

О. М. Міхєєв, О. В. Лапань\*

*Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ, Україна*

\*Відповідальний автор: k.lapan@ukr.net

**ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ВІД  $^{137}\text{Cs}$  ЗА ДОПОМОГОЮ БІОПЛАТО**

Розроблено мобільну конструкцію біоплато для очищення водних об'єктів від іонів  $^{137}\text{Cs}$ . Проведено порівняльне дослідження ефективності очищення водного середовища від іонів радіоцезію різними видами рослин-гіперакумуляторів. Досліджено розподіл  $^{137}\text{Cs}$  по структурних компонентах біоплато. Побудовано модель накопичення радіоцезію в системі «експериментальна водойма – рослини (біоплато)».

*Ключові слова:* фітореMediaція, біоплато, наземні рослини, радіонукліди,  $^{137}\text{Cs}$ .

**1. Вступ**

Проблема очищення радіаційно забруднених вод в Україні є актуальною і залишається такою останні кілька десятиліть. Основний внесок у теперішню ситуацію маємо від аварії на Чорнобильській АЕС, яка на фоні вже існуючого техногенного забруднення призвела до контакту значної частини населення з одним із найпотужніших універсальних канцерогенів – іонізуючим випромінюванням [1].

Як відомо, одним із дозоформуючих у післячорнобильському періоді радіонуклідів є  $^{137}\text{Cs}$ , який має підвищену розчинність сполук у водних середовищах, що сприяє його інтенсивній геохімічній рухливості й перешкоджає вилученню з водних об'єктів [2 - 4]. Згідно з концептуальними основами водогосподарської політики в Україні, головним положенням якої є забезпечення населення чистою водою, проблема відновлення якості поверхневих вод вважається пріоритетною [5]. Саме тому очищенню водних об'єктів від іонів радіоцезію приділяють особливу увагу.

До теперішнього часу відомо й випробувано велику кількість методів і технологій очищення водних об'єктів: механічний, хімічний, фізичний, фізико-хімічний і біологічний [6]. Особливу увагу останнім часом надають біологічному методу через його екологічність та економічність [7]. Зокрема, широке поширення у світі й в Україні отримала фітореMediaція – високоефективна технологія очищення (або доочищення) від неорганічних і деяких органічних забруднюючих речовин за допомогою гідрофітних споруд, в основу якої покладено природні процеси очищення: рослини і ризосферні мікроорганізми розкладають і/або накопичують різні забруднюючі речовини [8 - 15]. Розрізняють декілька видів гідрофітних споруд: ботанічні майданчики, фільтраційні пристрої, біологічні ставки з вищими водними рослинами

(ВВР), штучно заболочені площі, біоінженерні споруди і біоплато, останній серед яких є найбільш поширеним і рентабельним. Традиційно в біоплато використовують біоценози різних видів водних організмів – ВВР, бактерій, водоростей, безхребетних, риби [16 - 26].

У попередніх дослідженнях авторами було встановлено [27, 28], що не тільки ВВР характеризуються високими коефіцієнтами накопичення важких металів, а й наземні рослини в умовах водної культури мають таку ж здатність до акумуляції ксенобіотиків. Перевагами запропонованої конструкції біоплато є висока ефективність очищення, екологічність, низька енергоємність і висока сорбційна здатність щодо органічних та неорганічних речовин. Такі конструкції будь-якої необхідної площі можна конструювати в стаціонарних умовах і транспортувати до водних об'єктів, що потребують очищення [29, 30].

Мета роботи – експериментальна розробка плаваючої конструкції біоплато для дезактивації водних об'єктів від іонів  $^{137}\text{Cs}$ .

Для досягнення поставленої мети були сформульовані й вирішені такі завдання:

- конструювання гідрофітної споруди типу біоплато з вищими наземними рослинами;
- визначення поглинальної здатності біоплато з різним видовим складом рослин щодо іонів  $^{137}\text{Cs}$ ;
- дослідження розподілу активності  $^{137}\text{Cs}$  по структурних компонентах біоплато;
- моделювання динаміки накопичення радіоцезію в системі «експериментальна водойма – рослини (біоплато)».

