

doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2019.04.081>

УДК 574.63

**О.М. Міхєєв, О.В. Лапань**

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ

E-mail: k.lapan@ukr.net

## **Фіторемедіаційний метод очищення водних об'єктів від важких металів та радіонуклідів**

*Представлено членом-кореспондентом НАН України О.П. Дмитрієвим*

*Розроблено мобільну конструкцію біоплато для очищення водних об'єктів від радіонуклідів та важких металів. Досліджено ефективність запропонованої гідрофітної споруди з різними видами рослин-гіперакумуляторів щодо іонів  $^{137}\text{Cs}$ , Cr (VI), Cd (II) і Zn (II).*

**Ключові слова:** фіторемедіація, біоплато, наземні рослини, радіонукліди, іони металів.

Наразі в Україні практично всі поверхневі води за рівнем хімічного забруднення не відповідають існуючим нормативам якості вод. Дана ситуація склалася через високий рівень антропогенного навантаження на водні об'єкти, а також у зв'язку з недостатнім їх очищенням, що призводить до вторинного забруднення вод. Одними з найпоширеніших забруднювальних речовин є важкі метали і радіонукліди, які здійснюють не тільки токсичний, але й канцерогенний вплив на водні організми та людину [1].

На сьогодні існує велика кількість технологій очищення водних об'єктів, серед яких є такі, що засновані на процесах природного самоочищення водних об'єктів з використанням вищих водних рослин та водної біоти — фітотехнології [2–5]. До таких технологій, зокрема, належить використання біоплато, в яких традиційно застосовуються вищі водні рослини. Аналіз літературних джерел [6, 7] свідчить про те, що не тільки вищі водні рослини характеризуються високим коефіцієнтом накопичування, але й наземні рослини в умовах водної культури мають таку ж здатність до акумуляції забруднювальних речовин. Основними перевагами цього методу є низька енергоємність, високий ступінь очищення, висока ефективність, екологічність та здатність акумулювати різні типи ксенобіотиків.

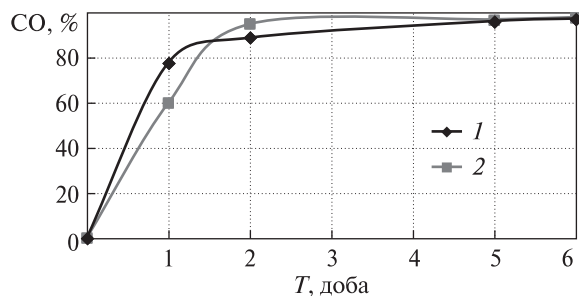
Мета дослідження — скринінг субстрату та наземних рослин, що можуть бути застосовані в конструюванні біоплато, та перевірка сорбційних властивостей рослин щодо важких металів і радіонуклідів (на прикладі  $^{137}\text{Cs}$ ).

**Матеріали та методи.** У дослідженні використані рослини таких видів: жито посівне (*Secale cereale*), кукурудза (*Zea mays*), вівсяниця лучна (*Festuca pratensis*), горох посівний (*Pisum sativum*), тимофіївка лучна (*Phleum pratense*), грястиця збірна (*Dactylis glomerata*).

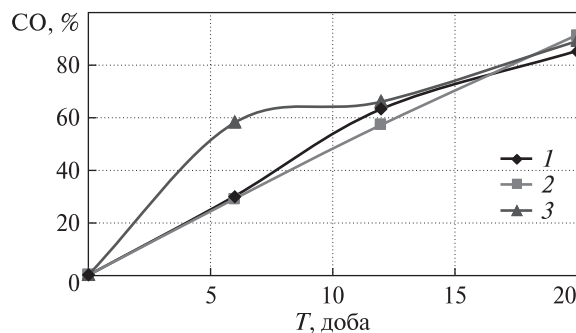
© О.М. Міхєєв, О.В. Лапань, 2019

ISSN 1025-6415. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2019. № 4

81



**Рис. 1.** Динаміка накопичення <sup>137</sup>Cs біоплато з рослинами тимофіївки (1) та гороху (2),  $A_0 = 3,0$  кБк/л



**Рис. 2.** Динаміка поглинання іонів Zn(II) залежно від тривалості процесу культивування біоплато: 1 – гростія; 2 – жито; 3 – кукурудза; 4 – тимофіївка;  $C_0 = 10$  мг/л

