

ЕКОЛОГІЯ

УДК 546.32:577.34:597(28) (477)


Багаторічна динаміка формування радіонуклідного забруднення промислової іхтіофауни Канівського водосховища

Скиба В.В.¹ , Присяжнюк Н.М.¹ , Волкова О.М.² ,

Беляєв В.В.² , Пришляк С.П.² 

¹ Білоцерківський національний аграрний університет

² Інститут гідробіології НАН України

 Скиба В.В. E-mail: v.skyba@btsau.edu.ua



Скиба В.В., Присяжнюк Н.М., Волкова О.М., Беляєв В.В., Пришляк С.П. Багаторічна динаміка формування радіонуклідного забруднення промислової іхтіофауни Канівського водосховища. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2021. № 1. С. 108–115.

Skyba V.V., Prysazhnyuk N.M., Volkova O.M., Beljajev V.V., Pryshljak S.P. Bagatorichna dynamika formuvannja radio-nuklidnogo zabrudnennja promyslovoi' ihtio-fauny Kaniv'skogo vodoshovyshha. Zbirnyk naukovyh prac' «Tehnologija vyrobnyctva i pererobky produkci' tvarynnytva», 2021. № 1. PP. 108–115.

Рукопис отримано: 06.04.2021 р.

Прийнято: 20.04.2021 р.

Затверджено до друку: 25.05.2021 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2021-164-1-108-115

Метою дослідження було визначення часових параметрів зниження питомої активності тривалоіснуючих радіонуклідів у промислових видах риб Канівського водосховища упродовж 1987–2021 рр.

З метою визначення сучасних рівнів радіонуклідного забруднення представників промислової іхтіофауни Канівського водосховища у січні 2021 р. у середній та нижній ділянках водойми було відібрано *Rutilus rutilus*, *Scardinius erythrophthalmus*, *Blicca bjoerkna*, *Abramis brama*, *Pelecus cultratus* (мирні види); *Esox lucius*, *Stizostedion lucioperca* (хижі види). Питому активність ⁹⁰Sr та ¹³⁷Cs визначали в цілому організмі загальноприйнятими радіохімічними та гамма-спектрометричними методами. Аналіз динамічних характеристик вмісту радіонуклідів у представників іхтіофауни водосховища проведено на основі результатів досліджень щодо рівнів накопичення рибами ⁹⁰Sr та ¹³⁷Cs упродовж 1987–2021 рр. та їх питомої активності в організмах у 2021 р.

У 2021 р. середні величини питомої активності ⁹⁰Sr у рибах становили 0,6–1,6 Бк/кг, ¹³⁷Cs – 2,4–13,2 Бк/кг. Згідно з результатами проведених раніше досліджень, середній питомий вміст ⁹⁰Sr у рибах Канівського водосховища з 1987 до 1993 рр. зменшився приблизно у 6,5 раза – з 60±30 до 9±3 Бк/кг, а до 2003 р. – ще у 5 разів – до 1,8±0,8 Бк/кг і не перевищував величин, які реєстрували у риб прісних водойм України до аварії на ЧАЕС у 1979–1985 рр. Отже, упродовж 2003–2021 рр. рівні вмісту ⁹⁰Sr у рибах Канівського водосховища майже не змінилися.

За матеріалами досліджень щодо рівнів накопичення ¹³⁷Cs рибами різного типу живлення Канівського водосховища визначено часові параметри зменшення його питомої активності. Упродовж 1987–2021 рр. швидкість зменшення вмісту ¹³⁷Cs в мирних та хижих рибах достовірно не відрізнялася та становила 0,10±0,01 рік⁻¹, період ефективного напіввиведення становив 6,7±0,7 р.

