

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2019.09.077>

УДК 574.63

О.В. Лапань, О.М. Міхєєв

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ

E-mail: k.lapan@ukr.net

Біоплато для очищення водних об'єктів від важких металів

Представлено членом-кореспондентом НАН України О.П. Дмитрієвим

Розроблено мобільну конструкцію біоплато для очищення водних об'єктів від важких металів, де як біотичний компонент використовуються вищі наземні рослини. Показано ефективність запропонованої гідрофітної споруди з рослинами тимофіївки лучної щодо хрому(VI), іонів кадмію(II) і цинку(II). Досліджено вплив хрому(VI) на ростові параметри рослин тимофіївки лучної.

Ключові слова: фіторемедіація, біоплато, наземні рослини, важкі метали.

Проблема забруднення водних об'єктів важкими металами щодалі загострюється, набуваючи загрозливих розмірів — на сьогодні практично всі поверхневі води за рівнем хімічного забруднення не відповідають існуючим нормативам якості вод [1]. За ступенем негативного впливу важкі метали поділяють на: високонебезпечні, небезпечні та малонебезпечні. До одних із найбільш токсичних металів відносять кадмій, цинк та хром, джерелами надходження яких до водних об'єктів є викиди гірничорудної, металургійної та хімічної промисловості [2, 3].

На сьогодні існує велика кількість методів очищення водних об'єктів, серед яких популярності набуває біологічний метод — фітотехнології [4–6]. До таких фіторемедіаційних технологій, зокрема, належить використання біоплато, в яких традиційно застосовуються вищі водні рослини. Результати попередніх досліджень [6–7] свідчать про те, що не тільки вищі водні рослини характеризуються високими коефіцієнтами накопичення, 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 — перевірка сорбційних властивостей рослин тимофіївки лучної (*Phleum pretense* L.) щодо важких металів та вивчення впливу хрому(VI) на ростові параметри рослин тимофіївки.

Матеріали та методи. Конструювання біоплато відбувалося за такою схемою: використовували кювети розміром 21 × 12,5 × 2,5 см; дно кювет покривали шаром гранульованого

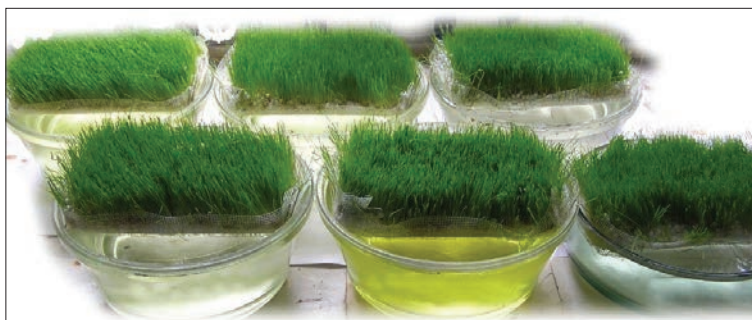


Рис. 1. Загальний вигляд сконструйованого біоплато з тимофіївкою лучною

пінопласту (пінополістирол, діаметр гранул 6 мм) завтовшки 1,5 см; пінопласт покривали шаром спученого перліту (70 см^3); в кювету наливали 100 мл відстояної водопровідної води; пульверизатором зволожували поверхню, на якій розміщували насіння тимофіївки 5 см^3 , і кювети вміщували в термостат, де підтримувалась температура $24 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для визначення вмісту Cr(VI) зразки кожного варіанта фільтрували. Вміст хрому у водних зразках 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]. Усі розчини готували на воді 1-го класу (18 МОм), підготовленій на системі очищення Scholar-UV Nex Up 1000 (“Human Corporation”, Корея). Як калібрувальні стандарти використовували розчини Standard solution IV-ICPMS-71A фірми “Inorganic Ventures”, США. Кожен зразок аналізували незалежно три рази.

