

АНОТАЦІЯ

Лапань О. В. Очищення водойм від ^{137}Cs та важких металів наземними рослинами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 «Біологія» («09» Біологія) – Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ, 2020.

Результати аналізу досліджень вітчизняних та закордонних учених дозволяють констатувати, що одними з найбільш небезпечних токсикантів, які спровокували значне підвищення рівня забруднення водних ресурсів планети, є радіонукліди та метали. Вказані забруднюючі речовини здатні до міграції і біоаккумуляції та шкідливо впливають на здоров'я людини та біоту. У зв'язку з цим все актуальнішими стають дослідження, спрямовані на створення ефективних, екологічно безпечних і економічно рентабельних систем відновлення якості великих об'ємів водних середовищ, тобто розроблення нових чи удосконалення існуючих методів вилучення зазначених токсикантів із водойм.

Дисертацію присвячено вирішенню важливого завдання – науковому обґрунтуванню розроблення фіторемедіаційної технології, яка складається з вивчення поглинальної здатності наземних рослин та створення ефективної гідрофітної споруди типу біоплато.

У роботі використано такі методи досліджень: теоретичний аналіз для узагальнення результатів досліджень вітчизняних та зарубіжних дослідників (під час аналізу наукової літератури); метод камерних моделей для моделювання перенесення і міграції радіонуклідів в екосистемі «експериментальна водойма – рослини»; УФ-С-опромінення рослин; фізіологічні – культивування рослин в умовах аквапоніки, визначення морфометричних параметрів наземних рослин та спостереження за життєдіяльністю рослин; лабораторні аналітичні (метод атомно-абсорбційної спектрометрії та мас-спектрометрії для визначення концентрації іонів важких

металів, рН-іонометрію – для вимірювання рН водних розчинів, радіометричний метод визначення радіоактивності зразків води та рослин за ^{137}Cs); математичної статистики (для оброблення первинних експериментальних даних і оцінки достовірності одержаних результатів).

У дисертації за допомогою скринінгових досліджень виявлено сорбційні властивості наземних видів трав'янистих рослин (*Secale cereale* L. (сорт Забава), *Hordeum vulgare* L. (сорт Ластер), *Phleum pratense* L. (сорт Люлинецька 1), *Triticum vulgare* L. (сорт Миронівська 808), *Festuca pratensis* Huds. (сорт Діброва), *Pisum sativum* L. (сорт Ароніс), *Dactylis glomerata* L. (сорт Муравка), *Avena sativa* L. (сорт Саргон) та *Zea mays* L. (сорт Достаток) стосовно іонів ^{137}Cs та металів (Cd(II), Zn(II), Cr(VI)) у водному середовищі. Всі перелічені види досліджуваних рослин зберігали здатність до росту у водному середовищі ($V = 2,5$ л) протягом 30 діб. Коефіцієнти накопичення загальної фітомаси становили: ^{137}Cs (1000–1720), Zn(II) (221–310), Cd(II) (94–215) та Cr(VI) (123–245).

Встановлено, що вплив конкуруючих іонів на вилучення ^{137}Cs із водного розчину рослинами *Zea mays* L. зростав в ряду $\text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Na}^{+} < \text{K}^{+}$. Зі збільшенням діапазону твердості води (3,5–19 мг-екв/л) ступінь очищення середовища від ^{137}Cs практично не змінювався.

Виявлено, що сорбційна здатність рослин стосовно ^{137}Cs та металів (Zn(II), Cd(II)) підвищується за рахунок УФ-С-опромінення та збільшення щільності вирощування рослин. Вплив УФ-С-опромінення (0,25–0,5 кДж/м²) рослин *Zea mays* L. та збільшення щільності вирощування рослин *Secale cereale* L. (6500–25800 шт./м²), *Phleum pratense* L. (183 500–734 600 шт./м²) та *Pisum sativum* L. (1130–6780 шт./м²) збільшувало фітосорбційну здатність на 8–22 %.

