

О. В. Лапань<sup>1,\*</sup>, О. М. Міхєєв<sup>2</sup>, С. М. Маджд<sup>1</sup><sup>1</sup> Національний авіаційний університет, Київ, Україна<sup>2</sup> Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ, Україна

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

МОДИФІКАЦІЯ СОРБЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ  
РОСЛИННОГО КОМПОНЕНТА БІОПЛАТО ДО <sup>137</sup>Cs

Досліджено дію УФ-С-опромінення на ростові процеси рослинного компонента біоплато. Проведено порівняльне дослідження ефективності очищення водного середовища від іонів радіоцезію рослинами кукурудзи звичайної, що були опромінені УФ-С в різних дозах. Показано вплив щільності вирощування рослин гороху посівного на ступінь очищення водного середовища від іонів <sup>137</sup>Cs.

*Ключові слова:* фітореMediaція, біоплато, наземні рослини, радіонукліди, <sup>137</sup>Cs.

### 1. Вступ

Одним з важливих завдань сьогодення в охороні навколишнього середовища є розробка нових чи вдосконалення існуючих методів покращення стану природного та техногенного середовищ і, зокрема, водних об'єктів. Серед різноманітних забруднень особливо небезпечним для живих організмів є радіонуклідне. У постчорнобильському періоді <sup>137</sup>Cs – один з основних дозоформуєчих радіонуклідів [1 - 3]. У зв'язку з цим мінімізація його вмісту в об'єктах навколишнього середовища залишається актуальною задачею.

Для дезактивації радіонуклідно забруднених вод переважно використовують фізико-хімічні методи, зокрема: хімічне осадження, коагуляцію, екстракцію, іонний обмін, сорбційні, електрохімічні та мембранні методи [4 - 6]. У водних об'єктах <sup>137</sup>Cs в основному знаходиться у вигляді водорозчинних катіонних форм, тому раціональним методом його вилучення є біологічний, а саме фітореMediaція, яка є перспективною з огляду на свою екологічність та економічність. Основою цього методу є процес очищення за рахунок функціонування гідрофітних споруд з вищими водними рослинами (ВВР) та ризосферними мікроорганізмами, які розкладають і/або накопичують різні забруднюючі речовини [7 - 12]. Найбільш рентабельним, з нашої точки зору, серед гідрофітних споруд є біоплато, в яких традиційно використовують біоценози різних видів водних організмів – ВВР, бактерій, водоростей, безхребетних, риб.

Авторами було встановлено [13 - 14], що вищі наземні рослини (ВНР) в умовах водної культури мають таку ж здатність до акумуляції ксенобіотиків, як і ВВР. Використання ВНР як біотичного компонента біоплато має низку переваг, одна з головних – це зручність в експлуатації гідрофіт-

ної споруди: для очищення водного об'єкта не потрібно облаштовувати додаткову ділянку, щоб розмістити біоплато з ВВР, достатньо проростити насіння на субстраті та розташувати конструкції на поверхні водного об'єкта, який потребує очищення.

На процес нагромадження <sup>137</sup>Cs рослинами впливає ряд факторів: специфіка виду та сорту, розвиток кореневої системи, фаза розвитку рослин, їхній фізіологічний стан, рН водного середовища, присутність макрокатионів у водному середовищі [15]. Зі свого боку поглинальну здатність рослин можна модифікувати шляхом зміни щільності вирощування рослин у біоплато чи застосовуючи фактори фізичної природи.

Дослідження впливу УФ-С-опромінення на рослинні об'єкти було здійснено з метою встановлення доз, що підвищують, тобто модифікують, сорбційну здатність рослинного компонента біоплато щодо іонів <sup>137</sup>Cs.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані та вирішені такі завдання:

дослідження впливу УФ-С-опромінення на ростові процеси рослинного компонента біоплато;  
дослідження впливу УФ-С-опромінення на поглинальну здатність рослин біоплато;

вивчення впливу щільності вирощування рослин на ступінь очищення водного середовища від іонів <sup>137</sup>Cs.

