднення, зокрема, для доочистки стічних вод.

Ключові слова: важкі метали, мідь, манган, нитчасті водорості, акумуляція, очистка води

Актуальність. Швидкі темпи урбанізації, індустріалізації, надмірне використання добрив і пестицидів призвело до забруднення землі та водних ресурсів важкими металами. На відміну від більшості органічних речовин, метали не можуть бути трансформовані й деградовані, тому акумулюються у воді, ґрунті, донних відкладах і живих організмах [7]. У таких умовах постає необхідність пошуку ефективних, доступних і дешевих методів очистки водного середовища від надлишку металів.

Традиційно під час очистки стічних вод застосовують фізико-хімічні та біологічні методи, головним чином, з використанням активного мулу, що не призводить до досягнення стабільних залишкових концентрацій забруднюючих речовин. У зв'язку з цим, для доочистки таких вод застосовують різні системи з використанням як окремих гідробіонтів, так і їх угруповань [2]. Тому постає необхідність виявлення тих видів гідрофітів, які є поширеними у водоймах, мають здатність до накопичення значної кількості металів і достатню стійкість до їх дії, та можуть бути використані для очистки води.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існує низка досліджень, які показують здатність різних видів водяних макрофітів до накопичення важких металів із забруднених природних, стічних вод та донних відкладів, що призводить до зменшення негативного впливу цих токсикантів на компоненти водних екосистем [6, 7, 9].

Рекомендовано використання водяних макрофітів у системі моніторингу забруднення водного середовища важкими металами та очищення природних водойм і стічних вод [8, 9]. Зокрема у праці [8] для видалення важких металів із забрудненого водного середовища автори рекомендують використовувати *Ceratophyllum demersum*, який здатний накопичувати значні кількості Cr, Fe і Ni. Виявлено здатність вилучати з води значну кількість кадмію (Cd), свинцю (Pb), цинку (Zn) і міді (Cu) водяними макрофітами *Lemna minor*, *Elodea canadensis*, *Leptodictyum riparium*, у зв'язку з чим, можливе їх використання з метою фітореMediaції стічних вод [6]. У праці [9] рекомендовано використання *Najas marina*, *Ceratophyllum demersum* і *Vallisneria spiralis* для видалення важких металів з евтрофних водойм.

Мета дослідження – виявлення тих видів нитчастих водоростей, які ефективно акумулюють метали з водного середовища, що призводить до зменшення їх концентрації, а, отже, до очистки води. Це визначало необхідність дослідження здатності до накопичення важких металів розповсюдженими у водоймах України видами зелених нитчастих водоростей і встановлення кореляції між вмістом металів у рослинних організмах та їх концентрацією у воді.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктами досліджень були зелені нитчасті водорості кладофора (*Cladophora glomerata* (L.) Kütz.) і едогоніум (*Oedogonium cardiacum* (Hass.) Wittr.).

Зелені нитчасті водорості вирощували на розведеному в 20 разів середовищі Успенського № 1 [3]. Водорості вирощували за температури $20 \pm 2^\circ\text{C}$ і комбінованого освітлення лампами розжарювання і денного світла протягом 14 год/добу; рН середовища вимірювали за допомогою іономіра ЭВ-74.

Для дослідження впливу йонів металів (на прикладі йонів міді та мангану) на водорості їх поміщали в скляні акваріуми з водним середовищем (без додавання фосфатів і карбонатів, з якими йони металів утворюють нерозчинні солі, та мікроелементів), приготуванням на основі відстояної водопровідної води з розрахунку: 2 г сирової маси : 3 дм³ води. У водне середовище додавали мідь ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) у концентрації

0,5, 2, 5, 10 і 20 мкг/дм³ (за йонами Cu²⁺) і манган (MnSO₄·5H₂O) – 5, 20, 50, 100 і 200 мкг/дм³ (за йонами Mn²⁺) окремо і сумісно. Фоновий вміст міді у воді становив 0,14±0,05 мкг/дм³, мангану – 0,24±0,02 мкг/дм³.

Експериментальні дослідження тривали 14 діб (зі зміною розчину на сьому добу). Контрольними були водорості, витримані в ідентичних умовах, проте без додавання йонів металів.