Досліджено дію іонів металів (Cd(II), Zn(II), Cr(VI)) на ростові показники деяких видів вищих наземних рослин. Встановлено, що стійкість до впливу токсичних металів залежить від виду рослин, а низькі концентрації останніх можуть спричиняти гормезисну дію на ріст та розвиток рослин. Визначено

діапазон концентрацій Cd(II), Zn(II) та Cr(VI) (1–100 мг/л), у якому ефективно відбувається процес очищення водного середовища досліджуваними рослинами (*Secale cereale L.*, *Phleum pratense L.*, *Avena sativa L.*).

Було з'ясовано, що ефективність вилучення металів з водних розчинів залежала від рН середовища. Найменша концентрація токсичних металів у воді була зафіксована при рН 7,5–9. Примусова аерація водного середовища (насос Regent Calm RC-004 потужністю 2,7 Вт) підвищувала показники фітосорбції Cd(II) на 11 % рослинами *Secale cereale L.* Найвищі показники фітосорбції *Secale cereale L.* зафіксовано за концентрації Cd(II) у водному середовищі на рівні 1 мг/л.

У результаті отриманої у експерименті динаміки вмісту металів у воді виявлено, що для очищення водойм від Cd(II) доцільно використовувати *Secale cereale L.* та *Phleum pratense L.*, для очищення водойм від Zn(II) – *Festuca pratensis Huds.* та *Zea mays L.*, а для зменшення рівня забруднення водних об'єктів від Cr(VI) слід застосовувати рослини *Phleum pratense L.* та *Zea mays L.*

Запропоновано конструкцію плаваючої гідрофітної споруди на основі гранульованого пінополістиролу з вищими наземними рослинами, застосування яких у споруді, на відміну від вищих водяних рослин, полегшує етапи конструювання біоплато, його транспортування на значні відстані з метою розміщення на дзеркалах водних об'єктів, які потребують очищення від розчинних форм радіонуклідів та токсичних металів, і не руйнується протягом всього необхідного періоду дезактивації.

На підставі дослідження розподілу ^{137}Cs за складовими біоплато встановлено, що поглинання радіонукліду відбувається переважно рослинним компонентом конструкції. Завдяки моделюванню динаміки накопичення ^{137}Cs в системі «експериментальна водойма – рослини (біоплато)» можна припустити, що закономірності міграції токсиканту в цій системі в діапазоні не досліджуваних концентрацій будуть аналогічними до тих, що були висвітлені у межах вмісту токсикантів у проведеному експерименті.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у створенні наукових засад очищення водойм від ^{137}Cs та токсичних металів наземними рослинами, а саме уперше:

– проведено оцінювання ефективності очищення водного середовища шляхом використання нової конструкції (типу біоплато), біотичним компонентом якої є вищі наземні рослини (*Secale cereale* L. (сорт Забава), *Hordeum vulgare* L. (сорт Ластер), *Phleum pratense* L. (сорт Люлинецька 1), *Triticum vulgare* L. (сорт Миронівська 808), *Festuca pratensis* Huds. (сорт Діброва), *Pisum sativum* L. (сорт Ароніс), *Dactylis glomerata* L. (сорт Муравка), *Avena sativa* L. (сорт Саргон) та *Zea mays* L. (сорт Достаток)), від ^{137}Cs , Cr(VI), Zn(II) та Cd(II);

– встановлено, що УФ-С-опромінення та збільшення щільності вирощування наземних видів рослин (*Zea mays* L., *Secale cereale* L., *Phleum pratense* L., *Pisum sativum* L.) суттєво підвищує інтенсивність фітосорбції щодо ^{137}Cs та металів. Виявлено, що ефективність вилучення рослинами *Secale cereale* L. металів з водних розчинів залежала від ступеня аерації водного середовища, а також від значення рН;

– показано вплив конкуруючих іонів (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+) на вилучення ^{137}Cs із водного розчину рослинами *Zea mays* L.;

– визначено діапазон концентрацій кадмію, цинку та хрому, у якому ефективно відбувається процес очищення водного середовища досліджуваними рослинами (*Secale cereale* L., *Phleum pratense* L., *Avena sativa* L.).

Удосконалено систему очищення водних об'єктів від ^{137}Cs та металів за рахунок розроблення й застосування гідрофітної споруди з новим біотичним та абіотичним компонентами, що зменшує навантаження на природні водні екосистеми.