### 2. Експериментальні вимірювання

Методика конструювання біоплато була такою: кювети розміром 21 × 12 × 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 см<sup>3</sup>); у кювету наливали 100 мл відстояної водопровідної води;

© О. В. Лапань, О. М. Міхєєв, С. М. Маджд, 2020

пультризатором зволожували поверхню, на якій розміщали насіння кукурудзи звичайної (*Zea mays L.*) гібриду Достаток ( $45 \text{ см}^3$ ) і гороху посівного (*Pisum sativum L.*) сорту Ароніс, потім насіння поміщали у термостат для пророщування за  $t = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Для дослідження дії УФ-С-опромінення на ростові процеси рослин кукурудзи звичайної (*Zea mays L.*) біоплато із семидобовими проростками піддавали дії УФ-С-опромінювання, джерелом якого був опромінювач ОБМ-150 М із двома лампами Philips Special TUV 30 W. Дози опромінення становили 0,25, 0,5, 2, 8 та 20  $\text{кДж/м}^2$  за потужності  $7,5 \text{ Вт/м}^2$ . Потужність УФ-С-випромінювання визначали, враховуючи відстань від джерела опромінення до середини стебла рослин (23 см). Для дослідження впливу опромінення з інтервалом 2-3 доби вимірювали сиру масу рослин кукурудзи звичайної.

Для дослідження дії УФ-С-опромінення на сорбційну здатність рослин біоплато із семидобовими рослинами кукурудзи звичайної (*Zea mays L.*) після опромінення УФ-С культивували на розчині хлориду  $^{137}\text{Cs}$  у скляних ємностях, які попередньо обробляли протягом 3 діб 0,1 М розчином хлориду стабільного  $^{133}\text{Cs}$  з метою запобігання сорбції іонів радіоізотопу цезію внутрішньою поверхнею скла. Використовували відстояну водопровідну воду. З інтервалом 2-3 доби 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 до похибки 3,8 %.

Для дослідження впливу щільності пророщування рослин гороху посівного (*Pisum sativum L.*) на ступінь очищення водного середовища від іонів  $^{137}\text{Cs}$  було використано 4 міні-біоплато, які на 7-у добу розміщували на розчині хлориду цезію ( $V = 0,5 \text{ л}$ ). Для визначення питомої активності радіонукліда протягом двох діб використовували посудину Марінеллі. Вимірювали активність  $^{137}\text{Cs}$  на гамма-спектрометрі СЕГ-001 «АКП-С»-63 до похибки 3,8 %.

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

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

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

### 3. Результати та обговорення

**Дія УФ-С-опромінення на ростові процеси рослин кукурудзи звичайної.** Відомо, що низькі дози чи концентрації фізичного, хімічного або біологічного фактора можуть чинити гормезисний вплив на фізіологічні процеси рослин [16]. Важливим завданням було визначити дози УФ-С-опромінення, які стимулюватимуть ростові показники рослин кукурудзи звичайної, адже існує прямо пропорційна залежність між ростовими і поглинальними властивостями рослин. На рис. 1 і 2 наведено результати вивчення дії опромінення на наростання маси кореневої та стеблової частин проростків кукурудзи звичайної.

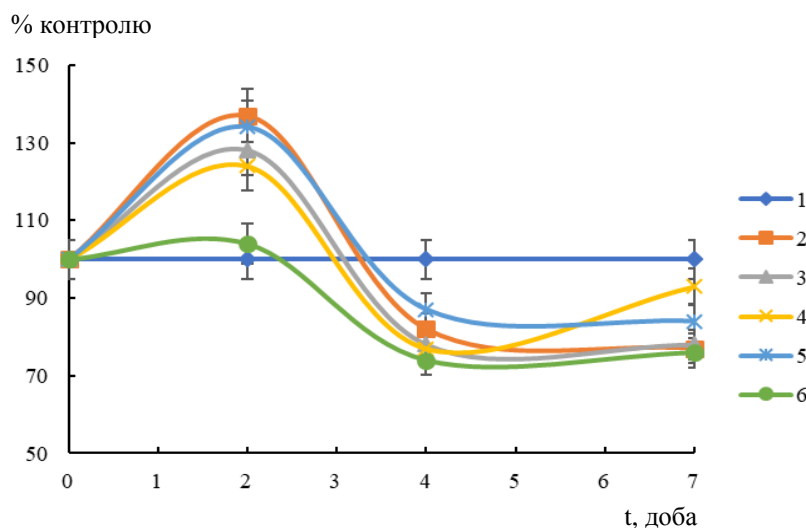


Рис. 1. Динаміка змін маси коренів кукурудзи звичайної залежно від дози УФ-С-опромінення: 1 – контроль; 2 – 0,25, 3 – 0,5, 4 – 2, 5 – 8, 6 – 20  $\text{кДж/м}^2$ . (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