Визначення накопичення металів водоростями проводили атомно-адсорбційним методом [4]. Кількість акумульованих рослинами металів розраховували в мікрограмах на 1 г сухої маси.

Усі досліди проводили у 4–5 повторностях. Одержані результати опрацьовано статистично з використанням спеціальних комп'ютерних програм.

Результати досліджень та їх обговорення. Результати досліджень свідчать, що зі збільшенням концентрації Cu²⁺ у водному середовищі вміст міді в едогоніумі збільшується вже через добу. Через два тижні впливу 0,5–20 мкг/дм³ Cu²⁺ вміст міді у водоростях був більшим, ніж через добу, і перевищував в 1,3–11,3 раза контрольний рівень (рис. 1, а).

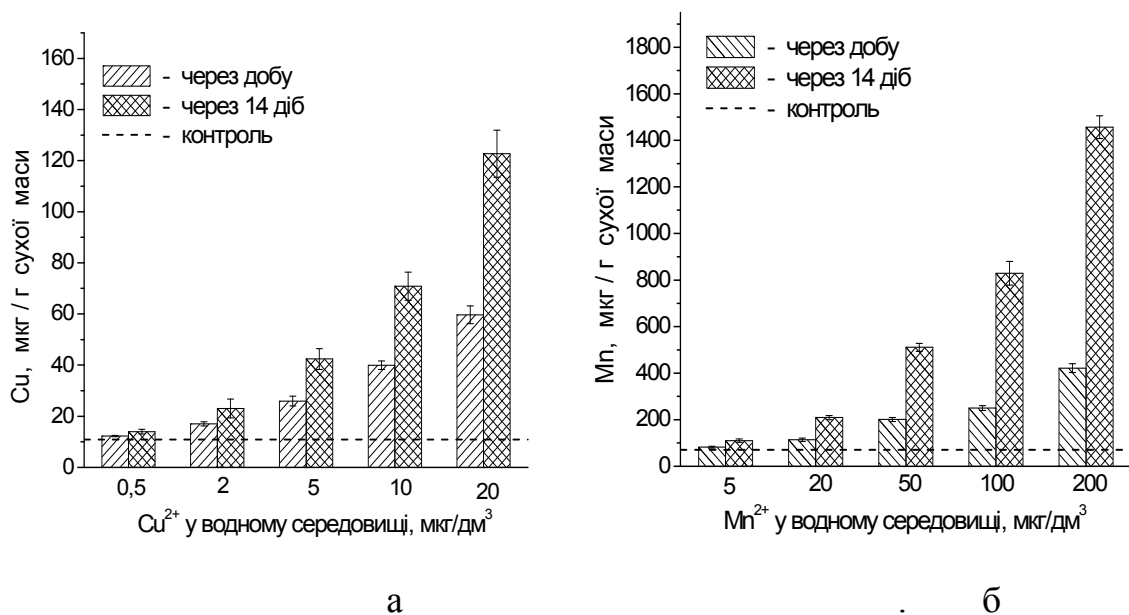


Рис. 1. Накопичення міді (а) і мангану (б) *Oedogonium cardiacum* при підвищенні концентрації йонів металів у водному середовищі (M±m, n=4–5)

Дія йонів марганцю в концентрації від 5 до 200 мкг/дм³ на едогоніум через 24 год призводить до збільшення вмісту металу в водоростях від 1,2 до 6,1 раза порівняно з контролем. При подовженні експозиції до 14 діб вміст металу в едогоніумі зростає в 1,5–19,9 раза порівняно з контрольним (рис. 1, б).

Кладофора накопичує більшу кількість міді і марганцю, ніж едогоніум. Так, за дії 0,5–20 мкг/дм³ Cu²⁺ вміст міді в її таломі через добу підвищується в 1,2–6,2 раза, через 2 тижні – в 1,4–12,4 раза порівняно з контролем (рис. 2, а). При впливі 5–200 мкг/дм³ Mn²⁺ на кладофору через 24 год вміст мангану в водоростях збільшується в 1,3–10,1 раза, через 14 діб – в 1,9–24,0 раза відносно контрольного рівня (рис. 2, б).

