

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГІДРОБІОЛОГІЇ

ПРИШЛЯК СЕРГІЙ ПЕТРОВИЧ

УДК [577.34 : 581.526.3] (504.45)

**РАДІОНУКЛІДНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ВИЩИХ ВОДЯНИХ РОСЛИН ТА
РОЛЬ ГЕЛОФІТІВ У МІГРАЦІЇ ^{137}Cs У ПРІСНОВОДНИХ ВОДОЙМАХ**

03.00.17 – гідробіологія

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті гідробіології НАН України, м. Київ

Науковий керівник: доктор біологічних наук,
старший науковий співробітник
Волкова Олена Миколаївна,
Інститут гідробіології НАН України,
провідний науковий співробітник
відділу водної радіоекології

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук,
старший науковий співробітник,
Міхєєв Олександр Миколайович,
Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН
України, завідувач лабораторії радіаційної епігеноміки
відділу біофізики і радіобіології.

кандидат біологічних наук, доцент,
Корнійчук Наталія Миколаївна,
Житомирський державний університет імені Івана
Франка, проректор з навчальної роботи

Захист дисертації відбудеться «15» травня 2019 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.213.01 Інституту гідробіології НАН України за адресою: Проспект Героїв Сталінграда, 12, м. Київ, Україна, 04210.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту гідробіології НАН України за адресою: Проспект Героїв Сталінграда, 12, м. Київ, Україна, 04210.

Автореферат розіслано « ____ » _____ 2019 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради,
доктор біологічних наук



Н.І. Кірпенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Упродовж останнього століття техногенна діяльність, стрімкий розвиток виробництва та впровадження наукових досягнень без належної оцінки їхнього впливу на довкілля призвели до низки серйозних наслідків – глобального потепління, забруднення екосистем відходами техногенного походження, важкими металами, пестицидами, штучними радіоактивними елементами. Внаслідок експлуатації підприємств атомної енергетики та аварій на підприємствах ядерного паливного циклу до навколишнього середовища надходять техногенні радіонукліди, які стають постійно діючим фактором впливу на біосистеми різного рівня організації. Негативний вплив тривалоіснуючих радіонуклідів визначається їхньою високою біологічною активністю, яка призводить до зміни генома клітини та інших порушень функціонування живих систем (Романенко, 2004; Тютюнник, 2004)

Проблеми радіонуклідного забруднення довкілля, зокрема наслідків надходження техногенних радіонуклідів у водні екосистеми після аварії на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС) у 1986 р., висвітлюються у багатьох літературних джерелах, у тому числі фахівців Інституту гідробіології НАН України (Романенко та ін., 1992; Кузьменко та ін., 2001, 2010; Гудков, 2006; Крышев, 2008). Значний обсяг виконаних досліджень був пов'язаний з встановленням закономірностей накопичення та перерозподілу радіоактивних елементів у компонентах водойм зони відчуження та дніпровських водосховищ, визначенням дози опромінення населення за рахунок «водної складової».

На теперішній час одними з пріоритетних напрямків гідробіологічних досліджень у галузі радіоекології вважаються вивчення закономірностей міграції радіоактивних речовин у компонентах природних екосистем та прогнозна оцінка забруднення водних екосистем методами математичного моделювання (Гудков, 2016). У водній радіоекології переважна більшість моделей присвячена визначенню динаміки вмісту радіонуклідів у воді та їхтїофауні, тоді як дослідження міграції радіонуклідів за участі вищих водяних рослин вкрай обмежені. Значною мірою це пов'язано з тим, що основний масив даних щодо накопичення радіоактивних речовин вищими водяними рослинами стосується формування радіонуклідного забруднення їхніх надземних органів. Роль вищих водяних рослин, зокрема гелофітів, у процесах перерозподілу радіоактивних речовин у компонентах водних екосистем дотепер не визначена, оскільки закономірності накопичення радіонуклідів у підземних органах рослин з розвиненою кореневою системою досліджені не в повному обсязі.

Крім того, аналіз особливостей формування радіонуклідного забруднення окремих органів і тканин вищих водяних рослин необхідний для коректних розрахунків дози опромінення, які використовуються з метою інтерпретації біологічних ефектів хронічної дії малих доз йонізуювального випромінювання на живі організми.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана у рамках науково-дослідних тем Інституту гідробіології НАН України: «Формування доз опромінення та порушення у

представників біогідроценозів за умов радіонуклідного забруднення водних екосистем» (державний реєстраційний № 0106UA02149); «Особливості функціонування та відновлення прісноводних екосистем в умовах комплексного впливу атомних електростанцій» (державний реєстраційний № 0111U000076); «Віддалені наслідки радіонуклідного забруднення водойм на біологічні системи різного рівня організації» (державний реєстраційний № 0116U002118); «Визначення об'ємів допустимих скидів радіонуклідів підприємствами ядерного паливного циклу у водойми різного трофічного статусу з урахуванням швидкості очищення водних мас від штучних радіонуклідів» (державний реєстраційний № 0113U005114).

Мета і завдання дослідження. *Мета роботи* – Встановити сучасний рівень радіонуклідного забруднення вищих водяних рослин водойм північно-західних областей України та встановити параметри міграції ^{137}Cs за участі гелофітів у прісноводних екосистемах

Для досягнення вказаної мети виконано наступні *завдання*:

1. Визначити питому активність ^{90}Sr та ^{137}Cs у вищих водяних рослинах водойм України у віддаленій після аварії на ЧАЕС час
2. Проаналізувати закономірності формування радіонуклідного забруднення надземних та підземних органів вищих водяних рослин
3. Розрахувати параметри розподілу ^{137}Cs між надземною та підземною масою гелофітів
4. Встановити роль гелофітів у формуванні радіонуклідного забруднення донних відкладів
5. Оцінити потужність поглиненої дози випромінювання ^{137}Cs гелофітами у водоймах різного трофічного статусу

Об'єкт дослідження – міграція та розподіл радіонуклідів у водних екосистемах

Предмет дослідження – накопичення ^{90}Sr та ^{137}Cs вищими водяними рослинами, міграція ^{137}Cs у водоймах за участі гелофітів

Методи досліджень. Гідробіологічні та радіоекологічні методи польових та лабораторних досліджень; радіохімічні та спектрометричні методи визначення питомої активності радіонуклідів у абіотичних та біотичних компонентах водних екосистем. Методи розрахунку доз зовнішнього та внутрішнього опромінення. Статистичні методи обробки результатів.

Наукова новизна одержаних результатів. Отримано нові дані щодо рівнів накопичення ^{90}Sr та ^{137}Cs у вищих водяних рослинах у віддаленій після аварії на ЧАЕС час у водоймах різного типу, які розташовані поза межами зони відчуження. Вперше визначені закономірності формування радіонуклідного забруднення надземних та підземних органів гелофітів. Вперше, на основі продукційних показників надземних та підземних органів гелофітів та питомого вмісту ^{137}Cs у надземних органах, ґрунтових коренях і кореневищах рослин визначені загальні запаси ^{137}Cs у надземній та підземній фітомасі гелофітів. Вперше визначені кількісні показники міграції ^{137}Cs у донні відклади, обумовлені відмиранням підземних органів рослин.

Практичне значення одержаних результатів. На основі одержаних результатів були розроблені методичні підходи до визначення дози опромінення гелофітів з урахуванням закономірностей формування радіонуклідного забруднення надземних і підземних органів та ослаблення γ -випромінювання водними масами. Результати досліджень можна використовувати для прогнозування рівнів забруднення вищих водяних рослин за умов аварійних випадків, з метою оцінки ефективності методів фітодезактивації водоєм, для визначення екологічно-безпечних рівнів радіонуклідного забруднення водних екосистем. Теоретичні положення та практичні результати роботи можуть бути використані для підготовки фахівців з біологічного та екологічного напрямків вищих навчальних закладів III–IV рівнів акредитації.

Особистий внесок здобувача. Дисертант безпосередньо брав участь у плануванні всіх проведених досліджень та здійснював відбір польового матеріалу, виконував радіохімічний та гамма-спектрометричний аналіз матеріалу. Автором самостійно сформульовано мету та завдання досліджень, проаналізовано сучасну фахову літературу, освоєно необхідні для виконання дисертаційної роботи методи, виконано аналіз та узагальнення результатів, проведено статистичну обробку даних, а аналіз окремих положень та написання плану викладення матеріалу дисертації виконано разом із науковим керівником. Друковані праці за матеріалами дисертації підготовлені безпосередньо автором, а також у співавторстві з науковим керівником та іншими фахівцями.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на 15 міжнародних та вітчизняних конференціях і з'їздах: «Радіобіологічні та радіоекологічні аспекти Чорнобильської катастрофи» (Славутич, 2011); «Фізичні методи в екології, біології та медицині» (Львів-Шацьк, 2011); XIX щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 2012); Науково-практична конференція «Актуальні проблеми сучасної гідробіології» (Київ, 2013); «Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды» (Сыктывкар, республика Коми, Россия, 2014); XXII щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 2015); «Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем» (Київ, 2015); XXIII щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 2016); «Радиобиология: минимизация радиационных рисков» (Гомель, 2016); III науково-практична конференція для молодих вчених «Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем» (Київ, 2016.); «Вода: проблеми та шляхи вирішення» (Рівне, 2017); «Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем», IV науково-практична конференція для молодих вчених (Київ, 2017); XXV щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 2018); «Чорнобильська катастрофа. Актуальні проблеми, напрямки та шляхи їх вирішення» (Житомир, 2018); «Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем» (Київ, 2018), а також на засіданнях вченої ради Інституту гідробіології НАН України (доповіді стипендіата президії НАН України) та відділу водної радіоекології.