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

Ступінь очищення від важких металів (СО, %) розраховували за формулою

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

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

Для дослідження впливу Cr(VI) на ростові параметри тимофіївки лучної (*Phleum pratense* L.) було сконструйовано чотири біоплато за стандартною методикою. На 13-ту добу вирощування рослин біоплато ($S = 2,8 \text{ дм}^2$) розміщували в ексікаторах з водопровідною водою ($V = 2,5 \text{ л}$, $S = 4,3 \text{ дм}^2$), в які додатково вносили біхромат калію з розрахунку за Cr(VI): $C_0 = 0,01, 0,1, 1$ і 5 мг/л . Заміри довжини стебел і коренів (L , см) проводили на 8-му і 13-ту доби інкубації біоплато на розчині.

Результати та обговорення. Запропоновано новий варіант конструкції біоплато, біотичною складовою якої є наземні рослини. Біоплато повинно було задовольняти такі вимоги:

забезпечення плавучості за рахунок зв'язування кореневою системою рослин субстрату конструкції;

високі сорбційні властивості рослин щодо важких металів.

Оскільки застосування тимофіївки дало можливість досягти високого ступеня очищення води від іонів цезію-137 [9], в подальшому була використана дана культура. На рис. 1 наведено загальний вигляд біоплато із рослинами тимофіївки.

З рис. 1 видно, що рослини тимофіївки щільно зв'язали субстрат, забезпечивши плавучість конструкції (біоплато), придатну для подальшого використання з метою очищення водного середовища від Cr(VI), іонів Zn(II) і Cd(II). Результати дослідження наведені на рис. 2.

Встановлено, що на 4-ту добу інкубації найшвидше поглинався кадмій, на відміну від наступних етапів спостереження, коли різниця в рівнях поглинання досліджуваних металів практично нівелювалася. На першому етапі спостереження найповільніше поглинався хром. На 28-му добу інкубації біоплато на розчині з хромом ефект очищення води становив 98 %, а для Cd(II) і Zn(II) – 97 і 93 % відповідно.

На заключному етапі досліджували вплив різних концентрацій Cr(VI) на ростові параметри тимофіївки лучної (*Phleum pretense* L.) (рис. 3).

Встановлено, що на 8-му добу при всіх використаних концентраціях хрому відбувалася стимуляція росту стеблової частини рослин, яка була максимальною при концентрації 0,1 мг/л. Стимуляцію росту коренів спостерігали при концентраціях 0,01 і 0,1 мг/л. При більш високих концентраціях відмічали інгібування росту коренів.

На 13-ту добу інкубації біоплато на розчині з Cr(VI) стимуляція росту стеблової частини рослин тимофіївки відбувалася тільки при концентрації 0,01 мг/л. При більш високих концентраціях мало місце інгібування росту стебел. При всіх досліджених концентраціях іонів хрому ріст кореневої частини рослин тимофіївки інгібувався.

Таким чином, розроблена нова конструкція плаваючого біоплато з використанням наземних рослин дала змогу досягти високого рівня очищення водних об'єктів від іонів важких металів – понад 90 %. Досліджено дію Cr(VI) на ростові параметри рослин тимофіївки.

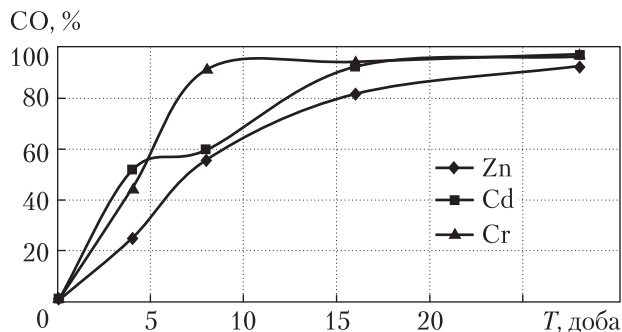


Рис. 2. Динаміка поглинання важких металів біоплато з рослинами тимофіївки лучної, C_0 (Zn) = 10 мг/л, C_0 (Cd) = 1 мг/л, C_0 (Cr) = 1 мг/л