Набули подальшого розвитку уявлення про фітореMediaційну методологію, а саме застосування гідрофітної споруди типу біоплато з метою зменшення забруднення водних середовищ.

Практичне значення отриманих результатів

Результати досліджень доповнюють сучасні уявлення про сорбційну здатність деяких трав'янистих наземних видів рослин для застосування у фіторе mediaційній практиці, зокрема створення ефективної сорбційної споруди типу біоплато для очищення водних об'єктів від ^{137}Cs та іонів металів до рівня, що відповідає вимогам чинних нормативних документів для джерел питного водопостачання. Запропонована конструкція типу біоплато є ефективним засобом для практичного використання задля очищення або доочищення великих об'ємів води з метою ліквідації наслідків аварійних емісій радіонуклідів на атомних електростанціях, для очищення ґрунтів від радіонуклідного забруднення шляхом фітоекстракції розчинів після етапу вилуговування, для видобування цінних металів із водних середовищ.

Результати теоретичних та практичних досліджень:

– використовуються в практичній діяльності ТОВ «БІЗНЕС АБСОЛЮТ» шляхом впровадження у проектну документацію та під час розроблення очисних споруд промислових підприємств, що дозволило модернізувати технологічні схеми очисних споруд та підвищити ефективність очищення стічних вод промислового підприємства;

– застосовуються в практичній діяльності ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», що дало можливість значно підвищити ефективність роботи інституту у вирішенні актуальних завдань екологічної безпеки поверхневих водних об'єктів України;

– впроваджені в навчальний процес Національного авіаційного університету під час проведення лабораторних робіт з дисципліни «Радіоекологія»;

– впроваджені в навчальний процес ДЗ «Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління» під час проведення лабораторних робіт з дисципліни «Біологічна безпека»;

– лягли в основу монографії «Використання гідрофітних систем для відновлення якості забруднених вод».

Розроблено новий біоінженерний пристрій у формі біоплато (деклараційний патент України №107555) для покращення екологічного стану водних об'єктів шляхом очищення водою від радіонуклідів.

Розроблено нову комплексну біоінженерну систему типу біоплато (деклараційний патент України №117067) для забезпечення покращення екологічного стану всіх складових гідроекосистеми малих та середніх річок, шляхом очищення поверхневого, придонного шару води та донних відкладів, що створює екологічно безпечні умови їх розвитку.

Ключові слова: водойма, фітореMediaція, наземні рослини, ^{137}Cs , метали (цинк (II), кадмій (II), хром (VI)), біоплато.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Міхеєв О. М., Маджд С. М., Лапань О. В., Кулинич Я. І. Використання гідрофітних систем для відновлення якості забруднених вод: монографія. Київ: Центр учбової літератури, 2018. 171 с.

Особистий внесок: підготувала розділ 2 «Гідрофітні системи та їх роль у відновленні якості забруднених вод» та розділ 7 «Використання наземних рослин у цілях фітореMediaції».

2. Міхеєв О. М., Лапань О. В. Дезактивація водних об'єктів від ^{137}Cs за допомогою біоплато. *Ядерна фізика та енергетика*. 2019. Т. 20, № 3. С. 304–310.

Особистий внесок: провела пошук літератури за темою публікації, дослідила вплив щільності вирощування рослин на їхню сорбційну здатність щодо іонів ^{137}Cs , дослідила розподіл активності ^{137}Cs по структурних компонентах біоплато, оформила статтю.

3. Міхеєв О. М., Лапань О. В., Маджд С. М. Біологічне очищення водних об'єктів від Cs-137. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія*. 2019. Т. 75, №1. С. 68–73.

Особистий внесок: провела пошук літератури за темою публікації, дослідила сорбційну здатність наземних рослин щодо ^{137}Cs , провела моделювання динаміки накопичення ^{137}Cs у системі «експериментальна водойма – наземні рослини», оформила статтю.

4. Міхєєв О. М., Лапань О. В. Дія іонів кадмію на ростові процеси рослинного компонента біоплато. *Фізіологія рослин і генетика*. 2019. Т. 51, №4. С. 338–346.