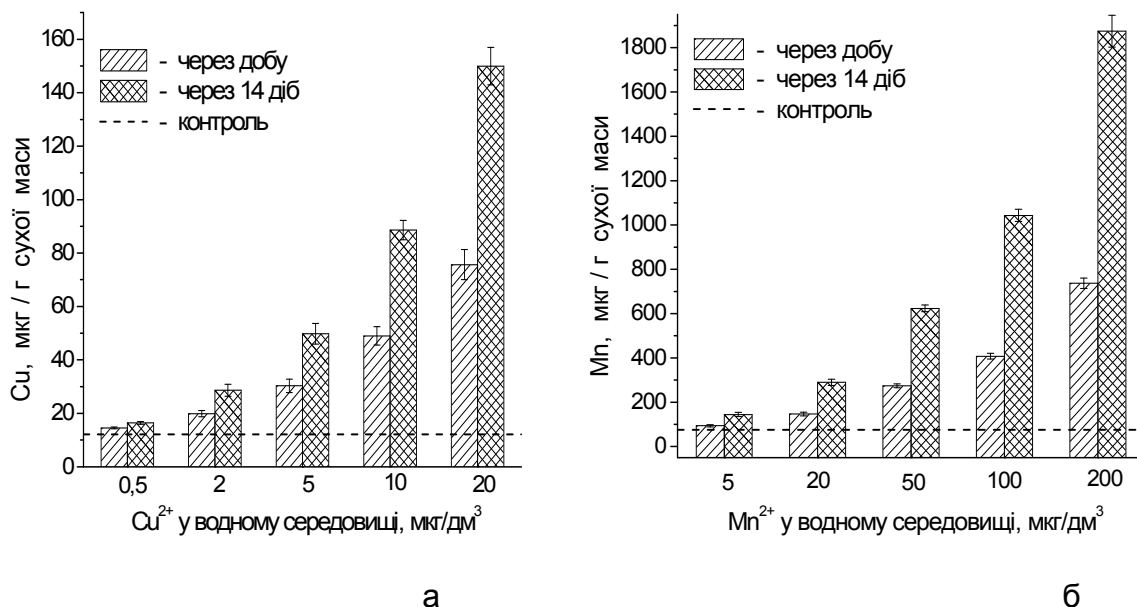


Рис. 2. Накопичення міді (а) і мангану (б) *Cladophora glomerata* при підвищенні концентрації йонів металів у водному середовищі ($M \pm m$, $n=4-5$)

Висновки і перспективи. Одержані результати свідчать про високу накопичувальну здатність зелених нитчастих водоростей *Cladophora glomerata* та *Oedogonium cardiacum* щодо йонів міді та мангану. Зі збільшенням концентрації Cu^{2+} і Mn^{2+} у водному середовищі спостерігається майже пропорційне збільшення вмісту металів як в едогоніумі, так і в кладофорі.

Загалом нитчасті водорості накопичували більше металів, ніж вищі водяні рослини, зокрема *Elodea canadensis* Michx. і *Ceratophyllum demersum* L. [5]. Відомо, що клітинні оболонки водоростей складаються головним чином із полісахаридів і не є серйозною перешкодою для проникнення металів до мембрани. Вакуолі нитчастих водоростей мають великий розмір і завдяки цьому виконують просторову функцію, завдяки чому відносна асиміляційна поверхня клітин збільшується в 4–5 разів [1]. Відомості про значний ступінь акумуляції біогенних елементів зеленими нитчастими водоростями зустрічаються і в літературних джерелах. Так, у праці [1] показано, що фактично тільки такі повітряно-водяні рослини, як очерет і рогіз, можуть поглинати більше біогенних елементів, ніж нитчасті водорості.

Для видалення металів з водного середовища зі значним рівнем забруднення рекомендують використовувати ті види водяних рослин, які одночасно зі здатністю до накопичення значної кількості металів є стійкими до їх дії, оскільки загибель і відмирання рослинних організмів призводить до вторинного забруднення води. Особливо це стосується стічних вод, у яких концентрації йонів металів досягають істотних значень. Оскільки поряд зі здатністю до акумуляції значної кількості металів нитчасті водорості *Cladophora glomerata* та *Oedogonium cardiacum* є достатньо стійкими до їх дії, то їх можна рекомендувати для видалення металів з водного середовища зі значним рівнем забруднення, зокрема для доочистки стічних вод.