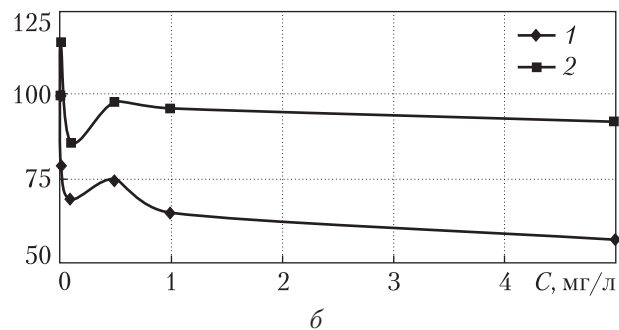
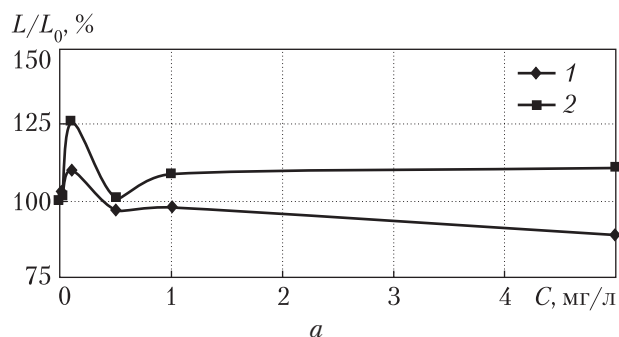


Рис. 3. Залежність ростової активності рослин тимофіївки лучної від концентрації Cr(VI) через 8 діб (а) і 13 діб (б) інкубації. L/L_0 – довжина органу, % до контролю: 1 – корені, 2 – стебло

Широке застосування запропонованого типу конструкції біоплато сприятиме відновленню саморегуляції водних екосистем. Отримані результати дають змогу розробити алгоритм технології фіторемедіації, відповідно до якої на заключному етапі її застосування передбачається або вилучати цілком біоплато з водойм і надалі їх озолити 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. Давыдова С. Л. Тяжелые металлы как супертоксианты XXI века: учеб. пособие. Москва: Изд-во Рос. ун-та дружбы народов, 2002. 140 с.
3. Трахтенберг И.М., Колесников В.С., Луковенко В.П. Тяжелые металлы во внешней среде. *Современные гигиенические и токсикологические аспекты*. Минск: Наука и техника, 2004. 285 с.
4. Глазунова И.В., Ромащенко А.К., Тишина К.А. Биоинженерные сооружения и накопители местного стока водосборов для наиболее эффективного использования водных ресурсов речных бассейнов. *Природообустройство*. 2018. № 2. С. 46–54.
5. Тимофеева С.С., Ульрих Д.В., Тимофеев С.С. Фитофильтры для очистки сточных вод. *Вестник технологического университета*. 2016. **19**, № 16. С. 162–165.
6. Маджд С.М., Панченко А.О., Бондар А.М. Роль вищих водних рослин у деструкції забруднювачів в біоінженерних гідрофітних спорудах. *Наукоємні технології*. 2017. № 1. С. 89–93
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. Хавезов И., Цалев Д. Атомно-абсорбционный анализ. Ленинград: Химия, 1983. 144 с.
9. Михеев А.Н., Лопань О.В., Маджд С.М. Экспериментальные основы нового метода ризофильтрационной очистки водных экосистем от цезия-137. *Химия и технология воды*. 2017. **39**, № 4. С. 439–446.