**2. Експериментальні вимірювання**

Методика конструювання біоплато: кювети розміром  $21 \times 12 \times 2,5$  см покривали дрібнопористою сіткою і шаром гранульованого пінопласту (пінополістирол, діаметр гранул 6 мм) завтовшки

1,5 см; пінопласт покривали шаром спученого перліту ( $50 \text{ см}^3$ ); у кювету наливали 100 мл відстояної водопровідної води; пульверизатором зволожували поверхню, на яку наносили насіння тимофіївки лучної (*Phleum pratense* L.)  $5 \text{ см}^3$ , гороху посівного (*Pisum sativum* L.)  $20 \text{ см}^3$ , вівсяниці лучної (*Festuca pratensis* Huds.)  $5 \text{ см}^3$ , ячменю посівного (*Hordeum sativum* Jessen.)  $25 \text{ см}^3$ , і розміщували в термостаті для пророщування при  $t = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Використовували також біоплато рулонного типу: дно кювет розміром  $30 \times 40 \text{ см}$  покривали дрібнопористою сіткою і шаром гранульованого пінопласту завтовшки 1,5 см; пінопласт покривали шаром спученого перліту; у кювету наливали 200 мл відстояної водопровідної води; пульверизатором зволожували поверхню, на яку наносили насіння тимофіївки лучної (*Phleum pratense* L.)  $10 \text{ см}^3$ , кукурудзи цукрової (*Zea mays* L.)  $200 \text{ см}^3$ , ячменю посівного (*Hordeum sativum* Jessen.)  $100 \text{ см}^3$  і розміщували в термостаті для пророщування при  $t = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Культивування рослин на розчині хлориду  $^{137}\text{Cs}$  проводили у скляних ємностях, які попередньо обробляли протягом трьох діб 0,1 М розчином хлориду стабільного  $^{133}\text{Cs}$  для запобігання сорбції іонів радіоізоотопу цезію внутрішньою поверхнею скла. Використовували відстояну водопровідну воду. Один раз на добу розчин переливали в посудину Марінеллі для визначення питомої активності радіонукліда на гамма-спектрометрі СЕГ-001 «АКП-С»-63. Вихідна питома активність радіоцезію становила  $3,0 \text{ кБк/л}$ , яка за даними попередніх дослідів не викликала помітного впливу на ріст і розвиток рослин. Вимірювання питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  проводили на першу, другу і третю добу інкубації біоплато на розчині до похибки вимірювання  $3,8 \%$ . Вимірювали масу окремих компонентів біоплато і органів рослин (пінопласт, перліт, корені, стебла) та розраховували їхню питому активність.



Ступінь очищення водного середовища від  $^{137}\text{Cs}$  ( $CO$ , %) розраховували як:

$$CO = \frac{(C_0 - C_p)}{C_0} \cdot 100, \quad (1)$$

де  $C_0$ ,  $C_p$  – відповідно активність іонів  $^{137}\text{Cs}$  у вихідному розчині й у розчині після сорбції, кБк/л.

Для опису перенесення й міграції радіонуклідів в екосистемі «експериментальна водойма – рослини (біоплато)» застосовували метод камерних моделей, де весь ланцюг перенесення радіонуклідів ділили на камери, взаємодію між якими задавали за допомогою відповідних коефіцієнтів [28].

### 3. Результати та обговорення

На першому етапі досліджень проводили пошук видів наземних рослин із високим коефіцієнтом накопичення  $^{137}\text{Cs}$ . Досліджені наземні рослини в умовах водної культури показали високу здатність до акумуляції радіоцезію. Їхня властивість накопичувати радіонукліди з водного середовища має велике значення, оскільки дає змогу отримувати необхідну кількість біомаси наземних рослин, яка набагато перевищує аналогічну здатність водних рослин, що, у свою чергу, дає змогу значно підвищити ефективність очищення водойм. Рослинний матеріал є елементом біофільтра, в якому використовуються сорбційні властивості їхньої кореневої системи. В експериментах були досліджені тимофіївка лучна, горох посівний, кукурудза цукрова, ячмінь посівний, овес посівний та вівсяниця лучна.

