

УДК 574.5:551.58(477.74)

## Екологічний моніторинг міграції техногенних радіонуклідів між абіотичними компонентами та водяними рослинами екосистеми Канівського водосховища

Скиба В.В. *Білоцерківський національний аграрний університет* volly2005@ukr.net

Скиба В.В. Екологічний моніторинг міграції техногенних радіонуклідів між абіотичними компонентами та водяними рослинами екосистеми Канівського водосховища. «Агробіологія», 2023. № 1. С. 196–204

Skyba V. Ecological monitoring of migration of technogenic radionuclides between abiotic components and aquatic plants in the ecosystem of the Kaniv reservoir. «Agrobiology», 2023. no. 1, pp. 196–204.

Рукопис отримано: 29.04.2023 р.

Прийнято: 13.05.2023 р.

Затверджено до друку: 25.05.2023 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2023-179-1-196-204

Проведені у період з 2011 до 2018 роки дослідження виявили, що середня питома активність радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  у вищих водяних рослин (рдесника пронизанолистого, куширу зануреного, очерету звичайного та рогозу вузьколистого) коливається в широкому діапазоні значень. Представлені дослідження показали зменшення рівнів накопичення  $^{137}\text{Cs}$  у гідатофітах протягом досліджуваного періоду. Однак, питома активність  $^{90}\text{Sr}$  у гелофітах, гідатофітах та гелофітах залишалася стабільною. У 2018 році середня питома активність  $^{90}\text{Sr}$  у рослинах не перевищувала максимальних референтних значень, тимчасом питома активність  $^{137}\text{Cs}$  була значно вищою в порівнянні з референтними значеннями. Загальне радіоактивне забруднення вищих водяних рослин Канівського водосховища переважно формувалося радіонуклідом  $^{137}\text{Cs}$ . Дослідження підтвердили наявність послідовності в розташуванні рослин різних екологічних груп за зростанням питомої активності  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$ : гелофіти < плейстофіти < гідатофіти, що свідчить про рівноважний радіоекологічний стан екосистеми Канівського водосховища.

Протягом періоду 2011–2018 рр. було виявлено, що середня питома активність  $^{90}\text{Sr}$  в надземних органах рдесника пронизанолистого, куширу зануреного, очерету звичайного та рогозу вузьколистого коливалася в діапазоні від 1,5 до 14,0 Бк/кг, а питома активність  $^{137}\text{Cs}$  – від 3,1 до 165 Бк/кг. Також спостерігалась тенденція до зниження рівнів накопичення  $^{137}\text{Cs}$  гідатофітами. Ймовірно, питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у гелофітів та  $^{90}\text{Sr}$  у гелофітів та гідатофітів залишалася незмінною.

У 2018 році середня питома активність  $^{90}\text{Sr}$  у вивчених видів рослин не перевищувала максимальних референтних значень післяварійного періоду. Тимчасом питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у рдесника пронизанолистого перевищувала максимальні референтні значення в 13 разів, у куширу зануреного, очерету звичайного та рогозу вузьколистого – у 25; 3 та 2 рази відповідно.

За зростанням питомої активності  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  рослини різних екологічних груп розташовувалися у наступній послідовності: гелофіти < плейстофіти < гідатофіти, що свідчить про рівноважний радіоекологічний стан в екосистемі Канівського водосховища. Радіонуклідне забруднення вищих водяних рослин Канівського водосховища на 75–90 % було сформоване  $^{137}\text{Cs}$ .

**Ключові слова:** активність  $^{90}\text{Sr}$ , активність  $^{137}\text{Cs}$ , радіонукліди, водяні рослини, екологічний моніторинг, Канівське водосховище, накопичення радіонуклідів, референтні значення, екосистема.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Проблеми радіоактивного забруднення агроєкосистем, зокрема наслідків надходження радіонуклідів техногенного походження у рибогосподарські водойми, після аварії на ЧАЕС у 1986 р., висвітлені у численних наукових роботах, а саме, доведена здатність вищих водяних рослин швидко реагувати на зміну радіоекологічної ситуації в екосистемі та у значних кількостях накопичувати радіоактивні елементи [5, 8, 12, 14, 15].

Вищим водяним рослинам прісноводних рибогосподарських екосистем притаманне надзвичайне різноманіття морфологічних форм життєдіяльності та контактів з іншими компонентами водойм. Частина видів перебуває у контакті лише з водним середовищем, інші – з водним середовищем та ґрунтом, також є групи, які контактують з водою, ґрунтом і повітрям [6]. У ряді наукових публікацій показано, що занурені вищі водяні рослини можуть слугувати індикаторами радіонуклідного забруднення водних мас, а по співвідношеннях вмісту радіонукліда в рослинах різних екологічних груп можна проводити ретроспективну оцінку надходження радіонукліда в екосистему [2, 4, 10, 11, 6].

Дослідження закономірностей формування радіонуклідного забруднення вищих водяних рослин Дніпровських водосховищ були розпочаті у перші місяці після аварії на ЧАЕС [12, 14], а вагомі узагальнення щодо особливостей накопичення техногенних радіонуклідів рослинами Канівського водосховища проведені на основі результатів за період 1986–2006 рр. [5, 7, 14]. Упродовж наступних 15-ти років радіоекологічні дослідження гідроєкосистеми Канівського водосховища скоротилися, а інформація щодо закономірностей накопичення радіонуклідів рослинами обмежувалася даними про вміст  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  у рослинах верхньої частини водосховища за період 2010–2012 рр. [10].