Публікації. За результатами досліджень опубліковані 29 наукових праць, з них 9 статей у журналах (8 у фахових виданнях).

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота викладена на 194 сторінках друкованого тексту, складається із вступу, аналітичного огляду літератури, опису матеріалів і методів досліджень, чотирьох розділів власних досліджень з обговоренням і узагальненням результатів, висновків і списку використаної літератури. Текст ілюстровано 50 рисунками і 46 таблицями. Список використаної літератури містить 192 найменування (з них іншомовних 116).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

РАДІОНУКЛІДИ У ВИЩИХ ВОДЯНИХ РОСЛИНАХ ПРІСНОВОДНИХ ВОДОЙМ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

У розділі здійснено аналіз літературних даних щодо закономірностей формування радіонуклідного забруднення вищих водяних рослин у прісноводних водоймах. Проаналізовано дані, які стосуються особливостей накопичення радіонуклідів рослинами різних екологічних груп та впливу чинників зовнішнього середовища на рівні вмісту радіоактивних елементів у рослинних організмах. Відзначено актуальність досліджень закономірностей формування радіонуклідного забруднення надземних та підземних органів гелофітів та визначення їхньої ролі у процесах перерозподілу радіонуклідів в екосистемах водойм різного трофічного статусу.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження за темою дисертації виконані в період 2010–2017 рр. Проби відбирали у Київському та Канівському водосховищах, ставах та озері (оз. Лісове) у зонах посиленого контролю та обов'язкового відселення на півночі Київської області (Іванківський район), риборозплідних ставах у м. Біла Церква, Повчанському водосховищі на р. Жерів та на незарегульованій ділянці р. Жерів (зона обов'язкового відселення, Лугинський район Житомирської області), озері Біле (Рівненська область, Володимирецький район); озерах Шацького національного природного парку (ШНПП), водоймі-охолоджувачі Хмельницької АЕС (ВОХАЕС).

Як відомо (25 років, 2011), щільність забруднення ^{90}Sr та ^{137}Cs площі водозбору Київського та Канівського водосховищ в основному становила від 2 до 20 та від 40 до 100 кБк/м², відповідно, і більше, ніж 18500 кБк/м² для обох радіонуклідів у зоні відчуження. Площа водозбору інших водойм забруднена ^{90}Sr у діапазонах від 1 до 20 кБк/м², ^{137}Cs – від 4–10 (озера ШНПП) до 1480 кБк/м² (оз. Лісове).

Вміст ^{90}Sr та ^{137}Cs визначали у воді, донних відкладах та різних екологічних групах вищих водяних рослинах – гідатофітах, плейстофітах та гелофітах.

Вміст ^{90}Sr у водних масах, донних відкладах та вищих водяних рослинах визначали радіохімічними методами, ^{137}Cs – у водних масах радіохімічним

методом, у донних відкладах та вищих водяних рослинах – гамма-спектрометричним (Методи..., 2005) на установці з детектором ДГДК-100В та амплітудним аналізатором SBS-30. Питома активність радіонуклідів у донних відкладах наведена у Бк/кг абсолютно-сухої маси, у водних рослинах – Бк/кг повітряно-сухої маси. Щільність забруднення (Бк/м²) донних відкладів розраховували за водно-фізичними властивостями, водних рослин – за біомасою.

Масу надземних органів гелофітів визначали методом облікових майданчиків (Методи..., 2006). Для визначення маси підземних органів гелофітів відбирали непорушені моноліти донних відкладів згідно (Кузьменко, 1989), які промивали крізь гідрологічні сита з наступним відокремлюванням коренів та кореневищ, визначенням їхньої повітряно-сухої маси та перерахуванням на одиницю площі.

Для порівняльної характеристики рівнів радіоактивного забруднення вищих водяних рослин у різних водоймах використовували результати визначення питомої активності радіонуклідів тільки у надземних органах рослин, оскільки вміст ⁹⁰Sr та ¹³⁷Cs визначали у рослинах різних екологічних груп, у тому числі укорінених та неукорінених.

Дозові навантаження на водні рослини визначали з урахуванням методичних рекомендацій (ICRP, 2008; Козлов, 1987); радіаційні характеристики випромінювання радіонуклідів обрані за (Немец, 1975; Савинский, 1986). При розрахунках дозових навантажень на водні рослини використовували дані щодо питомої активності донних відкладів та вищих водяних рослин при природній вологості.

Величини наведені у вигляді: $x \pm \text{STD}$, де x – середнє значення, STD – середнє квадратичне відхилення. Обрана форма більш інформативна, оскільки характеризує не тільки рівень величини, але й її природну варіацію (Лакин, 1973). Порівняння величин проводили за розподілом Стьюдента (Лакин, 1973; Большев, 1983), при $p=0,01$.

РАДІОНУКЛІДНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ВИЩИХ ВОДЯНИХ РОСЛИН ВОДОЙМ УКРАЇНИ У ВІДДАЛЕНІЙ ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧАЕС ЧАС

Аналіз вмісту радіонуклідів у вищих водяних рослинах з різних ділянок Київського водосховища показав значну варіабельність питомої активності ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr у рослинах з різних частин акваторії водойми, яка пояснюється особливостями міграції в екосистемі прип'ятських та дніпровських водних мас з різною концентрацією радіонуклідів (рис. 1). Найменші рівні накопичення ⁹⁰Sr – від 2 (очерет звичайний, глечики жовті, водяний горіх) до 15 Бк/кг (сальвінія плаваюча, кушир занурений) та ¹³⁷Cs – від 5 (очерет звичайний, рогіз вузьколистий) до 90 Бк/кг (рдесник пронизанолистий, водопериця колосиста) зареєстровані у дніпровському відрозі та на лівобережжі нижньої частини водосховища (станції 1, 3, 4). Питома активність ⁹⁰Sr у рослинах, які були відібрані у прип'ятському відрозі та правобережжі річково-озерної ділянки (станції 2, 5), зареєстрована у діапазоні величин від 3 (водяний горіх) до 46 Бк/кг (сальвінія плаваюча, рдесник

пронизанолистий), ^{137}Cs – від 17 (очерет звичайний, рогіз вузьколистий) до 665 Бк/кг (кушир занурений).

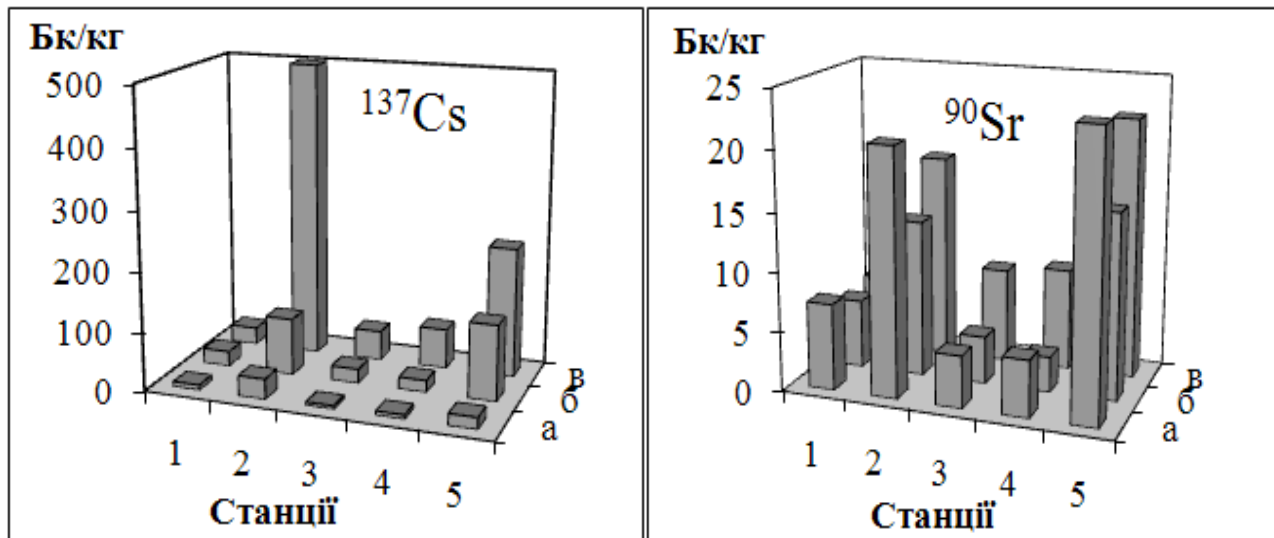


Рис. 1. Питома активність ^{137}Cs і ^{90}Sr у геллофітах (а), плейстофітах (б) та гідатофітах (в) на різних ділянках Київського водосховища: станції 1, 3, 4 – зона впливу водних мас р. Дніпро; 2, 5 – зона впливу водних мас р. Прип'ять

Рівні вмісту радіонуклідів у вищих водяних рослинах інших досліджених водойм залежали від щільності радіонуклідного забруднення площі водозбору, проточності та їхнього трофічного статусу. Оскільки у межах окремих фітоценозів питома активність ^{90}Sr та ^{137}Cs у рослинах різних видів та екологічних груп можуть відрізнятися у десятки разів, для порівняльного аналізу водойм за радіонуклідним забрудненням сукупності досліджених видів використані діапазони величин питокої активності радіонуклідів у рослинах кожної водойми. Такий підхід дозволив встановити, що через 24–31 роки після аварії у досліджених водоймах максимальна зареєстрована у рослинах питома активність ^{137}Cs перевищувала доаварійні величини (рис. 2). За максимальним вмістом радіонукліда у рослинах досліджені водойми можна розподілити на 3 групи. Перша – це водойми, де в окремих випадках реєстрували доаварійні рівні, а максимальні величини були на порядок вищі: ВОХАЕС, озера ШНПП, стави на території м. Біла Церква. Друга – Київське та Канівське водосховища, водойми у зоні обов'язкового відселення Житомирської та Київської областей, де максимальні величини на 2 порядки вищі за доаварійні. До третьої групи віднесені замкнені озера Біле та Лісове, де перевищення питокої активності ^{137}Cs у рослинах над доаварійними величинами досягало трьох порядків. Рівні вмісту ^{90}Sr у рослинах Канівського водосховища, озер ШНПП та ВОХАЕС не перевищували доаварійних значень, в інших водоймах – перевищували їх у 2–8 разів.