Другим етапом при конструюванні біоплато був пошук субстрату для розвитку і росту рослин. Згідно з попередніми дослідженнями [24, 25], із випробуваних субстратів кращим виявився гранульований пінопласт.

Найбільш ефективною для створення біоплато з наземних рослин (рис. 1) в умовах водної культури виявилася тимофіївка лучна.



Рис. 1. Загальний вигляд біоплато з тимофіївкою лучною.

Було встановлено, що насіння тимофіївки лучної проростало досить швидко, коренева систе-

ма рослин добре зв'язала субстрат, що забезпечило плавучість біоплато.

З метою підвищення рівня технологічності розробленого методу конструювання біоплато була зроблена спроба отримати так званий ру-

лонний варіант плаваючого біоплато, який було б зручно транспортувати до місця застосування (рис. 2).



Рис. 2. Загальний вигляд біоплато для зручності транспортування до водного об'єкта.

На рисунку видно, що коренева система біоплато міцно зв'язала субстрат, забезпечивши при цьому можливість його згортання для зручного транспортування та створення біоплато промис-

лових масштабів.

Дослідження сорбційної здатності біоплато з рослинами гороху посівного щодо іонів  $^{137}\text{Cs}$  показало його високу здатність до очищення (рис. 3).

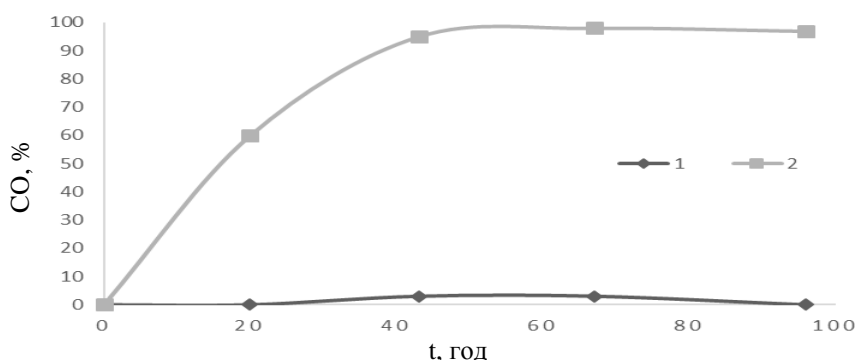


Рис. 3. Динаміка поглинання цезію біоплато без рослин (1) і з рослинами гороху посівного (2),  $C_0 = 3,0$  кБк/л.

Наше дослідження показало, що вже через 20 год рівень вихідної активності  $^{137}\text{Cs}$  зменшився більше, ніж у два рази, а через 67 год ефект очищення води від радіонукліда становив 98%. За відсутності рослин гороху посівного активність водного розчину практично не змінювала-

ся, що вказувало на відсутність сорбції цезію стінками ємності.

Враховуючи отримані результати, наступним етапом дослідження було визначення сорбційної здатності біоплато з різними видами рослин, результати якого представлено на рис. 4.

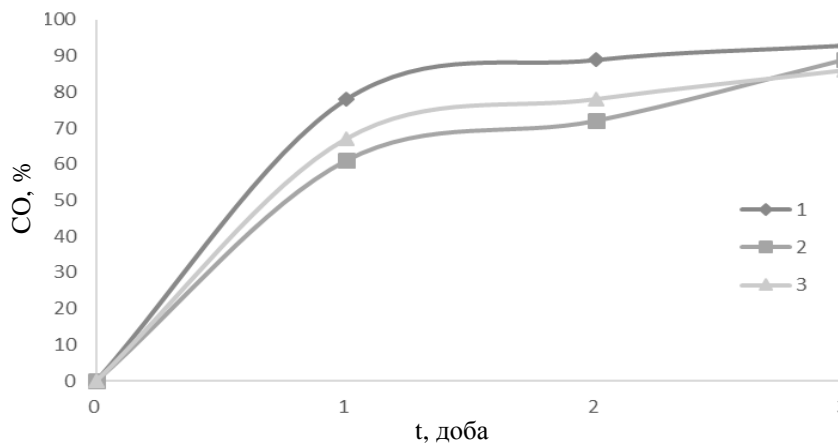


Рис. 4. Динаміка поглинання  $^{137}\text{Cs}$  біоплато з рослинами тимофіївки лучної (1), ячменю посівного (2), вівсяниці лучної (3),  $C_0 = 3,0$  кБк/л.