Особистий внесок: провела пошук літератури за темою публікації, дослідила вплив Cd(II) на фізіологічні параметри рослин, оформила статтю.

5. Міхєєв О. М., Лапань О. В. Фіторемедіаційний метод очищення водних об'єктів від важких металів та радіонуклідів. *Доповіді Нац. Академії наук України*. 2019. № 4. С. 81–85.

Особистий внесок: провела пошук літератури за темою публікації, дослідила сорбційну здатність наземних рослин щодо ^{137}Cs та важких металів, оформила статтю.

6. Лапань О. В., Міхєєв О. М. Біоплато для очищення водних об'єктів від важких металів. *Доповіді Нац. Академії наук України*. 2019. № 9. С. 77–81.

Особистий внесок: провела пошук літератури за темою публікації, дослідила сорбційну здатність наземних рослин щодо важких металів, оформила статтю.

7. Mixueyev O. M, Udod V. M., Madzhd S. M., Lapan O. V., Kulynych Ya. I. Increasing of natural subsystems bufferness to minimize anthropogenic pressure on hydrological ecosystems. *East European Scientific Journal*. 2016. Vol. 1, No. 9 (13) part 1. P. 10–14.

Особистий внесок: проаналізувала антропогенні чинники та особливості їх впливу на стан водойм, оформила статтю.

8. Mixueyev O. M, Madzhd S. M., Lapan O. V. New method of floating bioplato construction for phytodesactivation of water bodies of civil aviation enterprises. *East European Scientific Journal*. 2016. Vol. 3, No. 5(9). P. 135–142.

Особистий внесок: провела скринінг наземних рослин-гіперакумуляторів ^{137}Cs , оформила статтю.

9. Mikheev A. N., Lapan O. V., Madzhd S. M. Experimental foundations of a new method for rhizofiltration treatment of aqueous ecosystems from ^{137}Cs . *Journal of water chemistry and technology*. 2017. Vol. 39, No. 4. P. 245–249.

Особистий внесок: провела пошук літератури за темою публікації, провела скринінг наземних рослин-гіперакумуляторів ^{137}Cs , дослідила різні види субстрату, що забезпечують високу плавучість та щільний зв'язок з кореневою системою рослин, дослідила сорбційну здатність наземних рослин щодо ^{137}Cs , оформила статтю.

10. Mikheev A. N., Lapan O. V., Madzhd S. M. Development of a new method of garment filtering purification of water objects of chrome (VI). *Journal of water chemistry and technology*. 2018. Vol. 40, No. 3. P. 157–159.

Особистий внесок: провела пошук літератури за темою публікації, провела скринінг наземних рослин-гіперакумуляторів ^{137}Cs , дослідила різні види субстрату, що забезпечують високу плавучість та щільний зв'язок з кореневою системою рослин, дослідила сорбційну здатність наземних рослин щодо Cr(VI), оформила статтю.

11. Lapan O. V., Mikheev O. M., Madzhd S. M. Development of a new method of rhizofiltration purification of water objects of Zn(II) and Cd(II). *Journal of water chemistry and technology*. 2019. Vol. 41, No. 1. P. 52–56.

Особистий внесок: провела пошук літератури за темою публікації, дослідила сорбційну здатність наземних рослин щодо Zn(II) та Cd(II), дослідила вплив щільності вирощування рослин на їхню сорбційну здатність щодо Zn(II) та Cd(II), оформила статтю.

12. Lapan O. V., Mikhyeyev O. M., Madzhd S. M., Dmytrukha T. I., Cherniak L. M., Petrusenko V. P. Water Purification from Ions of Cadmium (II) Using a Bio-Plateau. *Journal of Ecological Engineering*. 2019. Vol. 20. Iss. 11. P. 29–34.

Особистий внесок: провела пошук літератури за темою публікації, дослідила сорбційну здатність наземних рослин щодо Cd(II), дослідила вплив рН середовища та примусової аерації на сорбційну здатність наземних рослин, оформила статтю.

які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

13. Михеев А. Н., Лапань О. В., Маджд С. М., Пчеловская С. А. Новый способ конструирования биоплато для очистки водоемов от радионуклидов. *Современные тенденции развития науки и технологий: материалы VIII Международной научно-практической конференции* (г. Белгород, 30 ноября 2015). Белгород, 2015. С.107–113.