За даними аналізу багаторічних досліджень виділили 2 періоди, упродовж яких питома активність ¹³⁷Cs в організмі риб зменшувалася із різною швидкістю. У період 1987–2004 рр. рівні вмісту ¹³⁷Cs у мирних рибах зменшилися від 70±22 до 6,1±2,2 Бк/кг, у хижих – з 202±41 до 19,8±7,6 Бк/кг, тобто приблизно у 10–11 разів, що відповідає періоду напівзменшення майже 6 років; за 2004–2021 рр. його вміст у мирних рибах зменшився до 2,9±0,7 Бк/кг, у хижих – до 7,3±4,1 Бк/кг, тобто ще у 2–3 рази, що відповідає періоду напівзменшення 12±3 роки. Отже встановлено, що у часі швидкість зменшення питомої активності ¹³⁷Cs у рибах уповільнюється.

Визначені параметри дають змогу з високим ступенем точності прогнозувати динаміку формування радіонуклідного забруднення іхтіофауни у разі надходження штучних радіонуклідів у водні екосистеми внаслідок аварійних ситуацій.

Ключові слова: Канівське водосховище, риби, радіонукліди, багаторічна динаміка, швидкість зменшення.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Унаслідок аварії на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС) 26 квітня 1986 року у довкілля надійшло і поширилося повітряним шляхом на значні відстані $1,95 \cdot 10^{18}$ Бк радіоактивних речовин. Основна кількість радіоактивних аерозолів випала на територію України, Росії та Білорусі, де в зоні дії Чорнобильської катастрофи опинилися сотні тисяч водойм різного типу [1, 16–18]. Упродовж 10–15 років після аварії виконували комплексні радіоекологічні дослідження водойм зони відчуження та Дніпровських водосховищ, зокрема вивчали особливості формування радіонуклідного забруднення риб [2, 4, 16–20]. Однак нині систематичні дослідження закономірностей формування радіонуклідного забруднення водних організмів тривають лише на території зони відчуження. Щорічний комплексний радіоекологічний моніторинг Дніпровських водосховищ припинено в середині 90-х років минулого століття, а востаннє такі дослідження виконували у 2003 р. [4]. Упродовж останніх 10–15 років в окремих публікаціях наведено результати досліджень рівнів вмісту радіонуклідів чорнобильського походження в організмі представників іхтіофауни Київського та Дніпровського водосховищ [5, 6, 14, 15, 23]. Водночас радіоекологічна ситуація для більшості водойм України, включаючи розташовані у зонах обов'язкового та гарантованого добровільного відселення, залишається або взагалі не дослідженою, або дослідженою епізодично у різні періоди часу. Отже, важливою складовою оцінювання віддалених наслідків аварії є визначення часових параметрів зменшення вмісту тривалоіснуючих радіонуклідів в організмі гідробіонтів, зокрема представників іхтіофауни різного типу живлення. Такі параметри не лише дають змогу здійснити ретроспективне оцінювання рівнів вмісту радіонуклідів у рибках водойм, де радіоекологічні дослідження виконували епізодично, а й прогнозувати динаміку формування радіонуклідного забруднення іхтіофауни у разі надходження штучних радіонуклідів у водні екосистеми внаслідок аварійних ситуацій. Враховуючи викладене вище, необхідно підкреслити важливість продовження радіоекологічних досліджень екосистем водойм, де перші результати було одержано під час гострої стадії аварії. Саме такою водоймою є Канівське водосховище.

Оскільки під час аварії процес викиду радіоактивних речовин був розтягнутий у часі, у формуванні радіонуклідного забруднення Дніпровських водосховищ виділяють 3 етапи [16]. Перший пов'язаний з надходженням радіо-