Однак, на сьогодні, надзвичайно актуальним питанням є визначення референсних величин радіонуклідного забруднення компонентів водойм України різного призначення, оскільки військовий конфлікт на території нашої держави може спричинити радіаційне забруднення навколишнього природного середовища внаслідок руйнування підприємств ядерного паливного циклу та у випадку застосування ядерної зброї. Канівське водосховище можна віднести до водойм, що перебувають під загрозою радіоактивного забруднення водним шляхом. У водному балансі Канівського водосховища 75 % прибуткової частини забезпечують скиди Київської ГЕС, 20 % - р. Десна. Тому бойові дії на

території зони відчуження можуть призвести до збільшення потоку радіонуклідів не лише до Київського, а також до Канівського водосховища. Крім того, на території басейну р. Десна розташовані Смоленська та Курська АЕС з реакторами типу РБМК, які вважаються не достатньо надійними та застарілими [1], і аварійні ситуації на зазначених об'єктах можуть спричинити радіонуклідне забруднення екосистеми Канівського водосховища, через перенесення водних мас за течією річки Дніпро.

Тому, аналіз інформації щодо вмісту техногенних радіонуклідів у компонентах екосистеми Канівського водосховища за період, який передував початку воєнних дій, сприятиме визначенню референсних рівнів радіоактивного забруднення компонентів водойми та уточненню параметрів багаторічної динаміки радіонуклідів у гідробіонтах.

**Мета дослідження** – визначення закономірностей формування радіонуклідного забруднення вищих водяних рослин Канівського водосховища у віддалений після аварії на ЧАЕС період.

**Матеріал і методи дослідження.** Роботу виконували у 2011–2018 рр. Проби вищих водяних рослин відбирали у період формування максимальної фітомаси (липень–серпень) на мілководних ділянках середньої частини Канівського водосховища у районі м. Ржищів (правий берег) та Бориспільських островів (лівий берег) (рис. 1).

Об'єктами досліджень були вищі водяні рослини, які належать до 3-х основних екологічних груп: 1) занурені (гідатофіти) – рдесник пронизанолистий *P. perfoliatus* L.; водопериця колосиста *Myriophyllum spicatum* L.; елодея канадська *Eloдея canadensis* Michx.; різуха морська *Najas marina* L.; кушир занурений *Ceratophyllum demersum* L.; 2) рослини з плаваючим на поверхні води листям (плейстофіти) – глечики жовті *Nuphar lutea* (L.) Smith.; сальвінія плаваюча *Salvinia natans* (L.) All.; 3) повітряно-водяні (гелофіти) – куга озерна *Scirpus lacustris* L.; очерет звичайний *Phragmites australis* (Cav.) Trin.; рогіз вузьколистий *Typha angustifolia* L.; лепешняк великий *Glyceria maxima* (C. Gartm.).

Проби рослин відбирали відповідно до загальноприйнятих у гідробіологічних та радіоекологічних дослідженнях методик [9]. Питому активність радіонуклідів визначали у надземних органах рослин загальноприйнятими гамма-спектрометричними та радіохімічними методами за допомогою універсального спектрометричного комплексу «УСК Гамма+». Питома активність радіонуклідів наведена у Бк/кг повітряно-сухої маси.

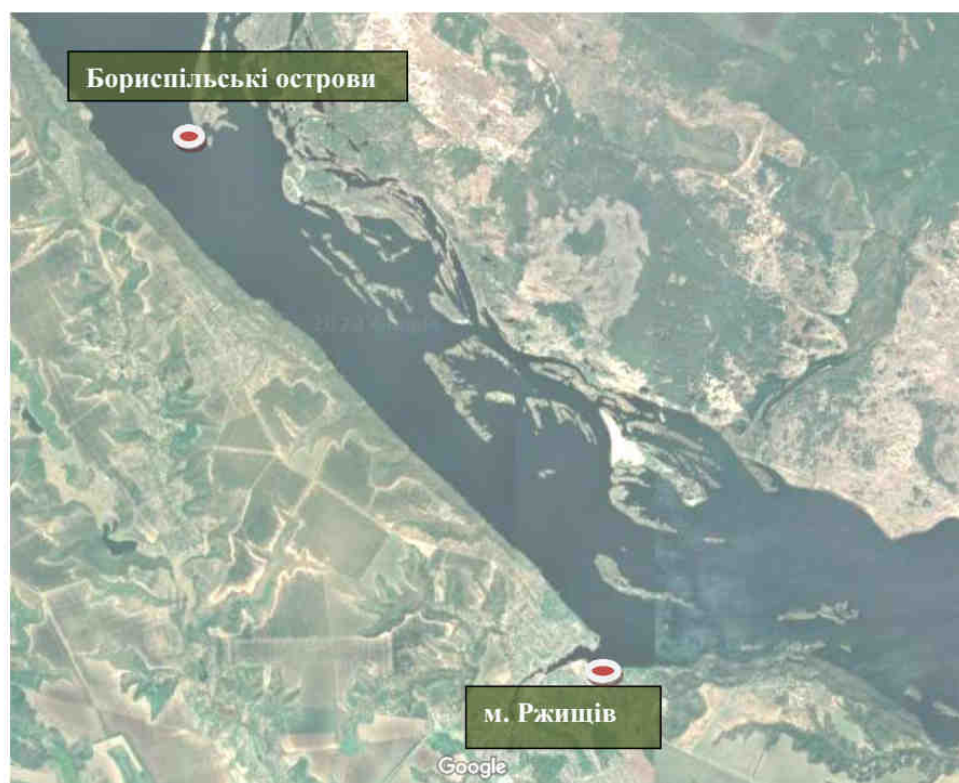


Рис. 1. Точки відбору проб вищих водяних рослин.