Особистий внесок: дослідила різні види субстрату, що забезпечують високу плавучість та щільний зв'язок з кореневою системою рослин, брала участь у конструюванні біоплато для очищення водойм, оформила тези.

14. Міхеєв О. М., Лапань О. В., Маджд С. М. Новый метод конструирования биоплато для целей ризофльтрации. *Вода: проблемы та шляхи вирішення:* матер. Всеукр. наук.-практ. конф. (Житомир, 6–8 липня 2016). Житомир, ЖДУ ім. І. Франка, 2016. С. 154–158.

Особистий внесок: дослідила сорбційну здатність наземних рослин щодо ¹³⁷Cs, брала участь у конструюванні біоплато для очищення водойм, оформила тези.

15. Міхеєв О. М., Овсяннікова Л. Г., Маджд С. М., Лапань О. В. Розробка технології деконтамінації одних об'єктів від радіонуклідного та хімічного забруднення. *Біотехнологія XXI століття:* матер. X Всеукр. наук.-практич. конф., присвяч. 135-й річниці від дня народж. Олександра Флемінга (Київ, 22 квітня 2016). К.: НТУУ «КПІ», 2016. С. 155.

Особистий внесок: дослідила сорбційну здатність наземних рослин щодо важких металів, оформила тези.

16. Міхеєв О. М., Лапань О. В., Овсяннікова Л. Г., Маджд С. М. Використання нового типу біоплато для очищення водних об'єктів від радіонуклідного та хімічного забруднення. *Матеріали XXIV щорічної наукової*

конференції Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 10–13 квітня 2017). Київ: Ін-т ядерн. дослідж., 2017. С. 240–241.

Особистий внесок: дослідила сорбційну здатність наземних рослин щодо важких металів, оформила тези.

17. Mikhieiev O. M., Lapan O. V., Ovsiannikova L. H. Water bodies treatment from radionuclides and chemical pollution. *Shevchenkivska vesna: bioscience advances: materials XV International conference of students and young scientists* (Kyiv, 18–21 April 2017). Kyiv, 2017. P. 12–13.

Особистий внесок: дослідила сорбційну здатність наземних рослин щодо важких металів, оформила тези.

18. Міхеєв О. М., Лапань О. В., Маджд С. М. Використання гідрофітної системи типу біоплато для відновлення якості забруднених важкими металами та радіонуклідами вод. *Радіаційно і техногенно-екологічна безпека людини та довкілля: стан, шляхи і заходи покращення: матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Миколаїв – м. Очаків, 2–6 червня 2018)*. Миколаїв, 2018. С. 54–55.

Особистий внесок: дослідила сорбційну здатність наземних рослин щодо важких металів, оформила тези.

19. Міхеєв О. М., Лапань О. В. Очистка водних об'єктів від важких металів за допомогою гідрофітної споруди типу біоплато. *Біотехнологія XXI століття: матеріали XII Всеукр. наук. – практик. конф., присвяч. 100-річчю з дня народження Артура Корнберга* (Київ, 20 квітня 2018). Київ, 2018. С. 114.

Особистий внесок: дослідила сорбційну здатність наземних рослин щодо важких металів, оформила тези.

20. Лапань О. В., Кудрявцева Д. О. Досвід використання гідрофітних споруд в Україні. *Сучасна гідроекологія. Місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем: матеріали V Науково-практичної конференції для молодих вчених* (Київ, 14–15 листопада 2018). Київ, 2018. С. 31–32.

Особистий внесок: провела пошук літератури за темою публікації, оформила тези.

21. Лапань О. В., Міхеєв О. М. Вплив іонів Cd(II) на фізіологічні параметри рослин. *Сьогодення біологічної науки: матеріали II Міжнародної наукової конференції* (Суми, 09–10 листопада 2018). Суми, 2018. С. 140–142.

Особистий внесок: дослідила вплив Cd(II) на фізіологічні параметри рослин, оформила тези.