З аналізу рис. 4 випливає, що вже через 24 год інкубації кращу сорбційну здатність проявили рослини тимофіївки лучної – рівень вихідної активності зменшився на 78 %, а при використанні вівсяниці лучної і ячменю посівного – на 67 і 61 % відповідно. На третю добу інкубації біоплато на розчині хлориду  $^{137}\text{Cs}$  родове різноманіття

рослин істотно впливає на ступінь очищення не здійснювало: для тимофіївки лучної – 93 %, для інших рослин ступінь очищення тільки незначно відрізнявся.

На рис. 5 представлено результати розподілу активності  $^{137}\text{Cs}$  по компонентах біоплато з використанням рослин тимофіївки лучної.

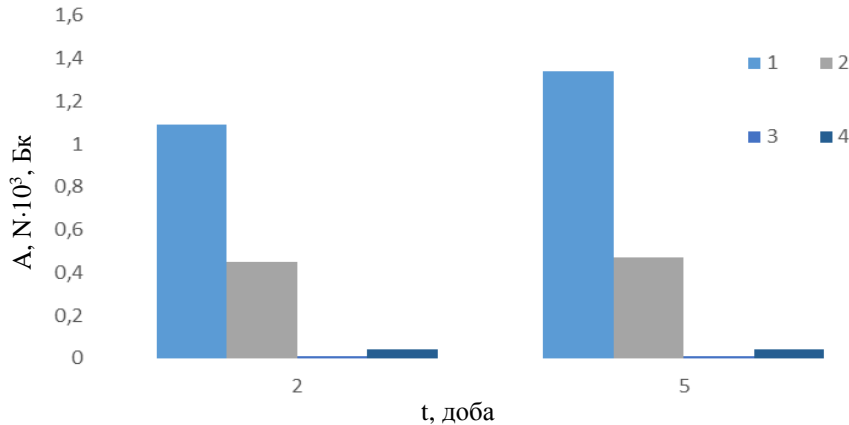


Рис. 5. Сумарна активність компонентів біоплато з використанням рослин тимофіївки лучної: 1 – корені, 2 – стебла, 3 – пінопласт, 4 – перліт (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

Результати дослідження свідчать, що накопичення  $^{137}\text{Cs}$  відбувається переважно в рослинному компоненті біоплато. Домінуючу роль у поглинанні радіонукліда відіграє коренева система рослин. До моменту завершення експерименту

(5 діб) у стебловій частині сконцентрувалося близько 25 % всієї активності (рис. 6). Імовірно, ця частка в подальшому збільшувалася б. Перліт і пінопласт суттєвої ролі в поглинанні не відігравали.

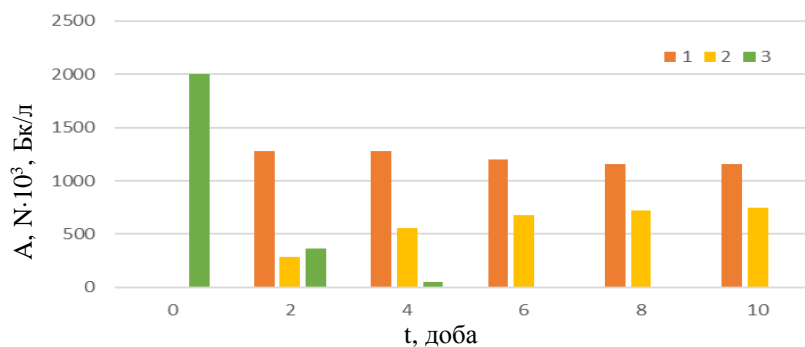


Рис. 6. Результати математичного моделювання динаміки накопичення радіоцезію в системі «експериментальна водойма – рослини (біоплато)»: 1 – корені, 2 – стебла, 3 – активність  $^{137}\text{Cs}$ . (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