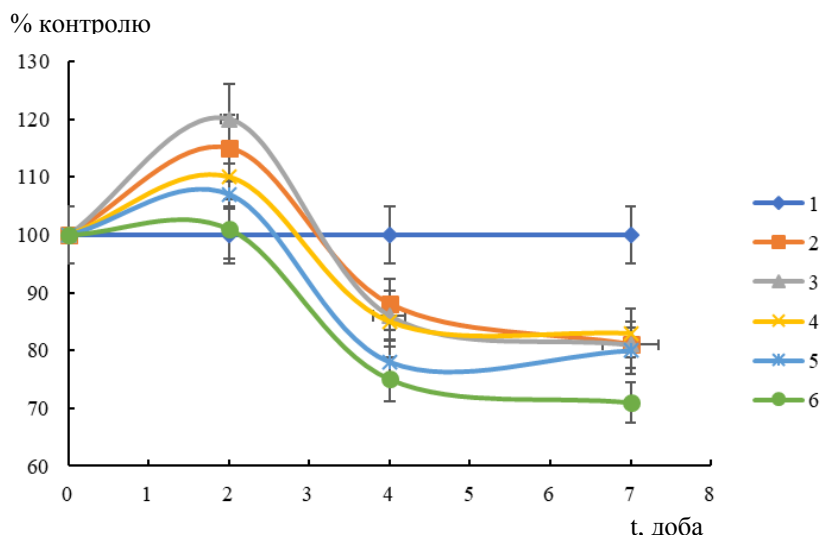


Рис. 2. Динаміка змін маси пагонів кукурудзи звичайної залежно від дози УФ-С-опромінення: 1 – контроль; 2 – 0,25, 3 – 0,5, 4 – 2, 5 – 8, 6 – 20 кДж/м<sup>2</sup>. (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

Результати, представлені на рис. 1, свідчать, що на 2-гу добу після дії стресора спостерігали стимуляцію ростових показників при всіх використаних дозах. На 4-у добу спостереження вищі дози УФ-С інгібували ріст коренів. У подальшому інгібування спостерігали при всіх дозах опромінення.

Установлено, що наростання маси пагонів проростків (див. рис. 2) стимулювалось при всіх використаних дозах опромінення. У подальшому відбувалось пригнічення наростання маси пагонів.

Інгібування росту стеблової частини проростків кукурудзи звичайної, швидше за все, було наслідком деструктивної дії ультрафіолету на клітини листкового мезофілу й одночасно захисної реакції через зменшення площі поверхні ураження стресовим чинником.

Таким чином, можна констатувати, що вищі

показники стимуляції наростання маси коренів та пагонів відбувались при опроміненні проростків кукурудзи звичайної дозами 0,25 - 0,5 кДж/м<sup>2</sup> УФ-С.

**Дія УФ-С-опромінення на сорбційну здатність рослин біоплато.** Отримані дані щодо дії УФ-С-опромінення на ростові процеси рослин кукурудзи звичайної дали можливість досліджувати їхню поглинальну здатність щодо радіоцезію.

З рис. 3 видно, що на 2-у добу інкубації за доз УФ-С-опромінення 0,25 - 2 кДж/м<sup>2</sup> спостерігали стимуляцію поглинання іонів цезію, за інших доз відбувалось пригнічення поглинання <sup>137</sup>Cs. У подальшому, на 4-у та 7-у доби спостереження, ступінь очищення води від цезію становив одне значення при всіх дозах опромінення та дещо перевищував контрольний рівень.