22. Лапань О. В., Міхеєв О. М. Вплив рН середовища на ефективність поглинання іонів кадмію (II) біоплато. *Біотехнологія XXI століття: матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених присвяченої 185-річчю від дня народження Дмитра Івановича Менделєєва*, (Київ, 19 квітня 2019). Київ, 2019. С. 121.

Особистий внесок: дослідила вплив рН середовища на сорбційну здатність наземних рослин, оформила тези.

23. Лапань О. В., Міхеєв О. М. Очищення водних об'єктів від Cs-137 за допомогою гідрофітної споруди типу біоплато. *Чиста вода і ремедіаційні технології. Наголос на Чорнобильській катастрофі та інших антропогенних забрудненнях: матеріали семінару з міжнародною участю* (Київ, 23 квітня, 2019). Київ, 2019. С. 7.

Особистий внесок: дослідила сорбційну здатність наземних рослин щодо ¹³⁷Cs, оформила тези.

24. Лапань О. В., Міхеєв О. М. Вплив вихідної концентрації іонів Cd(II) на сорбційні властивості біоплато. *Радіаційна і техногенно-екологічна безпека людини та довкілля: стан, шляхи і заходи покращення: Матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Миколаїв – с. Коблево, 6–9 червня 2019). Миколаїв, 2019. С. 58.

Особистий внесок: дослідила вплив вихідної концентрації Cd(II) на сорбційні властивості наземних рослин, оформила тези.

25. Міхеєв О. М., Лапань О. В. Біоплато для очищення водних об'єктів від радіонуклідів. *7-й з'їзд Радіобіологічного товариства України: тези доповідей* (Київ, 1–4 жовтня 2019). Київ, 2019. С. 94.

Особистий внесок: дослідила розподіл активності ^{137}Cs по структурних компонентах біоплато, оформила тези.

26. Лапань О. В., Міхєєв О. М. Вплив примусової аерації на фітосорбцію іонів $\text{Cd}(\text{II})$ з водного розчину. *Біотехнологія: завершення та надії:* матеріали VIII Міжнародної науково-практичної онлайн конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (Київ, 15 листопада 2019 року). Київ: НУБІП, 2019. С. 91–92.

Особистий внесок: дослідила вплив додаткової аерації та сорбційну здатність наземних рослин, оформила тези.

27. Лапань О. В. Вплив щільності вирощування наземних рослин на ступінь очищення водного середовища від іонів $\text{Zn}(\text{II})$. *Біологічні дослідження – 2020:* матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції (Житомир, 21–23 березня 2020 р.). Житомир, 2020. С. 346–348.

Особистий внесок: дослідила вплив щільності вирощування рослин на їхню сорбційну здатність щодо іонів $\text{Zn}(\text{II})$, оформила тези.

28. Лапань О. В., Міхєєв О. М. Очищення водойм від ^{137}Cs наземними рослинами. *Проблеми функціонування та підвищення біопродуктивності водних екосистем:* матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 25–27 березня 2020 року). Дніпро, С. 120–121.

Особистий внесок: дослідила сорбційну здатність рослин щодо ^{137}Cs , оформила тези.

які додатково відображають наукові результати дисертації:

29. Біоплато для очищення стічних вод та водойм від радіонуклідів. Пат. UA 107555 U МПК C02F 3/32, № u 201513003, заяв. 29.12.2015, опубл. 10.06.2016, бюл. №11. 2016 р.

Особистий внесок: провела патентний пошук, здійснила обґрунтування вибору видів наземних рослин для біотичної компоненти біоплато, брала участь у конструюванні гідрофітної споруди типу біоплато та перевірці його ефективності в лабораторних та польових умовах.

30. Комплексна біоінженерна система для очищення водою: Пат. 117067 UA, МПК С02F 3/32 (2006.01), E02B 15/00 (2006.01), № u 201700555; заяв. 20.01.2017; опубл. 12.06.2017, Бюл. № 11, 2017 р.

Особистий внесок: провела патентний пошук, здійснила обґрунтування вибору видів наземних рослин для біотичної компоненти біоплато, брала участь у конструюванні гідрофітної споруди типу біоплато та перевірці його ефективності в лабораторних та польових умовах.