Установлено, що активність радіоцезію в середовищі різко зменшується. Очевидно, що іони  $^{137}\text{Cs}$  поглинаються кореневою системою, а потім поступово «перекачуються» в стеблову частину рослин, що ми і спостерігали в експерименті. Дана модель дає змогу прогнозувати поведінку системи в діапазоні концентрацій, що не були досліджені, а також визначати подальші маніпуляції з біоплато при здійсненні технології очищення, тобто передбачати, яку частину рослин (або все біоплато) видаляти в певний момент часу.

#### 4. Висновки

1. Розроблено нову конструкцію плаваючого біоплато для дезактивації водних об'єктів від радіоцезію.

2. Вивчено сорбційні властивості різних видів рослин щодо  $^{137}\text{Cs}$ . У ході досліджень вдалося досягнути високого (більше 90 %) рівня очищення води від даного радіонукліда.

3. Досліджено розподіл активності  $^{137}\text{Cs}$  по компонентах біоплато з рослинами тимофіївки лучної. Установлено, що домінуючу роль у поглинанні радіонукліда відіграє коренева система рослин.

4. Побудовано математичну модель накопичення радіоцезію в системі «експериментальна водойма – рослини (біоплато)», що дає змогу прогнозувати поведінку системи в діапазоні концентрацій, які не досліджували в експерименті.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Р.А. Якимчук. Цитогенетичні наслідки радіонуклідного забруднення 30-кілометрової зони через 25 років після аварії на Чорнобильській АЕС. *Физиология и биохимия культурных растений* 45 (2013) 260.
2. О.М. Волкова та ін. Параметри розподілу радіонуклідів у водоймах різного трофічного статусу. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій* 11 (2014) 127.
3. Н.Ю. Мірзоева та ін. Потоки міграції і депонування післяаварійних радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  у різних районах Чорного моря (елементи біогеохімічних циклів). *Наук. праці Чорномор. держ. ун-ту ім. Петра Могили. Сер.: Техногенна безпека* 210 (2013) 45.
4. В.Д. Романенко та ін. Гідроекологічна безпека атомної енергетики України. *Вісн. НАН України* 6 (2012) 41.
5. В.Д. Романенко. Стратегічні напрямки водно-екологічної політики в Україні. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Спец. вип.: Гідроекологія* 16 (2011) 222.
6. В.С. Дикаревский и др. *Отведение и очистка поверхностных сточных вод* (Ленинград: Стройиздат, 2000) 224 с.
7. Л. І. Бех, С.К. Ходаківський. *Біологічна очистка стічних вод, обґрунтування методів* (Харків: ХНУ, 2001) 290 с.
8. А.Е. Васюков. Аккумуляция металлов макрофитами в водоемах зоны Запорожской АЭС. *Гидробиол. журн.* 39(3) (2003) 94.
9. Ю.Г. Крот. Высшие растения в биотехнологии очистки поверхностных и сточных вод. *Гидробиол. журн.* 42(1) (2006) 47.
10. Д.В. Ульрих, М.Н. Брюхов. Возможность использования фиторемедиационных сооружений в очистке сточных вод. В кн.: *Наука ЮУрГУ. Материалы 66-й научной конференции* (Челябинск, 2014) с. 1050.
11. И.В. Глазунова, А.К. Ромащенко, К.А. Тишина. Биоинженерные сооружения и накопители местного стока водосборов для наиболее эффективного использования водных ресурсов речных ресурсов. *Природообустройство* 2 (2018) 46.
12. С.С. Тимофеева, Д.В. Ульрих, С.С. Тимофеев. Фитофильтры для очистки сточных вод. *Вестн. технологического ун-та* 19 (2016) 162.
13. С.М. Маджд, А.О. Панченко, А.М. Бондар. Роль вищих водних рослин у деструкції забруднювачів в біоінженерних гідролітичних спорудах. *Наукоємні технології* 1 (2017) 89.
14. Е.Э. Нефедьева и др. Доочистка сточных вод с помощью фиторемедиации. *Вестн. технологического ун-та* 20 (2017) 145.