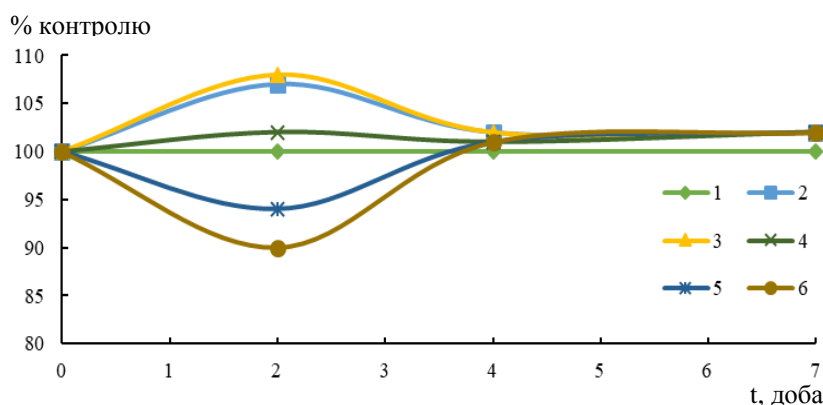


Рис. 3. Дія УФ-С-опромінення на ступінь очищення водного середовища за допомогою біоплато з рослинами кукурудзи звичайної: 1 – контроль; 2 – 0,25, 3 – 0,5, 4 – 2, 5 – 8, 6 – 20 кДж/м<sup>2</sup>; С<sub>0</sub> = 3,0 кБк/л, 3,8 % - похибка вимірювання. (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

Враховуючи отримані результати, можна зробити висновок, що незважаючи на застосовані дози УФ-С-опромінення рослини мають здатність до відновлення своїх поглинальних властивостей. Більш того, установлено, що дози 0,25 - 2 кДж/м<sup>2</sup>

УФ-С-опромінення мали стимулюючий вплив на сорбційну здатність рослин. Таким чином, застосовуючи дані дози УФ-С та збільшивши площу біоплато можна модифікувати, зокрема пришвидшити, процес очищення водного об'єкта.

**Вплив щільності вирощування рослин гороху посівного на сорбцію іонів  $^{137}\text{Cs}$ .** Для вирішення завдання очищення забруднених водних об'єктів за допомогою фіторемедіації, крім описаного вище методу із застосуванням УФ-С-опромінення, одним із засобів управління виносу радіонуклідів, на наш погляд, є варіювання щільністю вирощування рослин у біоплато. Адже підвищення ступеня очищення водного середовища може бути пов'язано з явищем «ефекту групи» [17] та/або збільшенням рослинної біомаси. Таким чином, метою даного етапу роботи було вивчення впливу щільності вирощування рослин на поглинальну здатність біоплато. У ре-

зультаті проведеного дослідження було встановлено, що ступінь очищення середовища від іонів  $^{137}\text{Cs}$  прямо залежав від щільності вирощування рослин гороху посівного. З рис. 4 видно, що навіть за щільності 5 шт/посудину вдалось досягти високого показника очищення середовища від цезію. Проте застосовувати таку щільність нерационально через високий рівень гетерогенності рослин за значеннями фізіологічних показників. Аналіз результатів вимірювання питомої активності водного розчину дозволив установити, що ступінь очищення (СО) води від іонів  $^{137}\text{Cs}$  був пропорційним щільності вирощування рослин.

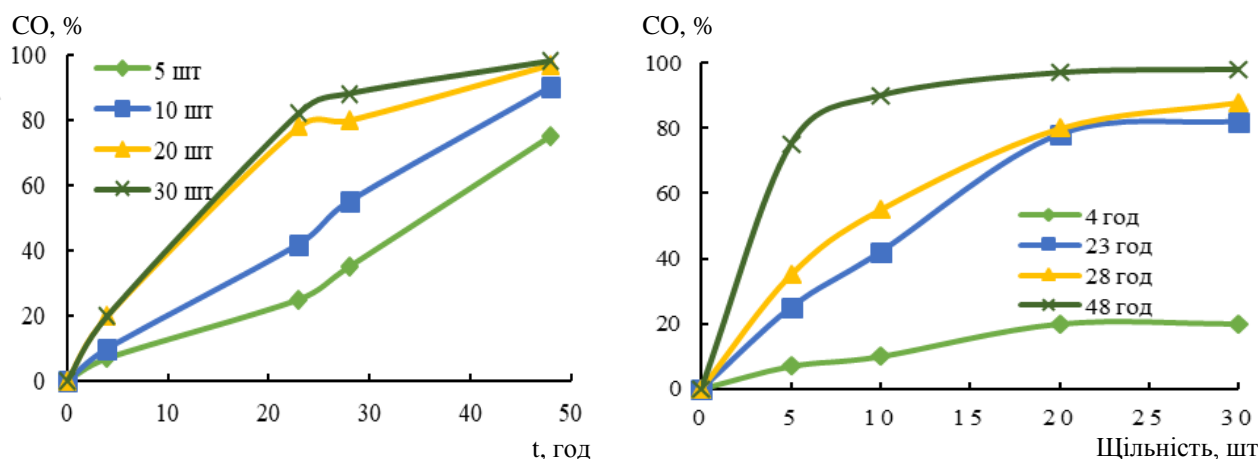


Рис. 4. Вплив щільності вирощування рослин гороху посівного на поглинання іонів  $^{137}\text{Cs}$ ,  $C_0 = 2,2$  кБк/л, 3,8 % - похибка вимірювання. (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

Таким чином, показано, що щільність вирощування рослин може бути суттєвим модифікуючим фактором, який істотно впливає на ступінь очищення водного середовища. Застосовуючи даний фактор у практиці фітодезактивації водних об'єктів можна за короткий проміжок часу досягнути необхідного рівня очищення водного об'єкта.