Методика конструювання біоплато [8] була такою: дно кювет розміром  $21 \times 2,5 \times 2,5$  см покривали шаром гранульованого пінополістиролу завтовшки 1,5 см; зверху пінопласту насипали шар перліту ( $70 \text{ см}^3$ ); в кювету наливали 100 мл відстояної води з водогону; пульверизатором зволожували поверхню субстрату; розміщували на поверхні насіння ( $\text{см}^3$ ): вівсяниці (5), тимофіївки (5), жита (25), гороху (10), гростії (10), кукурудзи (45); розміщували біоплато в термостаті при  $t = 24$  °C.

Культивування рослин на розчині хлориду цезію-137 проводили в 0,5-літрових скляних посудинах, які попередньо обробляли протягом 3 діб 0,1 М розчином хлориду стабільного цезію-133 з метою запобігання сорбції іонів радіоізоотопу цезію внутрішньою поверхнею ємності. Один раз на добу розчин переливали в посудину Марінеллі для визначення питомої активності радіонукліда за допомогою гамма-спектрометра СЕГ-001 “АПК-С”-63. Вихідна питома активність радіоцезію становила 3,0 кБк/л, яка за даними попередніх дослідів помітно не впливала на ріст і розвиток рослин. Ступінь очищення розчину від цезію-137 (CO, %) розраховували за формулою:

$$CO = \frac{(A_0 - A_p)}{A_0} \cdot 100$$

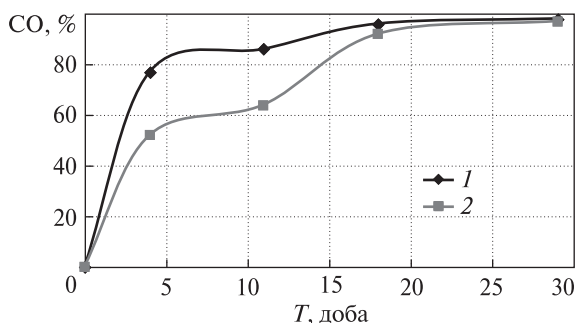
де  $A_0, A_p$  – активність цезію-137 у вихідному розчині і в розчині після певного періоду інкубації відповідно, кБк/л.

Для визначення вмісту Cr(VI) зразки розчинів кожного варіанта фільтрували. Вміст хрому визначали на емісійному спектрометрі ICP-MS Agilent 7700x в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України за протоколом EPA 6020A [EPA. 1998. “Method 6020A (SW-846): Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry”, Revision 1]. Кожен зразок аналізували незалежно три рази.

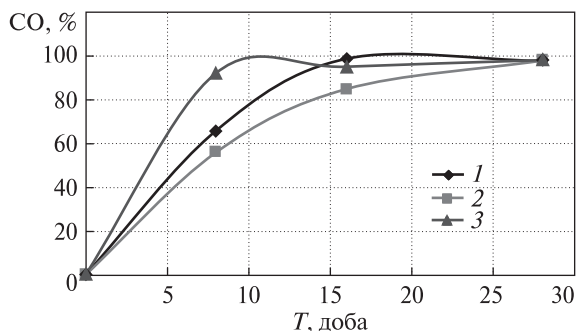
Визначення концентрації цинку і кадмію проводили за методом ААС [9] при  $\lambda = 213,9$  для Zn(II) і  $\lambda = 228,8$  для Cd(II).

Ступінь очищення від важких металів (CO, %) розраховували таким чином:

$$CO = \frac{(C_0 - C_p)}{C_0} \cdot 100,$$



**Рис. 3.** Динаміка поглинання іонів Cd(II) біоплато з рослинами жита (1) та тимофіївки (2),  $C_0(\text{Cd}) = 1$  мг/л



**Рис. 4.** Динаміка поглинання іонів Cr(VI) залежно від тривалості процесу культивування біоплато: 1 – кукурудза; 2 – вівсяниця; 3 – тимофіївка

де  $C_0$ ,  $C_p$  – концентрація іонів важких металів у вихідному розчині і в розчині після сорбції відповідно, мг/л.