15. А.А. Протасов, А.И. Цыбульский. Особенности формирования водной и околородной растительности в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС в условиях нестабильного режима уровня воды. *Ядерная энергетика та довкілля* 1 (2017) 58.
16. В.Г. Магмедов. Эффективность инфильтрационного биоплато как водоохранного сооружения многоцелевого назначения. *Водные ресурсы* 6 (1986) 93.
17. Ю.Н. Соколов и др. Використання біоплато для зменшення біогенного забруднення водойм та водотоків. *Вісн. Одес. держ. екологічного ун-ту* 7 (2009) 20.
18. О.П. Окснюк, Г.Н. Олейник. Биоплато и его применение на каналах. *Гидротехника и мелиорация* 8 (1990) 66.
19. С.М. Маджд. Довід експлуатації гідролітичних споруд в Україні та світі. *Наукоємні технології* 2 (2016) 228.
20. С.М. Маджд. Роль гідробіотехнологічних систем у підвищенні ступеня очищення зворотних вод. У кн.: *VI Всеукр. з'їзд екологів з міжнарод. участю. Вінниця, 20 - 22 вересня 2017 р. Тези доп.* (Вінниця, 2017) с. 68.
21. L. Gu, W. Zhenbin, C. Shuiping. Application of constructed wetlands on wastewater treatment for aquaculture ponds. *Wuhan University Journal of Natural Sciences* 12 (2007) 1131.
22. A. Healy, M. Cawley. Nutrient processing capacity of a constructed wetland in Western Ireland. *Journal of Environmental Quality* 31 (2002) 1739.
23. D.A. Yammer. Designing constructed wetlands system to treat agricultural nonpointsource pollution. *Ecol. Eng.* 1 (1992) 49.
24. Jan Vymazal. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water* 2 (2010) 530.
25. В.Д. Романенко та ін. *Природні і штучні біоплато. Фундаментальні та прикладні аспекти* (К.: Наук. думка, 2012) 112 с.
26. В.Д. Романенко, Ю.Г. Крот. Биотехнологическое направление исследований в Институте гидробиологии НАН Украины. *Гидробиологический журнал* 51(2) (2015) 23.
27. A.N. Mikheev, O.V. Lapan, S.M. Madzhd. Development of a new method of garment filtering purification of water objects of chrome (VI). *Journal of Water Chemistry and Technology* 3 (2018) 157.
28. O.V. Lapan, O.M. Mikheev, S.M. Madzhd. Development of a new method of rhizofiltration purification of water objects of Zn(I) and Cd(II). *Journal of Water Chemistry and Technology* 41 (2019) 52.
29. О.М. Міхєєв та ін. Використання нового типу біоплато для очищення водних об'єктів від радіонуклідного та хімічного забруднення. У кн.: *XXIV щоріч. наук. конф. Ін-ту ядерних дослідж. НАН України. Тези доп.* (Київ, 2017) с. 240.
30. О.М. Міхєєв, О.В. Лапань. Очистка водних об'єктів від важких металів за допомогою гідролітичної споруди типу біоплато. У кн.: *XII Всеукр. наук.-практ. конф. «Біотехнологія XXI століття»* (Київ, 2018) с. 114.
31. Ю.А. Кутлахмедов, В.П. Петрусенко. Аналіз ефективності контрзаходів для захисту екосистем на схилі ландшафтах методом камерних моделей. *Вісн. Нац. авіаційного ун-ту* 4 (2006) 163.

А. Н. Михеев, О. В. Лапань\*

*Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев, Украина*

\*Ответственный автор: k.lapan@ukr.net

**ОЧИСТКА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ  $^{137}\text{Cs}$  С ПОМОЩЬЮ БИОПЛАТО**

Разработана мобильная конструкция биоплато для очистки водных объектов от ионов  $^{137}\text{Cs}$ . Проведено сравнительное исследование эффективности очистки водной среды от ионов радиоцезия различными видами растений-гипераккумуляторов. Исследовано распределение  $^{137}\text{Cs}$  по структурным компонентам биоплато. Построена модель накопления радиоцезия в системе «экспериментальный водоем – растения (биоплато)».