**Результати дослідження та обговорення.** Упродовж періоду 2011–2018 рр. визначали  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  у типових представників двох екологічних груп повітряно-водяних рослин – гідатофітах (рдесник пронизанолистий і кушир занурений) та гелофітах (очерет звичайний і рогіз вузьколистий). Середня питома активність  $^{90}\text{Sr}$  у гідатофітах зареєстрована у діапазоні величин від 7,5 (рдесник пронизанолистий, Бориспільські острови) до 14,0 Бк/кг (кушир занурений, Бориспільські острови), у гелофітах – від 1,5 (рогіз вузьколистий, Бориспільські острови та м. Ржищів) до 4,2 Бк/кг (очерет звичайний, м. Ржищів) (рис. 2).

Із наведених даних видно, що упродовж періоду досліджень вміст  $^{90}\text{Sr}$  у рослинах з правобережних та лівобережних ділянок водосховища вірогідно не відрізнявся і від 2011 до 2018 рр. рівні накопичення  $^{90}\text{Sr}$  у рослинах 4-х видів практично не змінилися.

Середня питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у гідатофітах зареєстрована у діапазоні величин від 45 (рдесник пронизанолистий, м. Ржищів) до 165 Бк/кг (кушир занурений, м. Ржищів), у гелофітах – від 3,1 (рогіз вузьколистий, м. Ржищів) до 12,1 Бк/кг (очерет звичайний, Бориспільські острови) (рис. 3).

Результати досліджень показали, що активність  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  у 4-х видів рослин з правобережних і лівобережних ділянок водосховища вірогідно не відрізнялася.

За період досліджень відзначена тенденція до зменшення рівнів накопичення  $^{137}\text{Cs}$  гідатофітами. Зокрема, у 2011 р. середні за двома точками показники вмісту радіонукліда у рдесника пронизанолистого становили 78, у 2018 р. – 48 Бк/кг, у кушира зануреного – 162 та 94 Бк/кг, відповідно. Водночас, питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у гелофітах, так само як і  $^{90}\text{Sr}$  у представників обох екологічних груп, упродовж зазначеного періоду вірогідно не змінилася.

Доречно буде порівняти результати, отримані у віддаленій після аварії на ЧАЕС період з даними досліджень рівнів вмісту радіонуклідів у компонентах водних екосистем, які були отримані у період, що передував аварії. У процесі радіоекологічних досліджень річок Прип'ять, Дніпро та Київського водосховища встановлено, що радіонуклідне забруднення вищих водяних рослин зазначених водойм було сформоване  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  глобального походження, зокрема внесок  $^{90}\text{Sr}$  до сумарної штучної радіоактивності цих гідробіонтів був домінуючим. Питома активність  $^{90}\text{Sr}$  у вищих водяних рослинах стано-

вила 4,4÷11,8 Бк/кг, <sup>137</sup>Cs – відповідно 0,3÷ 3,6 Бк/кг [13]. За результатами досліджень вмісту радіонуклідів у гідробіонтах Запорізького водосховища [2] питома активність зазначених радіонуклідів у вищих водяних рослинах цієї водойми вірогідно не відрізнялася від величин, притаманних гідробіонтам Київського водосховища. Вважаємо за можливе прийняти наведені вище величини за референтні для Канівського водосховища у доаварійний період.

Отже, у 2018 р. величина середньої питомої активності <sup>90</sup>Sr у досліджених видах гідаатофітів не перевищувала максимальних референтних значень доаварійного періоду, у гелофітів була меншою. Середня питома активність <sup>137</sup>Cs у рдесника пронизанolistого перевищувала максимальні референтні величини у 13 разів, куширу зануреного, очерету звичайного та рогозу вузьколистого – приблизно у 25; 3 та 2 рази, відповідно.

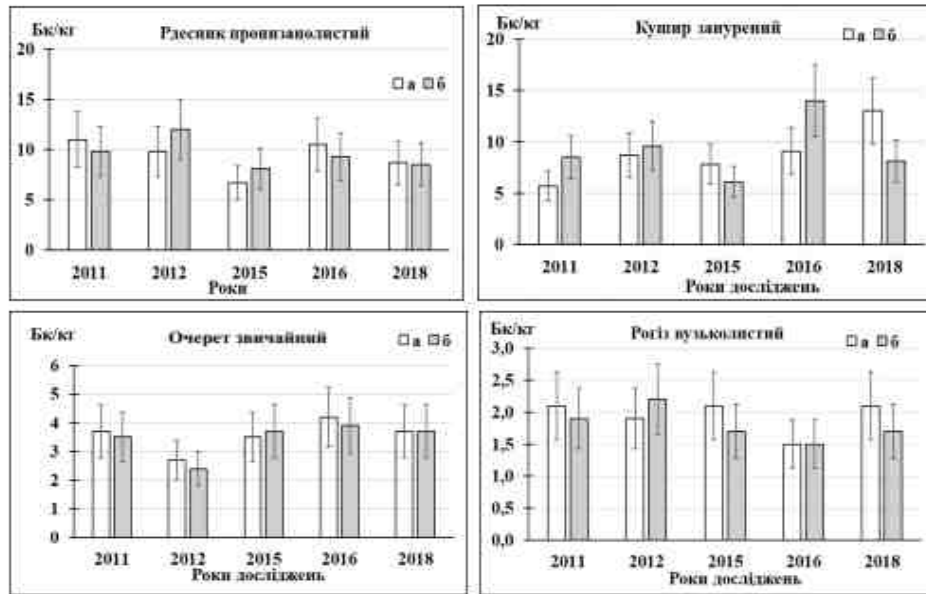


Рис. 2. Питома активність <sup>90</sup>Sr у вищих водяних рослинах на правобережній та лівобережній ділянках Канівського водосховища (а – м. Ржищів, б – Бориспільські острови).