#### 4. Висновки

1. Досліджено дію УФ-С-опромінення на ростові процеси рослинного компонента біоплато. Установлено, що дози 0,25 - 0,5 кДж/м<sup>2</sup> підсилю-

вали наростання маси коренів та пагонів кукурудзи звичайної на 4 - 37 та 7 - 20 % відповідно.

2. Доведено пряму залежність між ростовими та сорбційними показниками рослин біоплато. Проведені дослідження дали змогу підвищити на 9 % очищення водного середовища від іонів цезію.

3. Досліджено дію фактора щільності вирощування рослин у біоплато на ступінь очищення водного середовища. Установлено, що ступінь очищення води від іонів  $^{137}\text{Cs}$  був пропорційним щільності вирощування рослин гороху посівного. Зокрема, за максимальної щільності 0,6 проростків/см<sup>2</sup> ефект очищення води становив 98 %.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Г.Н. Пшинко и др. Извлечение радионуклидов цезия и стронция из водных сред магнитным калийцинковым гексацианоферратом (II). *Радиохимия* 58 (2016) 424.
2. В.Д. Романенко та ін. Гідроекологічна безпека атомної енергетики України. *Вісн. НАН України* 6 (2012) 41.
3. 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.
4. В.В. Милютин. Сорбция радионуклидов цезия из водных растворов на природных и модифицированных глинах. Сорбционные и хроматографические процессы 14 (2014) 879.
5. H. Zhang. Sorption behavior of cesium from aqueous solution on magnetic hexacyanoferrate materials. *Nuclear Engineering and Design* 275 (2014) 322.
6. І.А. Буртна, Д.В. Литвиненко. Огляд мембранних технологій очистки води у водопостачанні та во-

- допідготовці. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий* 6(10) (2012) 4.
7. Д.В. Ульрих, М.Н. Брюхов. Возможность использования фиторемедиационных сооружений в очистке сточных вод. Наука ЮУрГУ. Матер. 66-й науч. Конф. (Челябинск, 2014) с. 1050.
  8. Ю.Г. Крот. Высшие растения в биотехнологии очистки поверхностных и сточных вод. *Гидробиол. журн.* 42 (2006) 47.
  9. 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.
  10. Ю.Н. Соколов и др. Використання біоплато для зменшення біогенного забруднення водоєм та водотоків. *Вісн. Одес. держ. екол. ун-ту* 7 (2009) 20.
  11. В.Д. Романенко, Ю.Г. Крот. Биотехнологическое направление исследование в Институте гидробиологии НАН Украины. *Гидробиол. журн.* 2 (2015) 23.
  12. В.Д. Романенко та ін. *Природні і штучні біоплато. Фундаментальні та прикладні аспекти* (К.: Наук. думка, 2012) 112 с.
  13. 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.
  14. 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) 51.
  15. І.М. Гудков. *Радіобіологія. Підручник для вищих навч. закладів* (К.: НУБіП України, 2016) 485 с.
  16. А.Н. Михеев. *Гиперадаптация. Стимулированная онтогенетическая адаптация растений* (К.: Фитосоцицентр, 2015) 423 с.
  17. А.Ф. Титов, С.П. Критенко. Влияние хлорамфеникола на холодное закаливание растений на свету и в темноте. *Физиология растений* 3 (1983) 249.

О. В. Лапаны<sup>1,\*</sup>, А. Н. Михеев<sup>2</sup>, С. М. Маджд<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Национальный авиационный университет, Киев, Украина*

<sup>2</sup> *Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев, Украина*

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

### МОДИФИКАЦИЯ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ РАСТИТЕЛЬНОГО КОМПОНЕНТА БИОПЛАТО ОТНОСИТЕЛЬНО <sup>137</sup>Cs

Исследовано действие УФ-С-облучения на ростовые процессы растительного компонента биоплато. Проведено сравнительное исследование эффективности очистки водной среды от ионов радиоцезия растениями кукурузы обыкновенной, которые были облучены УФ-С в различных дозах. Показано влияние плотности выращивания растений гороха посевного на степень очистки водной среды от ионов <sup>137</sup>Cs.