Список літератури

1. Величко И. М. Экологическая физиология зеленых нитчатых водоростей / И. М. Величко. – К. : Наук. думка, 1982. – 198 с.
2. Крот Ю. Г. Использование высших водных растений в биотехнологиях очистки поверхностных и сточных вод / Ю. Г. Крот // Гидробиол. журн. – 2006. – 42 (1). – С. 47–61.
3. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / под. ред. А. В. Топачевского. – К. : Наук. думка, 1975. – 247 с.
4. Никаноров А. М. Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах / А. М. Никаноров, А. В. Жулидов, А. Д. Покаржевский – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 143 с.
5. Пасічна О. О. Використання макрофітів для біомоніторингу та очистки водного середовища за умови комбінованого забруднення важкими металами / О. О. Пасічна // Гидробиол. журн. – 2013. – 49 (4). – С. 78–86.
6. Basile, A. (2012). Toxicity, accumulation, and removal of heavy metals by three aquatic macrophytes / A. Basile, S. Sorbo, B. Conte, R. C. Cobianchi, F. Trinchella, C. Capasso, V. Carginale // Int. J. Phytoremediation, 14, 4, 374–387.
7. Miretzky, P. (2004). Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina) / Miretzky P., Saralegui A., Cirelli A. F. // Chemosphere, 57, 997–1005.
8. Wang, Z. (2014). Heavy metals in water, sediments and submerged macrophytes in ponds around the Dianchi Lake, China / Wang Z., Yao L., Liu G., Liu W. // Ecotoxicol. Environ. Saf., 107, 200–206.
9. Xing, W. (2013). Bioaccumulation of heavy metals by submerged macrophytes: looking for hyperaccumulators in eutrophic lakes / Xing W., Wu H., Hao B., Huang W., Liu G. // Environ. Sci. Technol, 47, 9, 4695–4703.

References

1. Velichko, I. M. (1982). Ekologicheskaya fiziologiya zelenykh nitchatykh vodorosley [Ecological physiology of green filamentous algae]. Kiev: Naukova dumka, 198.
2. Krot, Yu. G. (2006). Ispol'zovaniye vysshikh vodnykh rasteniy v biotekhnologiyakh ochistki poverkhnostnykh i stochnykh vod [Use of higher aquatic plants in biotechnologies for surface water and sewage treatment] // Hydrobiol. journ., 42 (1), 47–61.
3. Topachevskiy, A. V. ed. (1975). Metody fiziologo-biokhimicheskogo issledovaniya vodorosley v gidrobiologicheskoy praktike [Methods of physiological and biochemical study of algae in hydrobiological practice]. Kiev: Naukova dumka, 247.
4. Nikanorov, A. M., Zhulidov, A. V., Pokarzhevskiy, A. D. (1985). Biomonitring tyazhelykh metallov v presnovodnykh ekosistemakh [Biomonitoring of heavy metals in freshwater ecosystems]. Leningrad, Russia: Gidrometeoizdat, 143.
5. Pasichna, O. O. (2013). Vykorystannya makrofitiv dlya biomonitorynhu ta ochystky vodnoho seredovyscha za umovy kombinovanoho zabrudnennya vazhkymy metalamy [Use of macrophytes for biomonitoring and purification of the aquatic medium under the conditions of combined pollution by heavy metals] // Hydrobiol. journ., 49 (4), 78–86.
6. Basile, A., Sorbo, S., Conte, B., Cobianchi, R. C., Trinchella, F., Capasso, C., Carginale, V. (2012). Toxicity, accumulation, and removal of heavy metals by three aquatic macrophytes . Int. J. Phytoremediation, 14 (4), 339–344.

7. Miretzky, P., Saralegui, A., Cirelli, A. F. (2004). Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina). *Chemosphere*, 57, 997–1005.

8. Wang, Z., Yao, L., Liu, G., Liu, W. (2014). Heavy metals in water, sediments and submerged macrophytes in ponds around the Dianchi Lake, China. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 107, 200–206.