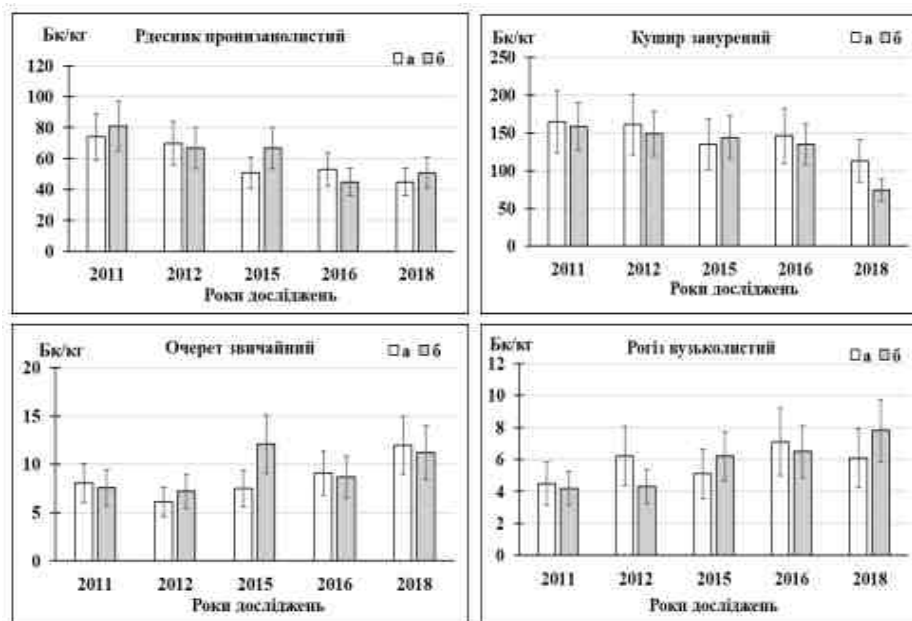


Рис. 3. Питома активність <sup>137</sup>Cs у вищих водяних рослинах на правобережній та лівобережній ділянках Канівського водосховища (а – м. Ржищів, б – Бориспільські острови).

Аналіз результатів досліджень закономірностей формування радіонуклідного забруднення компонентів Канівського водосховища, які наведені у [5, 10, 13], показав, що вміст  $^{90}\text{Sr}$  у вищих водяних рослинах не змінювався упродовж тривалого часу. Зокрема, у 1986 р. його максимальна питома активність у вищих водяних рослинах досягала 400 Бк/кг і до 2003 р. зменшилася до референтних доаварійних величин, тобто упродовж періоду 2003–2018 рр. вміст  $^{90}\text{Sr}$  у вищих водяних рослинах водосховища залишався на одному рівні. Водночас величини питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у рослинах Канівського водосховища поступово зменшувалися.

Також необхідно зазначити, що на час досліджень, на відміну від доаварійного періоду, радіонуклідне забруднення рослин Канівського водосховища було сформоване переважно  $^{137}\text{Cs}$  (рис. 4).

Відомо, що у прісноводних водоймах рівні вмісту радіонуклідів у вищих водяних рослинах різних видів значно відрізняються, що пояснюють різною площею контакту їхніх вегетуючих органів з водним середовищем [11]. Вважається, що у водних екосистемах, які характеризуються рівноважним радіоекологічним станом, за зростанням активності радіонуклідів рослини різних екологічних груп розташовуються у наступній послідовності: гелофіти < плейстофіти < гідатофіти, а пору-

шення такої послідовності може свідчити про надходження радіонуклідів упродовж поточно-го або попереднього вегетаційного сезонів.

З метою визначення особливостей радіонуклідного забруднення рослин Канівського водосховища, що належать до різних екологічних груп, у 2012 р. визначали питому активність  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  у 12-ти видах рослин (рис. 5), які були відібрані на мілководдях у районі м. Ржищів.

Питома активність  $^{90}\text{Sr}$  у представників групи гелофітів – рогозу вузьколистого, очерету звичайного та лепешняку великого вірогідно не відрізнялася, у кузи озерної була дещо меншою. Вміст  $^{90}\text{Sr}$  у представників групи плейстофітів – глечиків жовтих та сальвінії плаваючої відрізнявся у 2 рази. Серед 5-ти видів, які належать до групи гідатофітів, найвищі рівні накопичення  $^{90}\text{Sr}$  зареєстровані у рдеснику пронизанолістому, куширі зануреному та різусі морській. Середні показники питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у досліджених видів представників групи гелофітів були нижчими, ніж у плейстофітів, а найвищі рівні вмісту зазначеного радіонукліда були характерні для гідатофітів.

Загалом слід зазначити, що на основі співвідношень активності радіонуклідів у рослинах різних екологічних груп Канівського водосховища радіоекологічний стан екосистеми на період досліджень можна характеризувати як рівноважний (рис. 6).