У період досліджень частка ^{137}Cs у штучній радіоактивності окремих видів рослин досліджених водойм становила від 52 до 99 %. Найменша частка ^{137}Cs у сумарній активності зареєстрована у геллофітів Київського водосховища у зоні впливу дніпровських водних мас, найбільша – у геллофітів озерних екосистем.

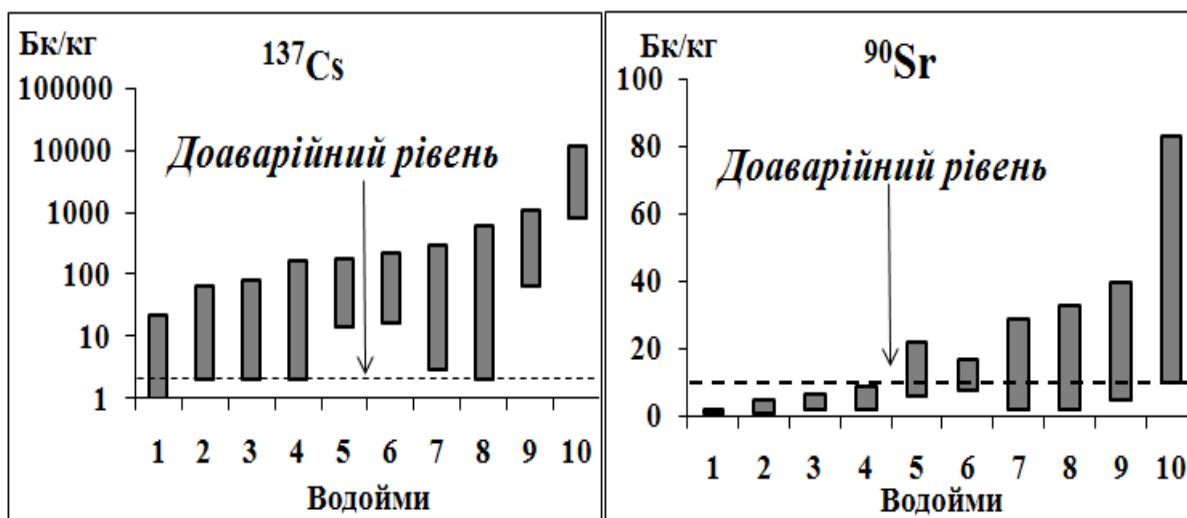


Рис. 2. Діапазони питомої активності радіонуклідів у вищих водяних рослинах досліджених водойм: 1 – ВОХАЕС; 2 – озера ШНПП; 3 – риборозплідні стави, м. Біла Церква; 4 – Канівське водосховище; 5 – р. Жерів; 6 – Повчанське водосховище; 7 – стави, Іванківський район Київської області; 8 – Київське водосховище; 9 – оз. Біле; 10 – оз. Лісове, доаварійні рівні вмісту ^{90}Sr та ^{137}Cs наведені згідно (Паньков, 1993)

Загалом можна відзначити, що поза межами зони відчуження середній внесок ^{137}Cs у формування сумарної активності вищих водяних рослин з досліджених водосховищ був меншим, ніж рослин з озерних екосистем.

Визначення часових параметрів динаміки вмісту тривалоіснуючих радіонуклідів у вищих водяних рослинах має важливе значення для ретроспективної і прогнозувальної оцінок радіоекологічного стану водних екосистем. Розрахований за даними (Волкова, 2008) період напівзменшення питомої активності ^{137}Cs у гідатофітах евтрофного Київського водосховища для часового інтервалу з 1989 по 1996 рр. становив $1,9 \pm 0,7$ років. Доповнення багаторічних досліджень власними даними показало, що для часового інтервалу 1989–2012 рр. період напівзменшення вмісту ^{137}Cs у рослинах зазначеної групи збільшився до $5,0 \pm 0,8$ років (рис. 3). Таким чином, встановлено, що швидкість зменшення питомої активності гідатофітів евтрофного Київського водосховища знизилась.

У гідатофітах з оліготрофного оз. Біле період напівзменшення питомої активності ^{137}Cs становив $16,7 \pm 6,0$ років, тобто в озері процеси очищення рослин від радіонукліда тривають довше, ніж у водосховищі. Відзначену тенденцію можна пояснити різним трофічним статусом водойм. Нами встановлено, що в евтрофних водоймах швидкість виведення радіонуклідів з водних мас набагато більша, ніж в оліготрофних. За рік в евтрофній водоймі з води до донних відкладів у середньому переходить близько 96 % ^{137}Cs від його загальної кількості у водних масах, в оліготрофній – тільки 28 % (Волкова, Беляев, Пришляк, 2014).

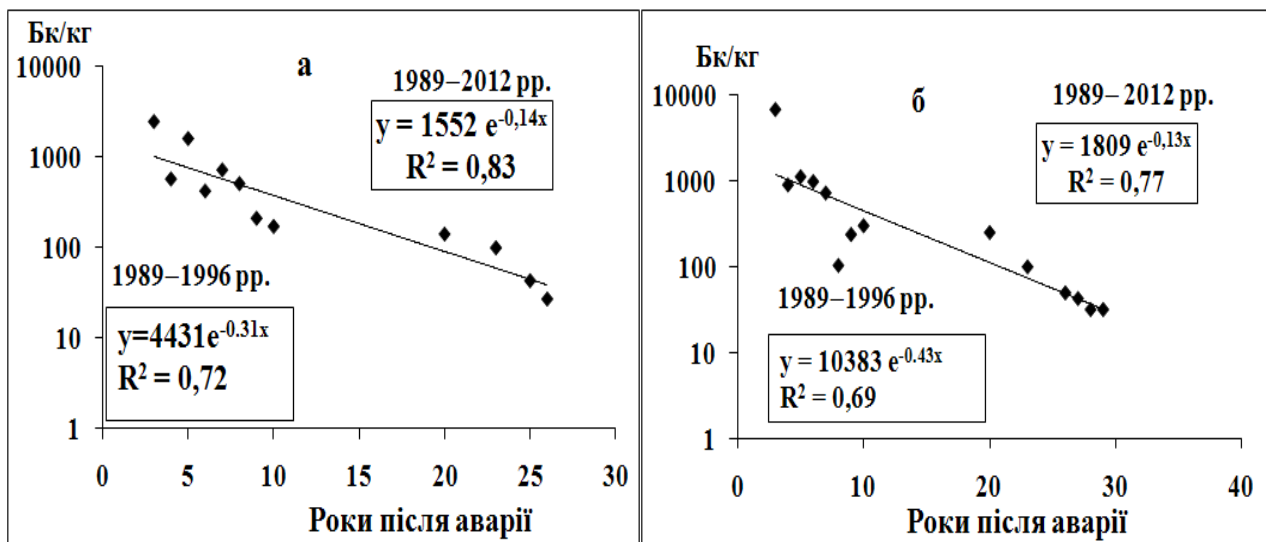


Рис. 3. Динаміка ^{137}Cs у рдеснику пронизанолистому (а) та куширі зануреному (б) Київського водосховища (с. Страхолісся), (1989–2006 рр. за (Волкова, 2008)

Таким чином, у водних масах оліготрофних водойм радіонуклід на тривалий термін залишається у біологічно доступній формі, що й призводить до уповільнення процесів самоочищення гідатофітів від ^{137}Cs .

ВМІСТ ^{137}Cs У НАДЗЕМНИХ ТА ПІДЗЕМНИХ ОРГАНАХ ВИЩИХ ВОДЯНИХ РОСЛИН

Результати досліджень особливостей формування рівнів накопичення ^{137}Cs у надземних та підземних органах гелофітів у водоймах різного типу та трофічного статусу дозволили встановити загальні для 9-ти досліджених видів закономірності – питома активність ^{137}Cs у надземних органах та кореневищах рослин в основному вірогідно не відрізнялася, у ґрунтових коренях була у кілька разів вищою. На чотирьох ділянках Київського водосховища з різним рівнем радіоактивного забруднення рослин питома активність ^{137}Cs у коренях рогозу вузьколистого була у 7–20 разів вищою, ніж у надземних органах. Аналогічні закономірності накопичення ^{137}Cs надземними та підземними органами рогозу вузьколистого спостерігалися і в інших водоймах (рис. 3). За сукупністю даних, які були отримані у Київському, Канівському та Повчанському водосховищах, оз. Біле та ставах на території Іванківського району Київської області, питома активність ^{137}Cs у ґрунтових коренях рогозу вузьколистого перевищувала активність надземних органів у $11,9 \pm 4,5$ разів. У ґрунтових коренях очерету звичайного з чотирьох ділянок Київського водосховища, оз. Біле, ставів у м. Біла Церква та ставів на території Іванківського району Київської області питома активність ^{137}Cs була вищою, ніж в надземних органах у $11,9 \pm 6,6$ разів, у ґрунтових коренях лепешняка великого з двох ділянок Київського водосховища, Повчанського водосховища та ставу в м. Біла Церква – у $7,9 \pm 2,5$ разів вищою.