9. Xing, W., Wu, H., Hao, B., Huang, W., Liu, G. (2013). Bioaccumulation of heavy metals by submerged macrophytes: looking for hyperaccumulators in eutrophic lakes. *Environ. Sci. Technol.*, 47 (9), 4695–4703.

ОЦЕНКА СПОСОБНОСТИ ЗЕЛЕННЫХ НИТЧАТЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ К ОЧИСТКЕ ВОДЫ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

**Е. А. Пасична,
О. А. Годлевская**

Аннотация. Загрязнение водной среды тяжелыми металлами – серьезная экологическая проблема, для решения которой возникает необходимость поиска эффективных, доступных и дешевых методов ее очистки, в частности, с использованием гидробионтов.

Цель данного исследования – определение способности к аккумуляции тяжелых металлов распространенными в водоемах Украины зелеными нитчатыми водорослями (*Cladophora glomerata* (L.) Kütz. и *Oedogonium cardiacum* (Hass.) Wittr.), а также оценка возможности их использования для очистки воды. Определение накопления металлов водорослями проводили методом атомно-адсорбционной спектрофотометрии.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой накопительной способности *Cladophora glomerata* и *Oedogonium cardiacum* по отношению к ионам меди и марганца. С увеличением концентрации Cu^{2+} и Mn^{2+} в водной среде происходит почти пропорциональное увеличение содержания металлов в исследуемых водорослях. Наряду со способностью к накоплению значительного количества металлов, нитчатые водоросли *Cladophora glomerata* и *Oedogonium cardiacum* являются достаточно устойчивыми к их действию. В связи с этим, эти виды водорослей можно рекомендовать для извлечения металлов из водной среды со значительным уровнем загрязнения, в частности, для доочистки сточных вод.

Ключевые слова: тяжелые металлы, медь, марганец, нитчатые водоросли, аккумуляция, очистка воды

ASSESSMENT OF ABILITY OF GREEN FILAMENTOUS ALGAE TO WATER PURIFICATION FROM HEAVY METALS

**O. O. Pasichna,
O. O. Godlevska**

Abstract. Pollution of the water environment with heavy metals is a serious environmental problem, which requires the search for effective, affordable and cheap methods of its purification, in particular, using hydrobionts.

The purpose of this work was to study the ability of green filamentous algae *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. and *Oedogonium cardiacum* (Hass.) Wittr. to accumulate of heavy metals from water environment and also to assess the possibility of their using for water purification. Determination of the metals content in algae was carried out by the method of atomic-adsorption spectrophotometry.

The obtained results indicate to high accumulation capacity of *Cladophora glomerata* and *Oedogonium cardiacum* for copper and manganese ions. With an increasing of the concentration of Cu^{2+} and Mn^{2+} in the aquatic environment, there is an almost proportional increase of the content of these metals in the investigated algae. Along with the ability to accumulate a significant amount of metals, filamentous algae *Cladophora glomerata* and *Oedogonium cardiacum* are sufficiently resistant to their action. In this regard, these species of algae can be recommended for removal of metals from water with a high level of pollution, in particular, for the treatment of wastewater.

Keywords: heavy metals, copper, manganese, filamentous algae, accumulation, water purification

УДК 330.4+519.22

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧАХ С ЦЕЛЬЮ ЭКОНОМИИ ЗАТРАТ

И. В. СТЕПАХНО, кандидат физико-математических наук, доцент
Ю. Б. ГНУЧИЙ, доктор физико-математических наук, профессор
О. Ю. ДЮЖЕНКОВА, кандидат физико-математических наук, доцент
**Национальный университет биоресурсов и природопользования
Украины**

E-mail: stir@ukr.net, oduzen@ukr.net

Аннотация. Представлен метод многомерного статистического анализа, рассмотрено понятие идентификации математико-статистической модели и рассчитаны коэффициенты влияния параметров модели на определяемые значения маневренных и экономических характеристик сложной технической системы. Основным инструментом обработки входной информации предложен аппарат теории случайных матриц. Проблемы построения математических моделей в современных условиях при использовании очень большого количества параметров требуют разработки таких подходов, в которых