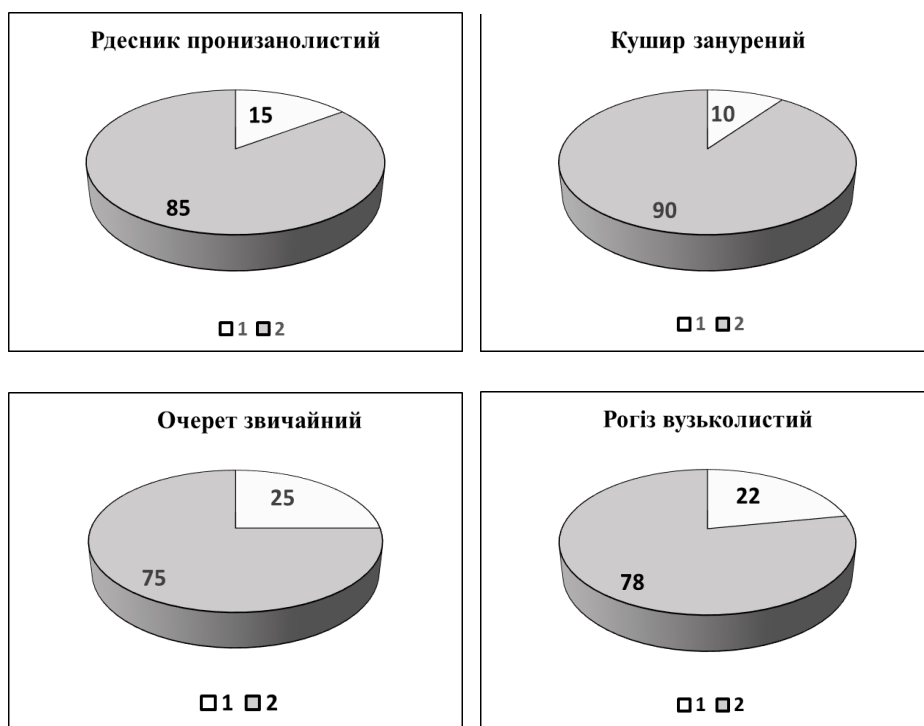


Рис. 4. Внесок  $^{90}\text{Sr}$  (1) та  $^{137}\text{Cs}$  (2) до сумарної активності рослин Канівського водосховища у 2018 р., %.

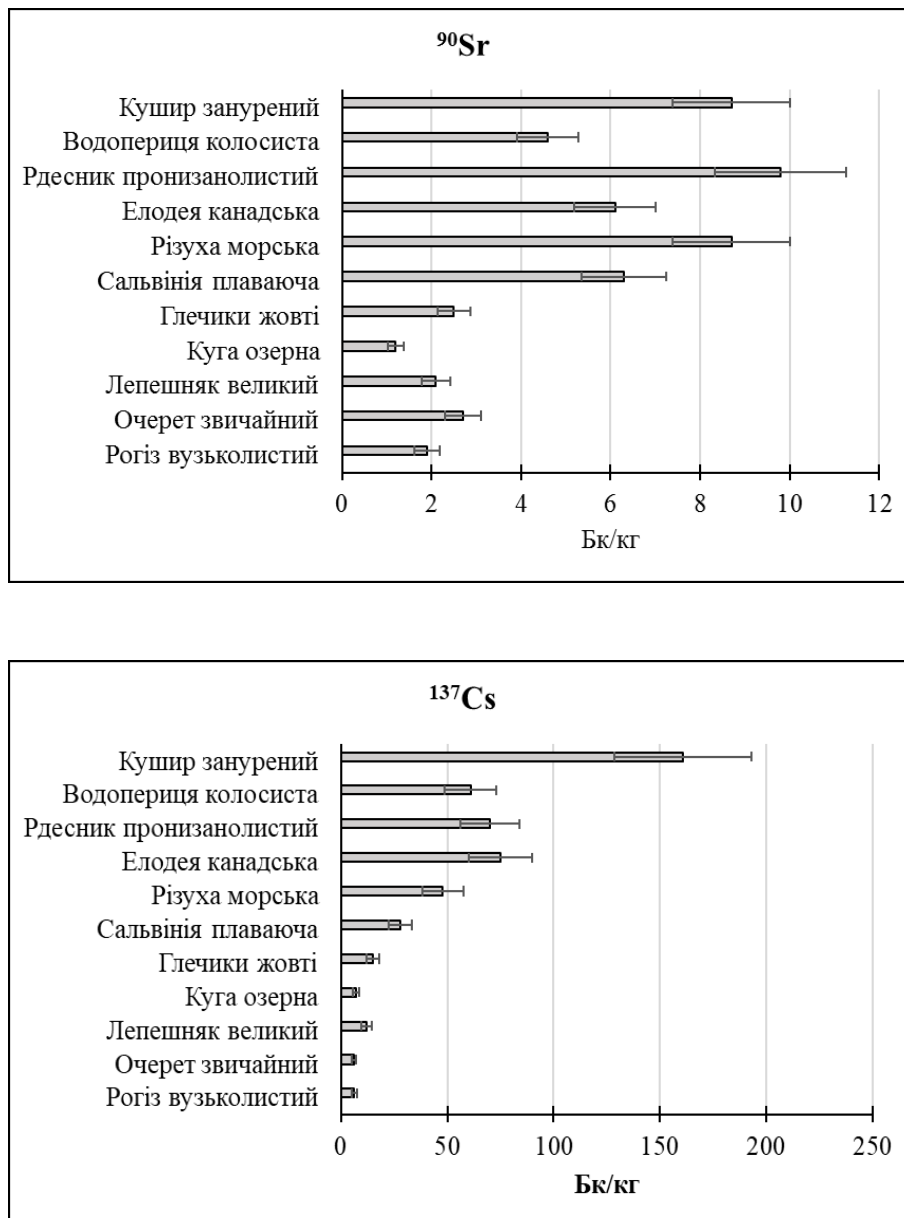


Рис. 5. Питома активність радіонуклідів у різних видах рослин Канівського водосховища, 2012 р.