Надійшло до редакції 04.06.2019

REFERENCES

1. National report on the state of the environment in Ukraine in 2006. Kyiv: The Ministry of ecology and natural resources, 2007 (in Ukrainian).
2. Davydova, S. L. (2002). Heavy metals as supertoxicants of the XXI century: studies. allowance. Moscow: Izdvo Ross. un-ta druzhby narodov (in Russian).
3. Trahtenberh, I. M., Kolesnikov, A. K. & Lukovenko, V. P. (2004). Heavy metals in the environment. Modern hygienic and toxicological aspects. Minsk: Nauka i tehnika (in Russian).
4. Glazunova, I. V., Romashchenko, A. K. & Tishina, K. A. (2018). Bioengineering structures and storages of local flowing of watersheds for a more effectient usage of water resources of river basins. *Prirodoobustroystvo*, No. 2, pp. 46-54 (in Russian).
5. Timofeeva, S. S., Ul'rih, D. V. & Timofeev, S. S. (2016). Fitofilters for wastewater treatment. *Vestnik tehnologicheskoho universiteta*, 19, No.16, pp. 162-165 (in Russian).
6. Madzhd, S. M., Panchenko, A. O. & Bondar, A. M. (2017). The role of higher aquatic plants in the degradation of pollutants in bioengineering hydrofit structures. *Naukoemni tehnologii*, No. 1, pp. 89-93 (in Ukrainian).
7. Mikheev, A.N., Madzhd, S.M, Semenova, E.I. & Dmitrukha, T.I. (2015). Adaptation of hydrophite system for purification of wastewaters of civil aviation enterprises. *Khimiya i Tekhnologiya Vody*, 37, No. 6, pp. 574-581 (in Russian).
8. Khavezov, I. & Tsalev, D. (1983). Atomno-absorbtsionnyy analiz. Leningrad: Khimiya (in Russian).
9. Mikheev, A. N., Lapan, O. V. & Madzhd, S. M. (2017). Experimental foundations of a new method for rhizofiltration treatment of aqueous ecosystems from ¹³⁷Cs. *Khimiya i Tekhnologiya Vody*, 39, No. 4, pp. 439-446 (in Russian).

Received 04.06.2019

О.В. Лопань, А.Н. Михеев

Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев

E-mail: k.lapan@ukr.net

БИОПЛАТО ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Разработана мобильная конструкция биоплато для очистки водных объектов от тяжелых металлов, где в качестве биотического компонента используются высшие наземные растения. Показана эффективность предложенного гидрофитного сооружения с растениями тимофеевки луговой по отношению к хрому(VI), ионам кадмия(II) и цинка(II). Проведено исследование влияния хрома(VI) на ростовые параметры растений тимофеевки луговой.

Ключевые слова: фиторемедиация, биоплато, наземные растения, тяжелые металлы.

O.V. Lapan, O.M. Mikheyev

Institute of Cell Biology and Genetic Engineering of the NAS of Ukraine, Kyiv

E-mail: k.lapan@ukr.net

BIOPATEAU FOR THE PURIFICATION OF WATER BODIES FROM HEAVY METALS

A mobile bioplateau design for the purification of water bodies from heavy metals has been developed, where higher land plants are used as the biotic component. To construct a bio plateau, chemically inert floating materials are used as the substrate granular foam, on whose top the seeds of higher terrestrial plants are placed. The constructed bioplateaux on the 9th day of incubation were placed into tanks with a solution of heavy metals to study the cleaning efficiency of timothy in the aquatic environment. For the study of the influence of chromium (VI) on growth parameters of timothy, the bioplateaux were placed in desiccators with tap water, which additionally introduced potassium bichromate. The measurements of the length of the stems and roots were carried out at the 8th and 13th days of incubation of the bioplateau in the solution. The efficiency of the proposed hydrophytic structure with timothy plants meadow with respect to chromium (VI), cadmium ions (II) and zinc (II) is shown. A study of the effect of chromium (VI) on the growth parameters of timothy grass plants is conducted.

Keywords: phytoremediation, bioplateau, terrestrial plants, heavy metals.