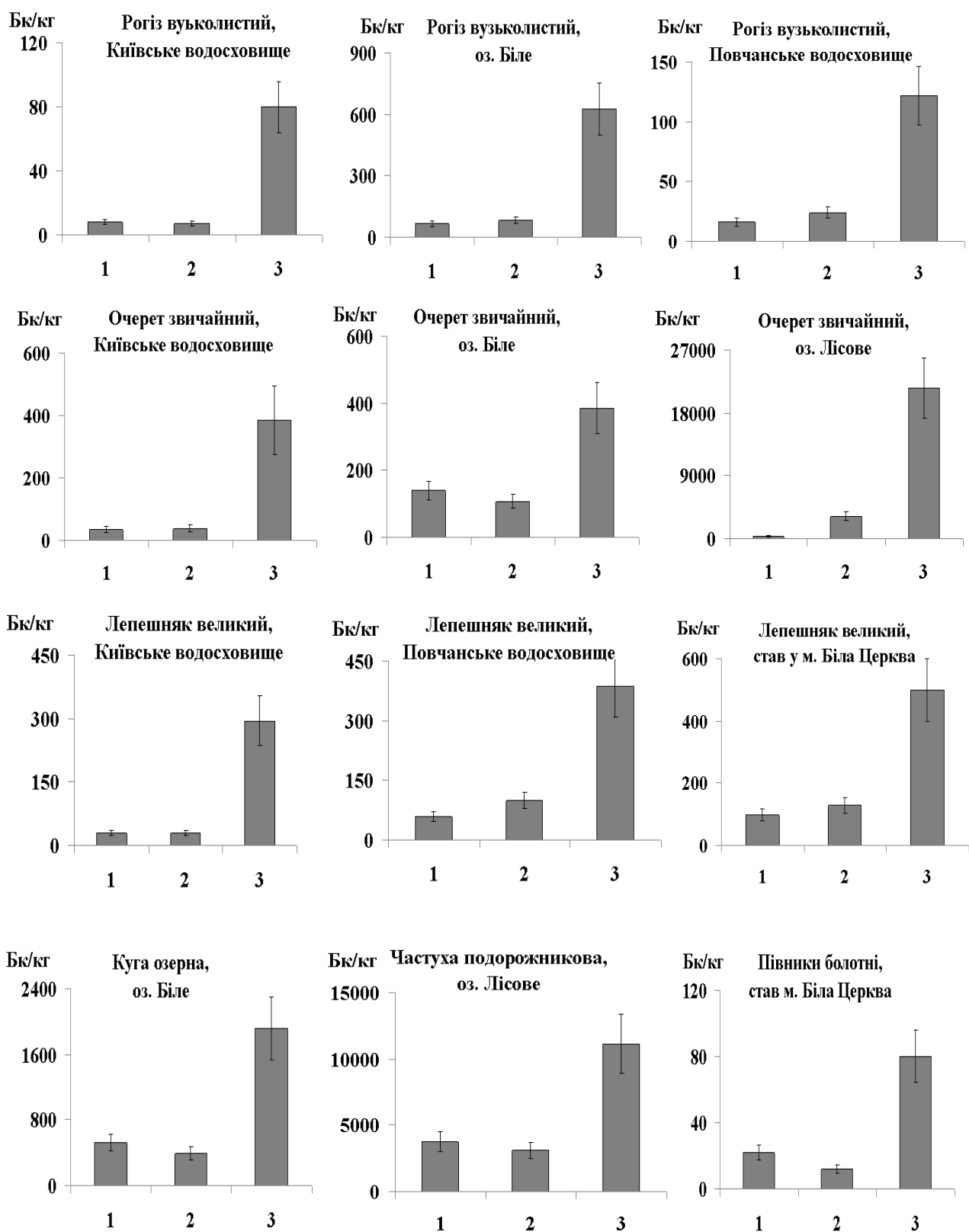


Рис. 3. Питома активність ^{137}Cs у надземних органах (1), кореневищах (2) та ґрунтових коренях (3) гелофітів (для Київського водосховища наведені результати досліджень, виконаних у районі с. Страхолісся)

Узагальнення отриманих даних засвідчило, що рівні накопичення ^{137}Cs у ґрунтових коренях рогузу вузьколистого, очерету звичайного та лепешняка

великого, які зустрічалися на прибережних ділянках більшості досліджених водойм, в основному були у 8–12 разів вищі, ніж в надземних органах.

Питома активність ^{137}Cs у коренях куги озерної перевищувала його вміст у надземних органах у 6 разів, півників болотних, сусака зонтичного, частухи подорожникової та їжачої голівки зринувшої – у 3, стрілолиста стрілолистого – у 2 рази.

Встановлено закономірності формування радіонуклідного забруднення надземних та підземних органів укорінених плейстофітів (на прикладі глечиків жовтих та латаття білого). Питома активність ^{137}Cs у надземних органах глечиків жовтих з Київського, Канівського та Повчанського водосховищ була приблизно у 2 рази вищою, ніж у кореневищах, а питома активність радіонукліда у коренях у 5 разів перевищувала його вміст у надземних органах. Вміст ^{137}Cs у надземних органах та кореневищах латаття білого з Київського водосховища вірогідно не відрізнявся, а у коренях був у 10 разів вищим. Тобто у представників екологічної групи плейстофітів, яким притаманна розвинена коренева система, загальні закономірності формування радіонуклідного забруднення надземних і підземних органів виявилися подібними до закономірностей, характерних для гелофітів. Відзначено особливості формування радіонуклідного забруднення надземних та підземних органів представників групи гідатофітів: питома вміст ^{137}Cs у водних коренях елодеї канадської в 1,3–3 рази менший, ніж у надземній частині, а у надземних органах та коренях водопериці колосистої та рдесника пронизанолистого вірогідно не відрізнявся.

РОЛЬ ГЕЛОФІТІВ У ПРОЦЕСАХ МІГРАЦІЇ ^{137}Cs У ВОДОЙМАХ

За результатами проведених досліджень встановлені особливості розподілу загальної активності ^{137}Cs між підземними та надземними органами та параметри міграції радіонукліда за участю гелофітів, які визначаються не тільки питомою активністю окремих органів рослин, але й їхніми продукційними показниками, наведеними у (табл. 1).

Таблиця 1

Фітомаса надземних та підземних органів у монодомінантних заростях гелофітів, г/м² повітряно-сухої маси

Види	Надземні органи	Кореневища	Корені
Київське водосховище			
Рогіз вузьколистий	1523±258	603±109	169±29
Очерет звичайний	1100±220	1444±216	481±87
Лепешняк великий	668±100	224±29	356±71
Озеро Біле			
Рогіз вузьколистий	414±62	980±176	494±74
Очерет звичайний	355±57	1000±160	82±12
Куга озерна	108±15	80±18	89±13

Загальну активність фітомаси на одиницю площі фітоценозів гелофітів [Бк/м²] можна визначити шляхом сумування добуток питомої активності ¹³⁷Cs [Бк/кг] у надземних органах, кореневищах та коренях та їхньої фітомаси [кг/м²]. Розрахунками показано, що у ґрунтових коренях рослин Київського водосховища було зосереджено 53–80 % від загальної активності радіонукліда у фітомасі на одиницю площі монодомінантних заростей, з оз. Біле – 66–74 % (рис. 4).

Згідно з літературними даними (Ганжа, 2010; 2014), у надземних органах рогозу вузьколистого у середньому близько 25 % ¹³⁷Cs перебуває у потенційно обмінних формах, очерету звичайного – 38 %, лепешняка великого – 46 %. Тому після відмирання надземних органів рослин саме така кількість радіонукліда може повернутися до водних мас, решта надходить у детрит.