Крім того, виконаний за даними 2012 р. аналіз видоспецифічності накопичення  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  вищими водяними рослинами дозволив порівняти наші результати з даними, що були одержані у процесі досліджень радіонуклідного забруднення рослин у верхній частині водосховища на території м. Київ нижче гирла р. Десна [10]. Зокрема, за даними співробітників Інституту гідробіології НАН України, у 2010–2012 рр. питома активність  $^{90}\text{Sr}$  у рогозі вузьколистому становила  $2,5 \pm 0,7$ , кузі озерній –  $2,4 \pm 0,9$ , лепешняку великому –  $1,5 \pm 0,5$ , глечиках жовтих –  $2,0 \pm 0,7$ , сальвінії плаваючій –

$4,9 \pm 2,6$ , елодеї канадській –  $5,6 \pm 2,1$ , рдеснику пронизанолистому –  $7,3 \pm 2,5$  Бк/кг,  $^{137}\text{Cs}$  – відповідно  $7,1 \pm 5,4$ ;  $8,7 \pm 1,1$ ;  $11,6 \pm 3,9$ ;  $26,5 \pm 8,2$ ;  $32,6 \pm 5,9$ ;  $69,5 \pm 9,8$ ;  $64,6 \pm 14,5$  Бк/кг. Тобто наведені вище величини вірогідно не відрізнялися від тих, що були притаманні рослинам правобережної та лівобережної ділянок середньої частини Канівського водосховища. Отже, є підстави припустити, що на період досліджень різних ділянок Канівського водосховища, рівні радіонуклідного забруднення у різних видах вищих водяних рослин не мали суттєвих розбіжностей.

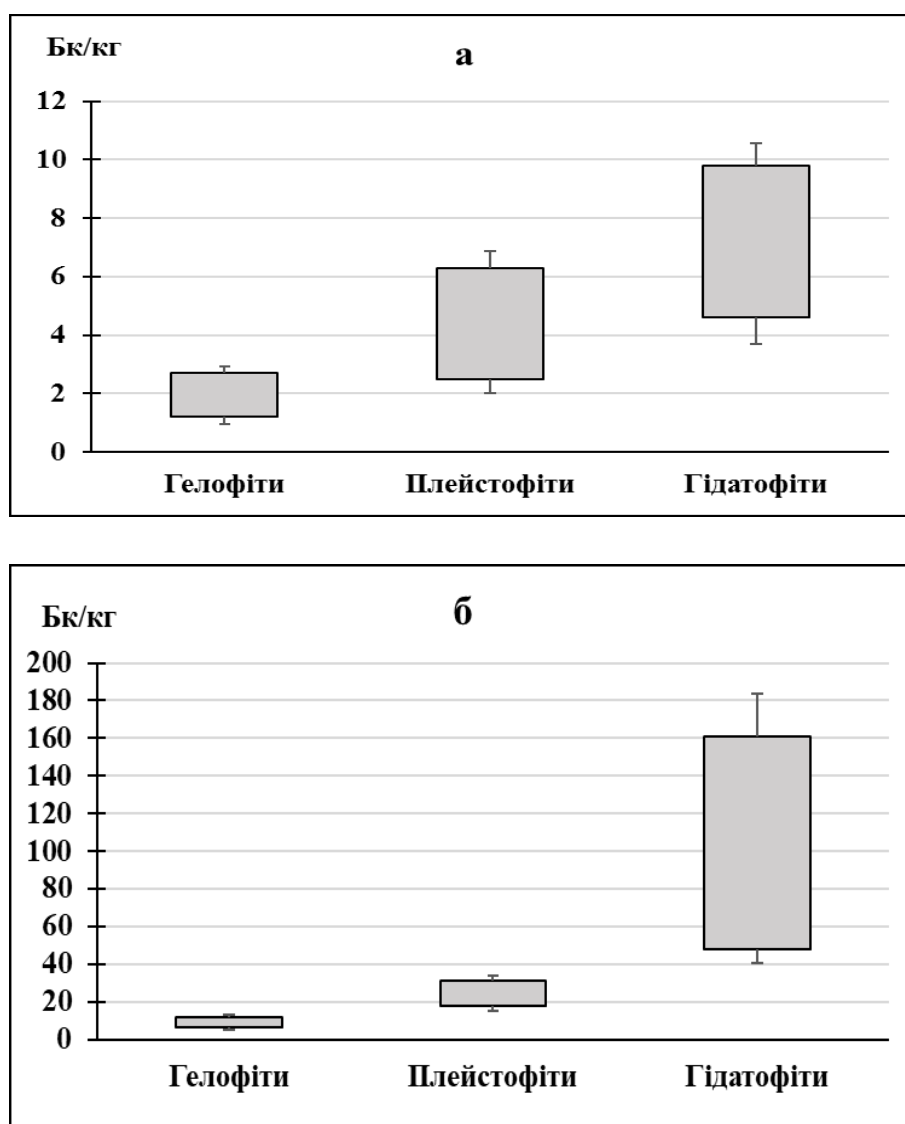


Рис. 6. Діапазони питомої активності  $^{90}\text{Sr}$  (а) та  $^{137}\text{Cs}$  (б) у вищих водяних рослинах різних екологічних груп Канівського водосховища, 2012 р.

**Висновки.** 1. Упродовж періоду 2011–2018 рр. середня питома активність  $^{90}\text{Sr}$  у надземних органах рдесника пронизанолістого, куширу зануреного, очерету звичайного та рогозу вузьколистого зареєстрована у діапазоні величин від 1,5 до 14,0 Бк/кг,  $^{137}\text{Cs}$  – від 3,1 до 165 Бк/кг.

2. За період досліджень відзначена тенденція до зменшення рівнів накопичення  $^{137}\text{Cs}$  гідатофітами. Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у гелофітах і  $^{90}\text{Sr}$  у гелофітах та гідатофітах вірогідно не змінилася.

3. У 2018 р. величина середньої питомої активності  $^{90}\text{Sr}$  у досліджених видах рослин не перевищувала максимальних референтних значень доаварійного періоду. Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у рдесника пронизанолістого перевищу-

вала максимальні референтні величини у 13 разів, куширу зануреного, очерету звичайного та рогозу вузьколистого – у 25; 3 та 2 рази, відповідно.

4. На час досліджень радіонуклідне забруднення вищих водяних рослин Канівського водосховища на 75–90 % було сформоване  $^{137}\text{Cs}$ .