**Результати та обговорення.** Для конструювання біоплато передбачалося, що як біосорбційний матеріал будуть використані інтактні вищі наземні рослини, які повинні відповідати таким вимогам: холодостійкість; розвинена розгалужена коренева система та високий ступінь механічного зв'язку із субстратом біоплато; водостійкість та стійкість до нестачі кисню в зоні кореневої системи; високі сорбційні властивості щодо важких металів та радіонуклідів.

Наступним етапом був пошук субстрату для розвитку й росту рослин. Передбачалося використання інертних у хімічному відношенні плавучих матеріалів, таких як: перліт, керамзит, гранульований пінополістирол, вермикуліт.

На третьому етапі конструювання біоплато комбінували різні варіанти насіння та субстрату. За даними експериментальних досліджень, найкращим варіантом субстрату для поєднання з рослинами є гранульований пінополістирол, що забезпечував високу плавучість біоплато.

В подальшому визначали сорбційну здатність біоплато з використанням гороху та тимофіївки щодо іонів цезію-137 (рис. 1). Встановлено, що вже через 24 год кращі сорбційні властивості виявляла тимофіївка – рівень вихідної активності зменшився більш ніж на 80 %, а через 48 год – на 90 %. На п'яту добу інкубації біоплато на розчині хлориду цезію-137 ефект очищення води даними видами рослин нівелювався і становив майже 97 %.

Згідно з результатами визначення ефективності поглинання біоплато з вибраними рослинами щодо іонів Zn(II) (рис. 2), вже на шосту добу спостереження кращі сорбційні властивості виявляла кукурудза – концентрація катіонів Zn(II) в розчині знизилася на 58 %, а при використанні тимофіївки, гречиці, жита ступінь очищення становив 41, 40 і 39 % відповідно. На 20-ту добу інкубації біоплато на розчині сульфату цинку(II) вид рослин істотно не впливав на ступінь очищення: для жита – 91 %, для інших рослин ступінь очищення тільки незначно відрізнявся.

Оскільки найкращі (за швидкістю поглинання) сорбційні властивості щодо іонів Zn(II) виявляли жито і тимофіївка, в подальшому дані види рослин були використані для дослідження впливу тривалості інкубації біоплато на розчині з іонами кадмію (рис. 3).

Як впливає з аналізу одержаних даних (див. рис. 3), найвища швидкість сорбції була притаманна біоплато з використанням жита, однак в кінцевому підсумку показники сорбційної здатності обох видів біоплато зрівнялися і ступінь очищення водного середовища від іонів Cd(II) становив більше 90 %.

Результати дослідження поглинання біоплато з різним видовим складом рослин щодо Cr(VI) наведені на рис. 4. Встановлено, що вже на восьму добу спостереження кращі сорбційні властивості виявляла тимофіївка — концентрація Cr(VI) знизилася до 8 %. В кінцевому підсумку незалежно від виду рослин, використаних у біоплато, ефективність очищення води від Cr(VI) становила 98 %, що відбувалося лише за рахунок поглинальної здатності рослин.

Таким чином, розроблена нова конструкція біоплато з використанням наземних рослин дала змогу досягти високого рівня очищення води від важких металів і радіоцезію — понад 90 %.

Отримані результати дають підстави в подальшому запропонувати алгоритм технології фітодезактивації, згідно з яким на заключному етапі його застосування передбачається або вилучати цілком біоплато з водойм і надалі озолити їх, або здійснювати періодичні скошування зеленої маси і також піддавати її озоленню.

#### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2006 році. Київ: Мін-во охорони навкол. природ. середовища України, 2007. 276 с.
2. Оксийук О.П., Олейник Г.Н. Биоплато и его применение на каналах. *Гидротехника и мелиорация*. 1990. № 8. С. 66–70.
3. Yammer D.A. Designing constructed wetlands system to treat agricultural nonpointsource pollution. *Ecol. Eng.* 1992. № 1. P. 49–82.
4. Healy A., Cawley A.M. Nutrient processing capacity of a constructed wetland in Western Ireland. *J. Environ. Qual.* 2002. **31**, № 5. P. 1739–1747.
5. Gu L., Zhenbin W., Shuiping C., Wei L., Feng H., Guiping F., Fei Z. Application of constructed wetlands on wastewater treatment for aquaculture ponds. *Wuhan Univ. J. Natural Sciences*. 2007. **12**, № 6. P. 1131–1135.
6. Маджд С.М. Досвід експлуатації гідрофітних споруд в Україні та світі. *Наукоємні технології*. 2016. № 2. С. 228–231.
7. Михеев А.Н., Маджд С.М., Семенова Е.И., Дмитруха Т.И. Адаптация гидрофитной системы для очистки сточных вод предприятий гражданской авиации. *Химия и технология воды*. 2015. **37**, № 6. С. 574–581.
8. Михеев А.Н., Лапань О.В., Маджд С.М. Экспериментальные основы нового метода ризофилтрационной очистки водных экосистем от цезия-137. *Химия и технология воды*. 2017. **39**, № 4. С. 439–446.
9. Хавезов И., Цалев Д. Атомно-абсорбционный анализ. Ленинград: Химия, 1983. 144 с.