*Ключевые слова:* фиторемедиация, биоплато, наземные растения, радионуклиды,  $^{137}\text{Cs}$ .

О. М. Mikhyeyev, O. V. Lapan\*

*Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

\*Corresponding author: k.lapan@ukr.net

**DECONTAMINATION OF WATER OBJECTS FROM  $^{137}\text{Cs}$  BY MEANS OF BIOPATEAU**

Mobile bioplateau design has been developed for water bodies treatment from ions  $^{137}\text{Cs}$ . Comparative study of the cleaning efficiency of different species of plants-hyperaccumulators of the aqueous medium from radiocaesium ions has been carried out. The distribution of  $^{137}\text{Cs}$  by structural components of bioplateau has been investigated. The model of accumulation of radioactivity in the “experimental reservoir – plants (bioplateau)” system was created.

*Keywords:* phytoremediation, bioplateau, land plants, radionuclides,  $^{137}\text{Cs}$ .

## REFERENCES

1. P.A. Yakimchuk. Cytogenetic consequences of radionuclide contamination of the 30-km zone after 25 years after the Chernobyl accident. *Fiziologiya i Biokhimiya Kul'turnykh Rasteniy* 45 (2013) 260. (Ukr)
2. O.M. Volkova et al. Radionuclide distribution parameters in reservoirs of different trophic status. *Pryroda Zakhidnoho Polissya ta Prylehykh Terytoriy* 11 (2014) 127. (Ukr)
3. N.Yu. Mirzoeva et al.. Migration flows and deposition of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  post-accident radionuclides in different parts of the Black Sea (elements of biogeochemical cycles). *Naukovi Pratsi Chornomors'koho Derzhavnoho Universytetu Imeni Petra Mohyly. Ser.: Tekhnohenna bezpeka* 210 (2013) 45. (Ukr)
4. V.D. Romanenko et al. Hydroecological safety of nuclear power of Ukraine. *Visnyk NAN Ukrainy* 6 (2012) 41. (Ukr)
5. V.D. Romanenko. Strategic directions of water-ecological policy in Ukraine. *Naukovi Zapysky Ternopil's'koho Natsional'noho Pedagogichnoho Universytetu Imeni V. Hnatyuka. Spetsial'nyy vypusk: Hidroekolohiya* 16 (2011) 222. (Ukr)
6. V.S. Dikarevsky et al. *Diversion and Treatment of Surface Wastewater* (Leningrad: Stroyizdat, 2000) 224 p. (Rus)
7. L.I. Bekh, S.K. Khodakivsky. *Biological Sewage Treatment, Justification of Methods* (Kharkiv: KhNU, 2001) 290 p. (Ukr)
8. A.E. Vasyukov. Accumulation of metals by macrophytes in reservoirs of the Zaporizhzhya NPP zone. *Gidrobiologicheskyy Zhurnal* 39(3) (2003) 94. (Rus)
9. Yu.G. Krot. Higher plants in biotechnology for surface and wastewater treatment. *Gidrobiologicheskyy Zhurnal* 42(1) (2006) 47. (Rus)
10. D.V. Ulrich, M.N. Bryukhov. The possibility of using phytoremediation facilities in wastewater treatment. In: Science of South Ural State University. Proc. of the 66-th Scientific Conf. (Chelyabinsk, 2014) p. 1050. (Rus)
11. I.V. Glazunova, A.K. Romashchenko, K.A. Tishina. Bioengineering facilities and reservoirs for local drainage for the most efficient use of river water resources. *Prirodoobustroystvo* 2 (2018) 46. (Rus)
12. S.S. Timofeeva, D.V. Ulrich, S.S. Timofeev. Phytofilters for wastewater treatment. *Vestnik Tekhnologicheskogo Universiteta* 19 (2016) 162. (Rus)
13. S.M. Madzhd, A.O. Panchenko, A.M. Bondar. The role of the higher aquatic plants in destruction of pollutants in the bioengineering hydrophytic structures. *Naukoyemni Tekhnolohiyi* 1 (2017) 89. (Ukr)
14. E.E. Nefed'eva et al. Wastewater treatment using phytoremediation. *Vestnik Tekhnologicheskogo Universiteta* 20 (2017) 145. (Rus)
15. A.A. Protasov, A.I. Tsybulsky. Features of the formation of aquatic and near-water vegetation in the cooling pond of the Khmelnytsky NPP under the conditions of an unstable water level regime. *Yaderna Enerhetyka ta Dovkillya* 1 (2017) 58. (Rus)
16. V.G. Magmedov. Efficiency of an infiltration bioplateau as a multi-purpose water protection facility. *Vodnyye Resursy* 6 (1986) 93. (Rus)
17. Yu.N. Sokolov et al. Use of bioplateau to reduce biogenic pollution of water reservoirs and streams. *Visnyk Odes'koho Derzhavnoho Ekolohichnoho Universytetu* 7 (2009) 20. (Ukr)
18. O.P. Oksiyuk, G.N. Oleynik. Bioplateau and its use on channels. *Gidrotekhnika i Melioratsiya* 8 (1990) 66. (Rus)