5. За зростанням питомої активності  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  у рослинах різних екологічних груп відзначається наступна послідовність: гелофіти мають меншу активність порівняно з плейстофітами, а гідатофіти, навпаки, здатні адсорбувати більші концентрації радіонуклідів, що свідчить про рівноважний радіоекологічний стан в екосистемі Канівського водосховища.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 20 років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє: національна доповідь України. Київ: Атіка, 2006. 224 с.
2. Антоненко Т.М. Радиоэкологическое исследование накопления, распределения и миграции цезия-137 в водоемах степной зоны Украины: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.17. Севастополь, 1978. 28 с.
3. Волкова О.М. Метод оцінки радіоекологічного стану водних екосистем за вмістом радіонуклідів у гідробіонтах. Природничий альманах. Біологічні науки. 2006. Вип. 8. С. 7–12.
4. Особенности формирования радионуклидного загрязнения высших водных растений Киевского водохранилища / Е.Н. Волкова и др. Ядерная физика та енергетика. 2012. Т. 13. № 2. С. 160–165.
5. Волкова О.М. Техногенні радіонукліди у гідробіонтах водойм різного типу: дис. ... д-ра біол. наук: 03.00.17. Київ, 2008. 348 с.
6. Дубына Д.В., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Принципы классификации высшей водной растительности. Гидробиол. журн. 1989. Т. 25. № 2. С. 9–17.
7. Широкая З.О. Запасы  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в высших водных растениях Каневского водохранилища. Пятнадцать лет Чорнобильської катастрофи. Досвід подолання: тези доп. міжнар. конф. Київ: Чорнобильінтерінформ, 2001. 218 с.
8. Куликов Н.В. Радиоэкология пресноводных растений и животных. Современные проблемы радиобиологии. Атомиздат, Радиоэкология, 1971. Т. 2. С. 367–384.
9. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В.Д. Романенка. Київ: ЛОГОС, 2006. 408 с.
10. Пришляк С.П. Радіонуклідне забруднення вищих водяних рослин та роль гелофітів у міграції  $^{137}\text{Cs}$  у прісноводних водоймах: дис. ... канд. біол. наук: 03.00.17. Київ, 2019. 194 с.
11. Пришляк С.П., Беляев В.В., Волкова О.М., Пархоменко О.О. Особенности накопления  $^{137}\text{Cs}$  высшими водными растениями Киевского водохранилища. Фізичні методи в екології, біології та медицині: матеріали IV міжнародної конференції. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка. С. 91–93.
12. Радиоактивное и химическое загрязнение Днепра и его водохранилищ после аварии на чернобыльской АЭС / В.Д. Романенко та ін. Київ: Наукова думка, 1992. 194 с.
13. Радиогеоэкология водных объектов зоны влияния аварии на ЧАЭС / под ред. О.В. Войцеховича. Київ: Чернобыльинтеринформ, 1997. Т. 1. 308 с.
14. Радіонукліди у водних екосистемах України / М.І. Кузьменко та ін. Київ: Чорнобильінтерінформ, 2001. 318 с.
15. Makrophytes as bioindicators of radionuclide contamination in ecosystems of different aquatic bodies of Chernobyl exclusion zone A. Kaglyan. *Equidosimetri – Ecological Standardization and Equidosimetry for Radioecology and Environmental Ecology* / F. Brechignas and G. Desmet (Eds.). Series C: Environmental Security. Dordrecht: Springer, 2005. Vol. 2. P. 79–86.

## REFERENCES

1. 20 rokov Chornobyl'skoi katastrofi [20 years of the Chernobyl disaster]. *Pohlyad u maibutnie: natsional'na dopovid' Ukrainy* [Looking to the future: a national report of Ukraine]. Kyiv, Atika, 2006, 224 p.
2. Antonenko, T.M. (1978). Radioekologicheskoe issledovanie nakopleniya, raspredeleniya i migratsii tseziya-137 v vodoymakh stepnoi zony Ukrainy: atoref. dis. ... kand. biol. nauk: spets. 03.00.17 [Radioecological study of the accumulation, distribution and migration of cesium-137 in water bodies of the steppe zone of Ukraine: abstract of the thesis of the Candidate of Biological Sciences: 03.00.17]. Sevastopol, 28 p.
3. Volkova, O.M. (2006). Metod otsinki radioekologichnogo stanu vodnykh ekosystem za vmistom radionuklidiv u hidrobiontakh [A method of assessing the radioecological state of aquatic ecosystems based on the content of radionuclides in hydrobionts]. *Pryrodnychiy al'manakh. Biologichni nauky* [Natural almanac. Biological sciences]. Issue 8, pp. 7–12.
4. Volkova, E.N., Belyaev, V.V., Pryshlyak, S.P., Parkhomenko, A.A., Karapysch, V.A. (2012). Osobnosti formirovaniya radionuklidnoho zagryazneniya vysshikh vodnykh rastenii Kievskogo vodokhranilishcha [Features of the formation of radionuclide contamination of higher aquatic plants of the Kyiv reservoir]. *Yaderna fizyka ta enerhetika* [Nuclear physics and energy]. Vol. 13, no. 2, pp. 160–165.
5. Volkova, O.M. (2008). Technohenni radionuklidy u hidrobiontakh vodoym riznoho typu: dis. ... d-ra biol. nauk: 03.00.17 [Man-made radionuclides in hydrobionts of different types of reservoirs: Doctor of Biological Sciences dissertation: 03.00.17]. Kyiv, 348 p.
6. Dubyna, D.V., Shelyah-Sosonko, Yu.R. (1989). Printsipy klassifikatsii vyshei vodnoi rastitelnosti [Principles of classification of higher aquatic vegetation]. *Gidrobiol. zhurn* [Hydrobiol. journal]. Vol. 25, no. 2, pp. 9–17.
7. Shyrokaia, Z.O. (2001). Zapasy  $^{90}\text{Sr}$  ta  $^{137}\text{Cs}$  v vysshikh vodnykh rastenyakh Kanevskoho vodokhranilishcha [Reserves of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in higher aquatic plants of the Kanev reservoir]. *Pyatnadtsyat' rokiv Chornobyl's'koi katastrofi. Dosvid podolannya: tezy dop. mizhnar. konf.* [Fifteen years of the Chernobyl disaster. The experience of overcoming: theses add. international conf.]. Kyiv, Chornobylinterinform, 218 p.
8. Kulikov, N.V. (1971). Radioekolohiya presnovodnykh rastenii i zhyvotnykh [Radioecology of freshwater plants and animals]. *Sovremennye problemy radiobiologii* [Modern problems of radiobiology]. Atomizdat, Radioecology, Vol. 2, pp. 367–384.
9. Romanenko, V.D. (2006). Metody hidroekologichnykh doslidzhen povershnevikh vod [Methods of hydroecological research of surface waters]. Kyiv, LOGOS, 408 p.
10. Pryshlyak, S.P. (2019). Radionuklidne zabrudnennya vysshikh vodyanykh roslyn ta rol helofitiv u mihratsiyi  $^{137}\text{Cs}$  u prisnovodnykh vodoymakh: dis. ... kand. biol. nauk: 03.00.17 [Radionuclide contamination of higher aquatic plants and the role of helophytes in the migration of  $^{137}\text{Cs}$  in freshwater reservoirs:



Candidate of Biological Sciences thesis: 03.00.17]. Kyiv, 194 p.

11. Pryshlyak, S.P., Belyaev, V.V., Volkova, O.M., Parkhomenko, O.O. (2011). Osoblyvosti nakopychennya  $^{137}\text{Cs}$  vysshymy vodyanymy roslynamy Kyivs'koho vodoskhovyshcha [Features of accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  by higher aquatic plants of the Kyiv Reservoir]. Fizychni metody v ekolohii, biologii ta medytsyni: materialy IV mizhnarodnoi konferentsii [Physical methods in ecology, biology and medicine: materials of the 4th international conference]. Lviv, Publishing Center of LNU named after Ivan Franko, pp. 91–93.

12. Romaneko, V.D. (1992). Radioaktivnoe i khimicheskoe zagryaznenie Dnepra i ego vodokhranilishch posle avarii na chernobyl'skoi AES [Radioactive and chemical contamination of the Dnieper and its reservoirs after the accident at the Chernobyl nuclear power plant]. Kyiv, Scientific thought, 194 p.

13. Voitsekovich, O.V. (1997). Radiogeokolohiya vodnykh ob'yektov zony vlianiya avarii na CHAES [Radiogeocology of water bodies in the zone of influence of the Chernobyl accident]. Kyiv, Chernobylinform, Vol. 1, 308 p.

14. Kuz'menko, M.I. (2001). Radionuklidy u vodnykh ekosystemakh Ukrainy [Radionuclides in water ecosystems of Ukraine]. Kyiv, Chornobylinform, 318 p.

15. Brechignas, F., Desmet, G. (2005). Makrophytes as bioindicators of radionuclide contamination in ecosystems of different aquatic bodies of Chernobyl exclusion zone A. Kaglyan. Equidosimetri – Ecological Standardization and Equidosimetry for Radioecology and Environmental Ecology. Series C: Environmental Security. Dordrecht, Springer, Vol. 2, pp. 79–86.

### Ecological monitoring of migration of technogenic radionuclides between abiotic components and aquatic plants in the ecosystem of the Kaniv reservoir

Skyba V.

During the period of 2011–2018, the average specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  in aboveground organs of prairie cordgrass, submerged club-rush, common reed, and

narrow-leaved cattail ranged from 1.5 to 14.0 Bq/kg, while  $^{137}\text{Cs}$  ranged from 3.1 to 165 Bq/kg. Over the course of the study, a tendency towards a decrease in  $^{137}\text{Cs}$  accumulation levels by hydrophytes was observed. The specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in helophytes and  $^{90}\text{Sr}$  in helophytes and hydrophytes likely remained unchanged.

In 2018, the average specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  in the investigated plant species did not exceed the maximum reference values for the post-accidental period. However, the specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in prairie cordgrass exceeded the maximum reference values by 13 times, while submerged club-rush, common reed, and narrow-leaved cattail exceeded the maximum reference values by 25, 3, and 2 times, respectively.

During the study period, radionuclide contamination of higher aquatic plants in the Kaniv Reservoir was predominantly formed by  $^{137}\text{Cs}$ , accounting for 75–90 % of the contamination.

In terms of increasing specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$ , plants from different ecological groups were arranged in the following sequence: gelophytes < pleustophytes < hydrophytes, indicating a balanced radioecological state in the ecosystem of the Kaniv Reservoir.

This study provides insights into the levels of radionuclide activity in aquatic plants of the Kaniv Reservoir over a seven-year period. The observed decrease in  $^{137}\text{Cs}$  accumulation by hydrophytes suggests a potential improvement in the environmental conditions. The findings also highlight the significant contribution of  $^{137}\text{Cs}$  to the overall radionuclide contamination in higher aquatic plants. The sequential distribution of plants based on increasing specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  reflects the radioecological equilibrium within the ecosystem. This information contributes to our understanding of the environmental dynamics and radiation impact in the Kaniv Reservoir ecosystem.

**Key words:**  $^{90}\text{Sr}$  activity,  $^{137}\text{Cs}$  activity, radionuclides, aquatic plants, ecological monitoring, Kaniv Reservoir, radionuclide accumulation, reference values, ecosystem.



Copyright: Скиба В.В. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:  
Скиба В.В.

<https://orcid.org/0000-0002-3605-1147>