*Ключевые слова:* фиторемедиация, биоплато, наземные растения, радионуклиды, <sup>137</sup>Cs, модификация.

O. V. Lapan<sup>1,\*</sup>, O. M. Mikhyeyev<sup>2</sup>, S. M. Madzhd<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *National Aviation University, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup> *Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

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

### MODIFICATION OF THE SORPTION ABILITY OF THE PLANT'S COMPONENT OF THE BIOPLA TO REGARDING <sup>137</sup>Cs

The effect of UV-C irradiation on the growth processes of the plant component of the bioplato has been studied. A comparative study of the effectiveness of cleaning the aqueous medium from radiocaesium ions by sugar maize plants that were irradiated with UV-C in various doses has been carried out. The influence of the growing density of plants of planting peas on the degree of purification of the aqueous medium from <sup>137</sup>Cs ions has been shown.

*Keywords:* phytoremediation, bioplato, land plants, radionuclides, <sup>137</sup>Cs, modification.

#### REFERENCES

1. G.N. Pshinko et al. Extraction of cesium and strontium radionuclides from aqueous media by magnetic potassium zinc hexacyanoferrate (II). *Radiokhimiya* 58 (2016) 424. (Rus)
2. V.D. Romanenko et al. Hydroecological safety of Ukraine's nuclear power. *Visnyk NAN Ukrainy* 6 (2012) 41. (Ukr)
3. P.A. Yakimchuk. Cytogenetic consequences of radionuclide contamination of the 30-km zone 25 years after the Chernobyl accident. *Fiziologiya i Biokhimiya Kul'turnykh Rasteniy* 45 (2013) 260. (Ukr)
4. V.V. Milyutin. Sorption of cesium radionuclides from aqueous solutions on natural and modified clays. *Sorbtsionnyye i Khromatograficheskiye Protsesty* 14 (2014) 879. (Rus)
5. H. Zhang. Sorption behavior of cesium from aqueous solution on magnetic hexacyanoferrate materials. *Nuclear Engineering and Design* 275 (2014) 322.

6. I.A. Burtina, D.V. Litvinenko. Overview of membrane water treatment technologies in water supply and water treatment. *Vostochno-Evropeyskiy Zhurnal Peredovykh Tekhnologiy* 6(10) (2012) 4. (Ukr)
7. D.V. Ulrich, M.N. Brukhov. The possibility of using phytoremediation facilities in wastewater treatment. Science of South Ural State University. Proc. of the 66-th Sci. Conf. (Chelyabinsk, 2014) p. 1050. (Rus)
8. Yu.G. Krot. Higher plants in biotechnology for surface and wastewater treatment. *Gidrobiologicheskii Zhurnal* 42 (2006) 47. (Rus)
9. 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)
10. Yu.N. Sokolov et al. Use of bio-plateau to reduce biogenic pollution of water bodies and watercourses. *Visnyk Odes'koho Derzhavnoho Ekolohichnoho Universytetu* 7 (2009) 20. (Ukr)
11. V.D. Romanenko, Yu.G. Krot. Biotechnological research direction at the Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine. *Gidrobiologicheskii Zhurnal* 2 (2015) 23. (Rus)
12. V.D. Romanenko et al. *Natural and Artificial Bioplateau. Fundamental and Applied Aspects* (Kyiv: Naukova Dumka, 2012) 112 p. (Ukr)
13. 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.
14. 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) 51.
15. I.M. Gudkov. *Radiobiology. Textbook for Higher Education Institutions* (Kyiv, National University of Bioresources and Environmental Management of Ukraine, 2016) 485 p. (Ukr)
16. A.N. Mikheev. *Hyperadaptation. Stimulated Ontogenetic Adaptation of Plants* (Kyiv: Fitosotsiotsentr, 2015) 423 p. (Rus)
17. A.F. Titov, S.P. Kritenko. The effect of chloramphenicol on the cold hardening of plants in the light and in the dark. *Fiziologiya Rasteniy* 3 (1983) 249. (Rus)

Надійшла/Received 18.10.2019