19. S.M. Madzhd. Operating experience of hydrophytic constructions in Ukraine and in the world. *Naukovychni Tekhnolohiyi* 2 (2016) 228. (Ukr)
20. S.M. Madzhd. The role of hydrotechnology systems in increasing the degree of return water treatment. In: VI All-Ukrainian Intern. Congr. of Ecologists. Vinnytsia, September 20 - 22, 2017. Book of Abstracts (Vinnitsa, 2017) p. 68. (Ukr)
21. L. Gu, W. Zhenbin, C. Shuiping. Application of constructed wetlands on wastewater treatment for aquaculture ponds. *Wuhan University Journal of Natural Sciences* 12 (2007) 1131.
22. A. Healy, M. Cawley. Nutrient processing capacity of a constructed wetland in Western Ireland. *Journal of Environmental Quality* 31 (2002) 1739.
23. D.A. Yammer. Designing constructed wetlands system to treat agricultural nonpointsource pollution. *Ecol. Eng.* 1 (1992) 49.
24. J. Vymazal. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water* 2 (2010) 530.
25. V.D. Romanenko et al. *Natural and Artificial Bioplateau. Fundamental and Applied Aspects* (Kyiv: Naukova Dumka, 2012) 112 p. (Ukr)
26. V.D. Romanenko, Yu.G. Krot. Biotechnological direction of research at the Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine. *Gidrobiologicheskii Zhurnal* 51(2) (2015) 23. (Rus)
27. A.N. Mikheev, O.V. Lapan, S.M. Madzhd. Development of a new method of garment filtering purification of water objects of chrome (VI). *Journal of Water Chemistry and Technology* 3 (2018) 157.
28. O.V. Lapan, O.M. Mikheev, S.M. Madzhd. Development of a new method of rhizofiltration purification of water objects of Zn(I) and Cd(II). *Journal of Water Chemistry and Technology* 41 (2019) 52.
29. O.M. Mikhyeyev et al. Use of a new type of bioplateau to purify water from radionuclide and chemical contamination. In: XXIV Annual. Scientific Conf. of the Institute for Nuclear Research NAS of Ukraine. Book of Abstracts (Kyiv, 2017) p. 240. (Ukr)
30. O.M. Mikhyeyev, O.V. Lapan. Purification of the water objects from heavy metal by means of a bioplateau type hydrophytic construction. In: XII All-Ukrainian Research-Practice Conf. "Biotechnology of the XXI Century" (Kyiv, 2018) p. 114. (Ukr)
31. Yu.A. Kutlahmedov, V.P. Petrusenko. Analysis of the effectiveness of countermeasures for the protection of ecosystems on slope landscapes by the method of chamber models. *Visnyk Natsional'noho Aviatsiynoho Universytetu* 4 (2006) 163. (Ukr)

Надійшла 10.05.2019  
Received 10.05.2019