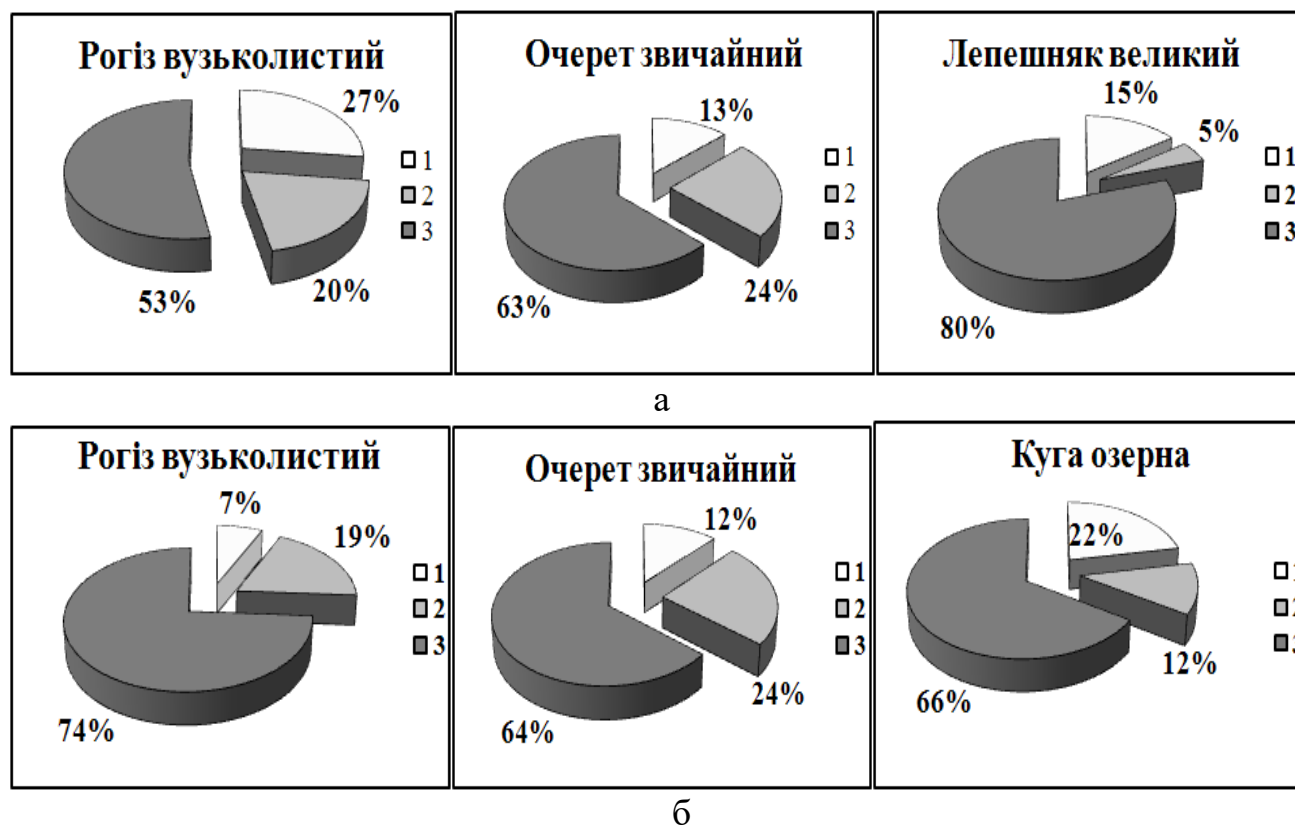


Рис. 4. Внесок надземних органів (1), кореневищ (2) та ґрунтових коренів (3) у загальні запаси ¹³⁷Cs в фітомасі: а – Київське водосховище, б – оз. Біле

Оскільки в надземних органах досліджених видів гелофітів міститься 13–26 % ¹³⁷Cs від загальної кількості на одиницю площі монодомінантних заростей, тільки 3,1–8,7 % від накопиченого у фітомасі радіонукліда після відмирання надземних органів рослин може повернутися у водні маси (табл. 2, 3).

При відмиранні підземних органів, зосереджений в них ¹³⁷Cs надходить у донні відклади. Оскільки ґрунтові корені гелофітів оновлюються кожен рік, а життєдіяльність кореневищ триває довше (Лукина, Смирнова, 1988), при розрахунках прийняли, що у очерета звичайного щорічно відмирає третина біомаси кореневищ, у рогоза вузьколистого, лепешняка великого та куги озерної – половина. Таким чином, у монодомінантних заростях гелофітів досліджених

водойм у зимуючих кореневищах залишається 3–24 % від загального вмісту ^{137}Cs у фітомасі, захоронюється у глибині донних відкладів – 63–84 %.

Таблиця 2

Параметри міграції ^{137}Cs , обумовлені відмиранням гелофітів Київського водосховища, %

Показники	Рогіз вузьколистий	Очерет звичайний	Лепешняк великий
Надземні органи			
Перехід у водні маси	6,6	5,0	6,9
Перехід у детрит	19,7	8,1	8,1
Підземні органи			
Захоронення у донних відкладах	63,5	70,9	82,4
Залишок у зимуючих кореневищах	10,2	16,0	2,6

Таблиця 3

Параметри міграції ^{137}Cs , обумовлені відмиранням гелофітів оз. Біле, %

Показники	Рогіз вузьколистий	Очерет звичайний	Куга озерна
Надземні органи			
Перехід у водні маси	3,1	4,3	8,7
Перехід у детрит	9,3	7,0	13,1
Підземні органи			
Захоронення у донних відкладах	63,2	76,4	72,1
Залишок у зимуючих кореневищах	24,4	12,3	6,1

З метою встановлення ролі гелофітів у процесах формування радіонуклідного забруднення донних відкладів запропонована схема, яка охоплює не тільки питому активність радіонуклідів в абіотичних та біотичних компонентах екосистеми (Радіонукліди у водних..., 2001), а й продукційні характеристики надземних та підземних органів гелофітів:

$$A_p = \frac{zA_{p1} + A_{p2} + A_{p3}}{A_d} \cdot 100$$

де A_p – річна кількість ^{137}Cs , яка перерозподіляються на 1 м^2 донних відкладів за рахунок відмирання рослин, %; A_d – щільність забруднення донних відкладів, Бк/ м^2 ; A_{p1} – активність надземної продукції на одиницю площі, Бк/ м^2 ; A_{p2} – активність коренів на одиницю площі, Бк/ м^2 ; A_{p3} – активність кореневищ на одиницю площі, Бк/ м^2 ; t_3 – час життя кореневищ, роки; z – частка необмінних форм ^{137}Cs в надземних органах.

Найбільш активно ^{137}Cs захоронюється у донних відкладах в монодомінантних заростях очерету звичайного (табл. 4), оскільки для цього виду

характерні найбільша фітомаса і рівні накопичення радіонукліда. В евтрофній водоймі кількість ^{137}Cs , який мігрує внаслідок відмирання очерету звичайного, майже в 1,8 рази більша, ніж в оліготрофній. Кількісні показники міграції радіонукліда в заростях рогузу вузьколистого в водоймах різного типу достовірно не відрізняються.

Розрахунки показали, що на мілководних ділянках досліджених водойм в результаті відмирання гелофітів щорічно піддається біологічній трансформації 0,3–1,1 % ^{137}Cs від його загальної кількості у верхньому 30-ти сантиметровому шарі донних відкладів, а за 30 років ця величина може досягти 32 %. З огляду на те, що при хвильових явищах детрит переміщується з мілководних ділянок на глибоководні, його внесок коректніше не враховувати.

Таблиця 4

Внесок гелофітів у забруднення донних відкладів, %

Види рослин	Київське водосховище			Оз. Біле		
	1 рік	30 років		1 рік	30 років	
		з детритом	без детриту		з детритом	без детриту
Очерет звичайний	1,1	32,1	28,9	0,6	18,9	17,3
Рогіз вузьколистий	0,3	9,4	7,1	0,3	9,5	8,3
Лепешняк великий	0,6	19,3	17,5	—*	—	—
Куга озерна	—	—	—	0,4	11,9	10,1

Примітка:* – не визначали.

Таким чином, з'ясовані показники дозволяють дійти висновку про те, що відмирання підземних органів гелофітів сприяє міграції ^{137}Cs вглиб донних відкладів. Отже, за 30 років, що пройшли після аварії, на полігонних ділянках евтрофної водойми 7–29 % від загальної кількості ^{137}Cs у верхньому 30-ти сантиметровому шарі донних відкладів складають трансформовані у процесі відмирання гелофітів форми радіонукліда, оліготрофної – 8–17 %.

ОЦІНКА ПОТУЖНОСТІ ПОГЛИНЕНОЇ ДОЗИ ВИПРОМІНЮВАННЯ ^{137}Cs ГЕЛОФІТАМИ У ВОДОЙМАХ РІЗНОГО ТИПУ

На основі одержаних результатів розроблені методичні підходи до визначення дози опромінення гелофітів з урахуванням закономірностей формування радіонуклідного забруднення надземних і підземних органів та ослаблення γ -випромінювання водними масами. Згідно загальноприйнятих у країнах Європи методів обчислення дозових навантажень на гідробіонтів, прийнято, що вищі водяні рослини існують у водному середовищі, а у якості референтного виду запропонований представник групи гідатофітів водопериця

колосиста (Handbook, 2003; ERICA, 2012). Але органи гелофітів розташовані у трьох середовищах – ґрунті, водних масах та повітрі, яким притаманні різні щільність та рівні радіонуклідного забруднення. Крім того, коефіцієнт переходу від питомої активності окремого радіонукліда в органах рослин до потужності дози внутрішнього опромінення (дозовий коефіцієнт) залежить від лінійних розмірів об'єкту. Тому, оскільки лінійні розміри гелофітів та водопериці колосистої суттєво відрізняються, використання дозових коефіцієнтів референтного виду для визначення дози у гелофітів не є коректним. Нами запропоновано загальну потужність дози на рослину розраховувати як суму потужностей дози опромінювання окремих органів з урахуванням їхньої відносної маси, дозові коефіцієнти ^{137}Cs для окремих органів рослин обчислювати з урахуванням лінійних розмірів. Важливо враховувати, що γ -випромінювання ^{137}Cs донних відкладів поглинається водними масами, і підводні органи рослини, які знаходяться у нижніх шарах води, отримують більшу дозу, ніж розташовані вище.