Надійшло до редакції 20.02.2019

#### REFERENCES

1. National Report on the state of the environment in Ukraine in 2006. Kiev: The Ministry of ecology and natural resources, 2007 (in Ukrainian).
2. Oksyyuk, O. P. & Olejnyk, G. N. (1990). Bioplato and its application on the channels. *Hidrotechnika i melioratsiya*, No. 8, pp. 66-70 (in Russian).
3. Yammer, D. A. (1992). Designing constructed wetlands system to treat agricultural nonpointsource pollution. *Ecol. Eng.* No. 1, pp. 49-82.
4. Healy, A. & Cawley, A.M. (2002). Nutrient processing capacity of a constructed wetland in Western Ireland. *J. Environ. Qual.*, 31, No. 5, pp. 1739-1747.

5. Gu, L., Zhenbin, W., Shuiping, C., Wei, L., Feng, H., Guiping, F. & Fei, Z. (2007). Application of constructed wetlands on wastewater treatment for aquaculture ponds. Wuhan Univ. J. Natural Sciences, 12, No. 6, pp. 1131-1135.
6. Madzhd, S. M. (2016). Experience in exploiting hydrophilic structures in Ukraine and in the world. Naukoemni tehnologii, No. 2, pp. 228-231 (in Ukrainian).
7. Mikhyeyev, A. N., Madzhd, S. M., Semenova, E. I. & Dmitrukha, T. I. (2015). Adaptation of hydrophite system for cleaning of effluents of enterprises of civil aviation. Khimiia i Tekhnolohiia Vody, 37, No. 6, pp. 574-581 (in Russian).
8. Mikhyeyev, A. N., Lapan, O. V. & Madzhd, S. M. (2017). Experimental foundations of a new method for rhizofiltration treatment of aqueous ecosystems from  $^{137}\text{Cs}$ . Khimiia i Tekhnolohiia Vody, 39, No. 4, pp. 439-446 (in Russian).
9. Khavezov, I. & Tsalev, D. (1983). Atomic absorbtion analysis. Leningrad: Khimiya (in Russian).

Received 20.02.2019

*A.N. Muxeev, O.V. Lapan*

Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев  
E-mail: k.lapan@ukr.net

#### ФИТОРЕМЕДИАЦИОННЫЙ МЕТОД ОЧИСТКИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И РАДИОНУКЛИДОВ

Разработана мобильная конструкция биоплато для очистки водных объектов от радионуклидов и тяжелых металлов. Исследована эффективность очистки этого гидрофитного сооружения с различными растениями-гипераккумуляторами относительно ионов  $^{137}\text{Cs}$ , Cr(VI), Cd(II) и Zn(II).

**Ключевые слова:** фиторе mediaция, биоплато, наземные растения, радионуклиды, ионы металлов.

*O.M. Mikhyeyev, O.V. Lapan*

Institute of Cell Biology and Genetic Engineering of the NAS of Ukraine, Kiev  
E-mail: k.lapan@ukr.net

#### THE PHYTOREMEDIATION METHOD OF PURIFICATION OF WATER BODIES FROM HEAVY METALS AND RADIONUCLIDES

A mobile bioplato consruction for the purification of water objects from radionuclides and heavy metals has been developed. A comparative study of the efficiency of purification by plant-hyperaccumulators by the examples of  $^{137}\text{Cs}$ , chromium (VI) ions, cadmium (II) and zinc (II) ions is carried out.

**Keywords:** phytore mediaation, bioplato, terrestrial plants, radionuclides, metal ions.