У досліджених водоймах потужність дози зовнішнього γ -опромінювання підводних органів гелофітів, що формується зосередженим у водних масах ^{137}Cs , складала від 27 (озера ШНПП) до 1106 нГр/доба (оз. Біле), вплив випромінювання ^{137}Cs донних відкладів на підводну частину був у сотні разів більшим – від 4 (ВОХАЕС, озера ШНПП) до 370 нГр/доба (Повчанське водосховище, оз. Біле). Найбільші дозові навантаження зовнішнього γ -опромінювання отримують підземні органи гелофітів – 16–1376 нГр/доба.

Встановлено закономірності формування опромінювання гелофітів у водоймах різного типу (табл. 5)

Таблиця 5

Потужність поглиненої дози у гелофітів

Органи	Рогіз вузьколистий			Очерет звичайний		
	Потужність дози, нГр/доба			Потужність дози, нГр/доба		
	внутрішнє	зовнішнє	сумарне	внутрішнє	зовнішнє	сумарна
Київське водосховище						
Надземні	9	29	36	32	28	60
Кореневища	17	211	228	45	211	256
Корені	48	304	352	106	304	410
Загальна*	14	96	110	50	159	209
оз. Біле						
Надземні	76	134	210	159	134	293
Кореневища	93	1020	1110	124	1020	1144
Корені	78	1460	1540	1170	1460	2630
Загальна	86	941	1030	192	826	1018

Примітка: * – Потужність дози, яку отримує уся рослина за рахунок внутрішнього та зовнішнього опромінювання, з урахуванням біомаси надземних органів, кореневищ та коренів.

Розрахунки здійснювали на прикладі монодомінантних заростей очерету звичайного та рогозу вузьколистого на мілководдях Київського водосховища (евтрофна водойма) та озера Біле (оліготрофна водойма).

З'ясовано, що питома активність ^{137}Cs у донних відкладах і рослинах мілководних ділянок оліготрофного озера значно перевищувала відповідні показники, зареєстровані у Київському водосховищі. Закономірно, що й дози внутрішнього і зовнішнього опромінювання надземних і підземних органів та усієї рослини загалом були вищими в оліготрофній водоймі. Доведено, що у Київському водосховищі внесок підземних органів у формування загальної дози рогозу вузьколистого становив 78 %, очерету звичайного – 90 %, в оз. Біле – 96 і 93 %, відповідно, а загальна сумарна потужність дози в основному сформована зовнішнім опромінюванням – рогозу вузьколистого та очерету звичайного Київського водосховища на 88 та 76 %, оз. Біле – на 92 та 81 %, відповідно.

Таким чином, при розрахунках дозових навантажень у гелофітів з розвиненою кореневою системою необхідно визначати питому активність радіонуклідів у шарі донних відкладів, де розташована коренева система, та у підземних органах рослин і враховувати співвідношення їхніх надземної та підземної біомас.

ВИСНОВКИ

У результаті дисертаційного дослідження встановлені рівні радіонуклідного забруднення вищих водяних рослин у водоймах північно-західних областей України, які розташовані поза межами зони відчуження аварії на ЧАЕС, а також визначена роль гелофітів у міграції ^{137}Cs у прісноводних екосистемах різного типу.

1. Через 24–31 роки після аварії на ЧАЕС максимальна зареєстрована питома активність ^{137}Cs в надземних органах вищих водяних рослин перевищувала доаварійні величини у водоймі охолоджувачі ХАЕС та озерах Шацького НПП на порядок і досягала 100 Бк/кг; у Київському, Канівському та Повчанському водосховищах, р. Жерів та ставах на території Київської області – на два порядки і досягала 600 Бк/кг; у замкнених озерах на півночі Рівненської та Київської областей – на три порядки і досягала 11000 Бк/кг.

2. Максимальна зареєстрована питома активність ^{90}Sr у рослинах з водойми-охолоджувача ХАЕС, озер Шацького НПП та Канівського водосховища не перевищувала доаварійних значень; з Київського та Повчанського водосховищ, р. Жерів, ставів на території Київської області та оз. Біле – перевищувала їх у 1,5–4 рази і досягала 40 Бк/кг; у замкненому озері на території Іванківського району Київської області – у 8 разів і досягала 80 Бк/кг.

3. У період досліджень внесок ^{137}Cs у штучну радіоактивність окремих видів рослин досліджених водойм становив від 52 до 99 %. Найменший внесок ^{137}Cs у сумарну активність зареєстрований у гелофітів Київського водосховища у зоні впливу дніпровських водних мас, найбільший – у гелофітів з озерних екосистем. Відзначена тенденція до збільшення внеску ^{137}Cs до сумарної активності вищих водяних рослин з уповільненням водообміну

4. У різнотипних водоймах відзначено різні динамічні характеристики питомої активності ^{137}Cs у гідатофітах. Питома активність ^{137}Cs у гідатофітах евтрофного Київського водосховища у часі зменшувалася швидше, ніж у рослин оліготрофного оз. Біле, про що свідчать періоди напівзменшення ^{137}Cs ($5,0 \pm 0,6$) та ($16,7 \pm 6,0$) років, відповідно. Встановлено, що в період досліджень, у порівнянні з попереднім, швидкість зменшення питомої активності ^{137}Cs у гідатофітах Київського водосховища знизлась, у гідатофітах оліготрофного озера – достовірно не змінилася.

5. Порівняння особливостей формування радіонуклідного забруднення надземних і підземних органів гелофітів з водойм різного типу, трофічного статусу та ступеню радіонуклідного забруднення показало, що питома активність ^{137}Cs у надземних органах та кореневищах домінуючих за біомасою видів не відрізнялася, у ґрунтових коренях була у 8–12 разів вищою, ніж у надземних органах та кореневищах.

6. Висока питома активність ^{137}Cs у ґрунтових коренях гелофітів обумовлювала переважне накопичення радіонукліда підземними органами. В евтрофній водоймі у підземних органах гелофітів зосереджено 73–87 % від загальних запасів ^{137}Cs у їхній фітомасі, в оліготрофній – 78–93 %, з них у коренях – 53 – 80 % та 64 – 74 %, відповідно.

7. Життєдіяльність гелофітів сприяє перерозподілу валового вмісту та обмінних і необмінних форм ^{137}Cs у товщі донних відкладів. Щорічно 63–82 % ^{137}Cs від його загальної кількості у фітомасі гелофітів депонується у товщі донних відкладів внаслідок відмирання ґрунтових коренів та кореневищ, що становить від 0,3 до 1,1 % від загального вмісту радіонукліда у верхньому 30-ти сантиметровому шарі донних відкладів. За 30 років, що минули після аварії, відмирання гелофітів зумовило біотрансформацію 7–29 % загальної кількості ^{137}Cs у верхньому 30-ти сантиметровому шарі донних відкладів мілководь евтрофної водойми і 8–17% оліготрофної.

8. Величина поглиненої гелофітами дози випромінювання ^{137}Cs на 78–95 % обумовлена опромінюванням підземних органів. Потужність поглиненої дози випромінювання ^{137}Cs коренями гелофітів в евтрофній та оліготрофній водоймах у 1,5–2 рази вища, ніж кореневищами, і у 6–10 разів вища, ніж надземними органами.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті, опубліковані у фахових виданнях, зокрема у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз

1. Волкова О. М., Беляєв В. В., Пархоменко О. О., Пришляк С. П., Нікітюк К. О. Радіоекологічні наслідки порушення режиму експлуатації Київської ГЕС у 2010 р. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. 2011. №2 (47). С. 62–65. *(Відбір проб, визначення вмісту радіонуклідів, участь в узагальнені даних)*

2. Пришляк С. П., Волкова О. М., Беляєв В. В., Пархоменко О. О. Формування рівнів вмісту ^{137}Cs у вищих водних рослинах Київського водосховища.

Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2012. Випуск 58. С. 139–143. *(Участь у польових дослідженнях, визначення вмісту радіонукліда, участь у написанні статті)*

3. Волкова Е. Н., Беляев В. В., **Пришляк С. П.**, Пархоменко А. А., Карапыш В. А. Особенности формирования радионуклидного загрязнения высших водных растений Киевского водохранилища. Ядерная физика та енергетика. 2012. Т. 13. №2. С. 160–165. *(Участь у польових дослідженнях, визначення вмісту радіонуклідів, інтерпретація даних)*

4. Волкова О. М., Беляев В. В., Пархоменко О. О., **Пришляк С. П.** Параметры распределения радионуклидов в водоемах разного трофического статуса. Природа Західного Полісся та прилеглих територій: зб. наук. пр. / за заг. Ред. Ф. В. Зузука. Луцьк: Східноєвроп. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2014. № 11. С. 127–132. *(Участь у польових дослідженнях, визначення ^{90}Sr , участь у написанні статті)*

5. **Пришляк С. П.**, Волкова О. М., Беляев В. В., Пархоменко О. О. Радионуклідне забруднення вищих водних рослин водойм України у віддалений після аварії на Чорнобильській АЕС час. Наук. записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія. Спец. випуск: Гідроекологія. 2015. № 3–4 (64). С. 550–553. *(Відбір рослин, визначення вмісту радіонуклідів, інтерпретація даних)*

6. **Prishlyak S. P.**, Belyaev V. V., Volkova Ye. N., Parkhomenko A. A., Savittskiy A. L. Regularities of ^{137}Cs accumulation in above-ground and underground phytomass of helophytes. Hydrobiological Journal. 2015. V. 51. Iss. 6. P. 68–74. *(Відбір рослин, визначення продукційних показників, визначення вмісту ^{137}Cs , інтерпретація даних)*

7. Volkova Ye. N., Belyaev V. V., **Pryshlyak S. P.** Several Aspects of Forming of the Absorbed Dose of Emerged Aquatic Plants. Hydrobiological Journal. 2017. V. 53, Iss. 6. P. 68–76. *(Участь у польових дослідженнях, визначення вмісту радіонуклідів, участь у написанні статті)*

8. Волкова Е. Н., Беляев В. В., **Пришляк С. П.**, Пархоменко А. А. Отмирание воздушно-водных растений как фактор миграции ^{137}Cs в водоемах. Ядерная физика та енергетика. 2018. Т. 19. № 1 С. 56–62. *(Участь у польових дослідженнях, визначення вмісту радіонукліда, участь у написанні статті)*

Статті, опубліковані у інших виданнях

9. Беляев В. В., Волкова О. М., **Пришляк С. П.** Моделирование динамики формирования радиоактивности водных растений. Ядерная енергетика та доквілля, № 1 (5), 2015. – С. 44–49. *(Визначення вмісту радіонукліда, участь у написанні статті)*

Матеріали та тези конференцій

10. Волкова Е. Н., Беляев В. В., Пархоменко А. А., **Пришляк С. П.** Формирование радионуклидного загрязнения гидробионтов при изменении содержания радионуклида в абиотических компонентах пресноводных экосистем. Радиобіологічні та радіоекологічні аспекти Чорнобильської катастрофи. Тези доповідей міжнародної конференції, м. Славутич, 11–15 квітня 2011 року.

Славутич: Фітоцентр, 2011. С. 156. (*Визначення вмісту радіонуклідів, участь у написанні тез*)

11. **Пришляк С. П.**, Беляєв В. В., Волкова О. М., Пархоменко О. О. Особливості накопичення ^{137}Cs вищими водяними рослинами Київського водосховища. Фізичні методи в екології, біології та медицині: Матеріали IV міжнародної конференції (Львів-Шацьк, Україна, 15–18 вересня 2011 р.). Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка. С. 91–93. (*Визначення вмісту радіонуклідів, написання тез*)

12. Волкова О. М., Беляєв В. В., **Пришляк С. П.**, Пархоменко О. О., Черненко Т. Роль гідробіонтів у процесах перерозподілу ^{137}Cs по компонентах мілководних ділянок верхньої частини Київського водосховища. Тези доповідей XIX щорічної наукової конференції Інституту ядерних досліджень НАН України: Наукове видання (24–27 січня 2012 р., Київ, Україна). К., 2012. С.132–133. (*Участь у польових дослідженнях, визначення вмісту радіонуклідів, участь у написанні тез*)

13. **Пришляк С. П.**, Волкова О. М., Беляєв В. В., Пархоменко О. О. Вплив внутришньоводоймної динаміки водних мас на формування радіонуклідного забруднення вищих водних рослин Київського водосховища. Тези доповідей XIX щорічної наукової конференції Інституту ядерних досліджень НАН України: Наукове видання (24–27 січня 2012 р., Київ, Україна). К., 2012. С.149–150. (*Участь у польових дослідженнях, визначення вмісту радіонуклідів, написання тексту тез*)

14. Беляєв В. В. Холодцько О. П., Волкова О. М., **Пришляк С. П.** Пархоменко О. О., Карапиш В. А., Юрчук Л. П. Особливості радіонуклідного забруднення донних відкладів Київського водосховища. Современные проблемы гидробиологии. Перспективы, пути и методы решений: Материалы III Международной научной конференции. Херсон, ПП Вишемирський В. С., 2012. С. 136–139. (*Визначення вмісту радіонуклідів, узагальнення матеріалу*)

15. Беляєв В. В., Волкова О. М., Пархоменко О. О., **Пришляк С. П.** Радіємність донних відкладів водойм різного трофічного статусу. Тези доповідей XXI щорічної наукової конференції Інституту ядерних досліджень НАН України (27–31 січня 2014р., Київ, Україна). К., 2014. С. 191–192. (*Визначення вмісту радіонуклідів, узагальнення матеріалу*)

16. Волкова Е. Н., Беляєв В. В., Пархоменко А. А., **Пришляк С. П.** Роль макрофітов в формировании радиационной дозы облучения эмбрионов пресноводных рыб. Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды: Материалы международной конференции (Сыктывкар, республика Коми, Россия, 17–21 марта 2014 г.). Сыктывкар, 2014. С. 36–40. (*Визначення вмісту радіонуклідів у рослинах, участь у написанні тексту*)

17. Волкова О. М., Беляєв В. В., **Пришляк С. П.**, Пархоменко О. О. Моделювання поведінки радіонуклідів в озерних екосистемах. Національні природні парки – минуле, сьогодення, майбутнє. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції до 30-річчя створення Шацького національного природного парку (Світязь, 23–25 квітня 2014 року). К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2014. – С. 146–149. (*Визначення вмісту радіонуклідів, участь у написанні статті*)

18. **Пришляк С. П.**, Волкова О. М., Беляєв В. В., Пархоменко О. О. Розподіл ^{137}Cs між наземними та підземними органами *Typha angustifolia*. Тези

доповідей XXII щорічної наукової конференції Інституту ядерних досліджень НАН України (26–30 січня 2015 р., Київ, Україна). К., 2015. С. 214–215. *(Польові дослідження, розрахунки, написання тексту тез)*

19. **Пришляк С. П.**, Волкова О. М., Беляєв В. В., Пархоменко О. О. Особливості опромінення повітряно-водних рослин на різних глибинах. XXIII щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 01–05 лютого 2016 р.): тези доповідей. К.: Ін-т ядерних дослідж., 2016. С. 226–227. *(Польові дослідження, розрахунки, написання тексту тез)*

20. Волкова Е. Н., Беляєв В. В., **Пришляк С. П.**, Пархоменко А. А. Миграція ^{137}Cs в донные отложения при отмирании воздушно-водных растений. Радиобиология: минимизация радиационных рисков: материалы междунар. науч. конф. (29–30 сент. 2016 г, Гомель) / редкол. : И. А.Чешик (гл. ред.) [и др.]. Гомель: Ин-т радиологии, 2016. С. 26–29. *(Польові дослідження, визначення вмісту радіонукліда, участь у написанні статті)*

21. Волкова О. М., Беляєв В. В., **Пришляк С. П.**, Пархоменко О. О. Сучасні рівні радіонуклідного забруднення гідробіонтів водою України у віддалений після аварії на Чорнобильській АЕС час. "Вода: проблеми та шляхи вирішення". Збірник статей Науково-практичної конференції із міжнародною участю, м. Рівне, 5–8 липня 2017 року. Житомир: Вид-во ЕЦ «Укрекобіокон», 2017. С. 49–53. *(Польові дослідження, визначення вмісту радіонуклідів, участь у написанні статті)*

22. Беляєв В. В., Волкова Е. Н., **Пришляк С. П.**, Пархоменко А. А. Роль высших водных растений в биотрансформации ^{137}Cs в экосистеме Киевского водохранилища. XXV щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 16–20 квітня 2018 року) :тези доповідей. Київ: Ін-т ядерних дослідж., 2018. С. 205–206. *(Польові дослідження, визначення вмісту радіонукліда, розрахунки, участь у написанні статті)*

23. Волкова О. М., Беляєв В. В., **Пришляк С. П.**, Пархоменко О. О. Формування поглиненої дози випромінювання ^{137}Cs у повітряно-водяних рослин. Чорнобильська катастрофа. Актуальні проблеми, напрямки та шляхи їх вирішення. Житомир: ЖНАЕУ, 2018. С. 283–288. *(матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Житомир, 26–27 квітня 2018 р.) (Польові дослідження, визначення вмісту радіонукліда, розрахунки дозових навантажень, участь у написанні статті).*

24. **Пришляк С. П.**, Волкова О. М., Беляєв В. В. Роль відмирання повітряно-водяних рослин в міграції ^{137}Cs у прісноводних водоймах. Чорнобильська катастрофа. Актуальні проблеми, напрямки та шляхи їх вирішення. Житомир: ЖНАЕУ, 2018. С. 288–292 (матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Житомир, 26–27 квітня 2018 р.) *(Польові дослідження, визначення вмісту радіонукліда, розрахунки міграції, участь у написанні статті)*

25. **Пришляк С. П.** Sr^{90} та Cs^{137} у вищих водяних рослинах Київського водосховища. Інститут гідробіології НАНУ Актуальні проблеми сучасної гідробіології. Збірник матеріалів науково-практичної конференції, присвяченої 95-річчю заснування Національної академії наук України. 2013 р. С. 75–77.

26. **Пришляк С. П.** Особливості накопичення ^{137}Cs у кореневій системі рогозу вузьколистого. Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у

вирішенні актуальних проблем. збірник матеріалів науково-практичної конференції, присвяченої 75-річчю заснування Інституту гідробіології Національної академії наук України. 2–3 квітня, 2015 р. С. 57–58.

27. **Пришляк С. П.** Закономірності міграції ^{137}Cs у донні відклади внаслідок відмирання повітряно-водяних рослин. Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем. Збірник матеріалів III науково-практичної конференції для молодих вчених. 6–7 жовтня 2016 р. С. 46–47.

28. **Пришляк С. П.** Формування дози опромінення повітряно-водяних рослин в оліготрофних та евтрофних водоймах. Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем. Збірник матеріалів IV науково-практичної конференції для молодих вчених, присвяченої 100-річчю Національної академії наук України. 6–7 листопада 2017 р. С. 47–48.

29. **Пришляк С. П.** Роль гелофітів у міграції ^{137}Cs в евтрофних водоймах. Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем. Збірник матеріалів V науково-практичної конференції для молодих вчених. 14–15 листопада 2018 р. С. 46–48.

ПОДЯКА

Автор висловлює глибоку шану та щирю вдячність за плідне співробітництво, консультативну допомогу, цінні поради та всебічну підтримку науковому керівнику д.б.н., с.н.с. Волковій Олені Миколаївні, а також к.б.н., с.н.с. Беляєву В.В., та всім колегам відділу водної радіоекології за надану допомогу, цінні поради та консультації.

АНОТАЦІЯ

Пришляк С.П. Радіонуклідне забруднення вищих водяних рослин та роль гелофітів у міграції ^{137}Cs у прісноводних водоймах – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 03.00.17 – гідробіологія. – Інститут гідробіології Національної академії наук України, Київ, 2019.

Дисертація присвячена визначенню особливостей формування радіонуклідного забруднення вищих водяних рослин у водоймах, розташованих поза межами зони відчуження та встановленню ролі гелофітів у міграції ^{137}Cs у водоймах різного трофічного статусу.

У 2010–2017 рр. максимальні значення питомої активності ^{137}Cs у рослинах досліджених водойм перевищували доаварійні величини у 8–3000 разів і досягали 11000 Бк/кг, ^{90}Sr – перевищували доаварійні рівні в рослинах окремих водойм і досягали 80 Бк/кг. Показано, що у водоймах, які розташовані поза межами зони відчуження, радіоактивність вищих водяних рослин в основному сформована ^{137}Cs . Його внесок до сумарної активності рослин різних видів становив від 52 до 99 %.

Аналіз закономірностей формування радіонуклідного забруднення надземних і підземних органів гелофітів у водоймах різного типу і трофічного статусу показав, що висока питома активність ^{137}Cs у ґрунтових коренях обумовлює

переважне накопичення радіонукліда підземними органами. Життєдіяльність гелофітів сприяє перерозподілу валового вмісту та обмінних і необмінних форм ^{137}Cs у товщі донних відкладів. Щорічно відмирання гелофітів обумовлює біотрансформацію 0,3–1,1 % загальної кількості ^{137}Cs у верхньому шарі донних відкладів.

Величина поглиненої гелофітами дози випромінювання ^{137}Cs на 78–95 % обумовлена опроміненням підземних органів.

Ключові слова: вищі водяні рослини, радіонукліди, водні екосистеми, міграція радіонуклідів, підземні органи, потужність поглиненої дози, донні відклади.

АННОТАЦІЯ

Пришляк С.П. Радионуклідное загрязнение высших водных растений и роль гелофитов в миграции ^{137}Cs в пресноводных водоемах – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук (доктора философии) по специальности 03.00.17 — гидробиология. — Институт гидробиологии НАН Украины, Киев, 2019.

Диссертация посвящена определению особенностей формирования радионуклидного загрязнения высших водных растений в водоемах, расположенных за пределами зоны отчуждения, и определению роли гелофитов в миграции ^{137}Cs в водоемах разного трофического статуса.

Определены уровни накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs высшими водными растениями в водоемах разного типа и трофического статуса северо-западных областей Украины, расположенных на территориях с разной плотностью радиоактивного загрязнения. Установлено, что в период 2010–2017 гг. в исследованных водоемах максимальная зарегистрированная удельная активность ^{137}Cs в надземных органах высших водных растений превышала доаварийные величины: в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС и озерах Шацкого НПП в десятки раз и достигала 100 Бк/кг; в Киевском, Каневском и Повчанском водохранилищах, р. Жерев и прудах на территории Киевской области в сотни раз и достигала 600 Бк/кг; в замкнутых озерах на севере Киевской и Ровенской областей в тысячи раз и достигала 11000 Бк/кг. Максимальные величины удельной активности ^{90}Sr в растениях из водоема-охладителя Хмельницкой АЭС, озер Шацкого НПП и Каневского водохранилища не превышали доаварийных значений; из Киевского и Повчанского водохранилищ, р. Жерев, прудов на территории Киевской области и оз. Белое – превышала их в 1,5–4 раза и достигала 40 Бк/кг; в замкнутом озере на территории Иванковского района Киевской области – в 8 раз и достигала 80 Бк/кг.

На период исследований вклад ^{137}Cs в суммарную радиоактивность отдельных видов растений исследованных водоемов составлял от 52 до 99%. Наименьший вклад ^{137}Cs в суммарную активность зарегистрирован в гелофитах Киевского водохранилища в зоне влияния днепровских водных масс, наибольший – в гелофитах из озерных экосистем. Отмечена тенденция к увеличению вклада ^{137}Cs в суммарную активность высших водных растений с замедлением водообмена.

В водоемах разного типа и трофического статуса отмечено различие динамических характеристик удельной активности ^{137}Cs в гидатофитах. Удельная активность ^{137}Cs в гидатофитах эвтрофного Киевского водохранилища во времени уменьшалась быстрее, чем в растениях олиготрофного оз. Белое, о чем свидетельствуют периоды полууменьшения удельной активности ^{137}Cs , которые составляли в Киевском водохранилище ($5,0 \pm 0,6$), в оз. Белое ($16,7 \pm 6,0$) лет. Установлено, что в период исследований, по сравнению с предшествующим, скорость снижения удельной активности ^{137}Cs в гидатофитах Киевского водохранилища уменьшилась, в гидатофитах олиготрофного озера – достоверно не изменилась.

Анализ закономерностей формирования радионуклидного загрязнения надземных и подземных органов гелофитов из водоемов разного типа, трофического статуса и степени радиоактивного загрязнения показал, что удельная активность ^{137}Cs в надземных органах и корневищах доминирующих по биомассе видов не отличалась, в грунтовых корнях была в 8–12 раз выше, чем в надземных органах и корневищах.

Высокая удельная активность ^{137}Cs в грунтовых корнях гелофитов обуславливает преимущественное накопление радионуклида подземными органами. В подземных органах гелофитов эвтрофного водоема сосредоточено 73–87 % от общих запасов ^{137}Cs в их фитомассе, в олиготрофном – 78–93 %, из них в корнях – 53–80 % и 64–74 %, соответственно.

Жизнедеятельность гелофитов способствует перераспределению валового содержания, обменных и необменных форм ^{137}Cs в толще донных отложений. Ежегодно 63–82 % ^{137}Cs от его общего количества в фитомассе гелофитов депонируется в толще донных отложений вследствие отмирания корней и корневищ, что составляет от 0,3 до 1,1 % от общего содержания радионуклида в верхнем 30-ти сантиметровой слое донных отложений площади монодоминантных зарослей.

За 30 лет, прошедших после аварии, отмирание гелофитов обусловило биотрансформацию 7–29 % общего количества ^{137}Cs в верхнем 30-ти сантиметровом слое донных отложений заросших мелководий эвтрофного водоема и 8–17 % олиготрофного.

Разработаны методические подходы к определению дозы облучения гелофитов с учетом закономерностей формирования радионуклидного загрязнения надземных и подземных органов, а также ослабления γ -излучения водными массами.

Величина поглощенной гелофитами дозы излучения ^{137}Cs на 78–95 % обусловлена облучением подземных органов. Мощность поглощенной дозы излучения ^{137}Cs корней гелофитов эвтрофного и олиготрофного водоемов была в 1,5–2 раза выше, чем корневищ, и в 6–10 раз выше, чем надземных органов. Установлено, что 76–92 % поглощенной дозы гелофитов формируется за счет внешнего облучения.

Ключевые слова: высшие водные растения, радионуклиды, водные экосистемы, миграция радионуклидов, подземные органы, мощность поглощенной дозы, донные отложения.

SUMMARY

Prishlyak S.P. Radionuclide contamination of higher aquatic plants and the role of helophytes in the migration of ^{137}Cs in freshwater bodies. – Manuscript.

Thesis for obtaining the Doctor of Philosophy degree (PhD) in Biological Sciences, specialty 03.00.17 «Hydrobiology». – Institute of Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2019.

The thesis is devoted to the determination of formation peculiarities of radionuclide contamination of higher aquatic plants in water bodies outside the exclusion zone and the explanation of helophytes role in the ^{137}Cs migration in water bodies of various trophic status.

During 2010–2017, the maximum values of specific activity of ^{137}Cs in the plants of studied water bodies exceeded the pre-accident levels in 8-3000 times and reached 11000 Bq/kg, while ^{90}Sr – in the plants of some water bodies and reached 80 Bq/kg.

It has been shown that in water bodies located outside the exclusion zone, ^{137}Cs forms the radioactivity of higher aquatic plants. Its contribution to the total activity of plants of different species ranged from 52 to 99 %.

Analysis of the regularities of radionuclide pollution formation of the aboveground and underground organs of helophytes from water bodies of various types and trophic status showed that high specific activity of ^{137}Cs in soil roots causes the predominant accumulation of radionuclide by underground organs.

The vital activity of helophytes contributes to the redistribution of gross contents and exchange and non-exchange forms of ^{137}Cs in the bottom sediments.

Annually, dying off the helophytes causes biotransformation of 0,3–1,1 % of the total amount of ^{137}Cs in the upper layer of bottom sediments.

The magnitude of the ^{137}Cs radiation dose absorbed by helophytes is 78–95% due to the irradiation of underground organs.

Key words: higher aquatic plants, radionuclides, aquatic ecosystems, radionuclide migration, underground organs, absorbed dose rate, bottom sediments.