онуклідів повітряним шляхом у вигляді аерозолів, другий – з надходженням як повітряним шляхом, так і через їх змив з площі водозбору і перенесення водними масами вниз каскадом, третій – з надходженням з площі водозбору та перенесенням з водними масами. Результати щодо вмісту радіонуклідів в абіотичних компонентах Канівського водосховища було одержано упродовж першого етапу формування радіонуклідного забруднення екосистеми [16]. Рівні радіонуклідного забруднення риб систематично почали визначати на другому етапі – з початку червня 1986 р. [2, 7, 8]. В організмі риб реєстрували $^{95}\text{Nb}+^{95}\text{Zr}$, $^{103}\text{Ru}+^{103}\text{Rh}$, ^{131}I , $^{134,137}\text{Cs}$, ^{140}Ba , $^{141,144}\text{Ce}$, сумарна радіоактивність яких становила майже 1000 Бк/кг і переважно формувалась короткоіснуючими радіонуклідами. Надалі внаслідок розпаду короткоіснуючих продуктів поділу, радіоактивне забруднення риб формувалося ^{90}Sr та ^{137}Cs . Необхідно відзначити, що упродовж 1986 р. питомий вміст ^{90}Sr та ^{137}Cs в іхтіофауні Канівського водосховища зростав, і найвищі рівні зазначених радіонуклідів в організмі риб – до 144 та 400 Бк/кг відповідно, було зареєстровано у 1987 р. Регулярні радіоекологічні дослідження промислових видів риб Канівського водосховища проводили до 2012 р. Отже, доцільно визначити рівні радіоактивного забруднення риб водосховища на сучасному етапі та зробити аналіз динамічних характеристик вмісту радіонуклідів у представників промислової іхтіофауни.

Метою дослідження було визначення часових параметрів зниження питомої активності тривалоіснуючих радіонуклідів у промислових видах риб Канівського водосховища упродовж 1987–2021 рр.

Матеріал і методи дослідження. Упродовж січня 2021 р. в Канівському водосховищі було відібрано наступні види риб: плітка звичайна – *Rutilus rutilus* L.; краснопірка – *Scardinius erythrophthalmus* L.; плоскирка – *Blicca bjoerkna* L.; лящ звичайний – *Abramis brama* L.; чехоня – *Pelecus cultratus* L. (мирні види); щука – *Esox lucius* L.; судак звичайний – *Stizostedion lucioperca* L. (хижі види). Вміст радіонуклідів визначали у цілому організмі риб. Питому активність ^{90}Sr у зразках визначали оксалатним методом, ^{137}Cs – гама-спектрометричним методом [13] у відділі водної радіоекології Інституту гідробіології НАН України.

Для визначення динамічних характеристик вмісту радіонуклідів в організмі риб використано результати раніше проведених досліджень щодо закономірностей формування рівнів радіонуклідного забруднення у пред-

ставників промислової іхтіофауни Канівського водосховища [4, 16, 19, 21].

Періодична Державна перевірка засобів вимірювання, застосування зразкових радіоактивних розчинів та зразкових спеціальних джерел дають змогу питому активність риб розглядати як часові ряди, параметри яких пов'язані з навколишніми середовищем, а не з похибкою вимірів.

Результати наведено як середнє значення \pm середньоквадратичне відхилення. Таке представлення характеризує природну варіацію вмісту радіонуклідів у гідробіонтах [12].

Результати дослідження та обговорення. У 2021 р. середні величини питомої активності ^{90}Sr у досліджених видах риб Канівського водосховища становили 0,6–1,6 Бк/кг, ^{137}Cs – 2,4–13,2 Бк/кг (табл. 1).

Таблиця 1 – Питома активність радіонуклідів в організмі риб Канівського водосховища, 2021 р., Бк/кг природної вологості

Види риб	^{90}Sr	^{137}Cs
Плітка звичайна	0,9 \pm 0,3	2,4 \pm 0,6
Плоскирка	1,2 \pm 0,35	3,5 \pm 0,8
Лящ звичайний	0,6 \pm 0,25	3,0 \pm 0,6
Чехоня	1,1 \pm 0,3	3,6 \pm 0,8
Краснопірка	1,6 \pm 0,4	2,7 \pm 1,1
Судак	0,8 \pm 0,3	8,9 \pm 0,5
Щука	1,0 \pm 0,3	13,2 \pm 2,8

Питома активність ^{90}Sr в організмі риб хижих та мирних видів достовірно не відрізнялася, ^{137}Cs – у мирних видах була у середньому у 2,5 рази нижчою, ніж у хижих.

Згідно з результатами проведених раніше досліджень середній питомих вміст ^{90}Sr у рибах Канівського водосховища з 1987 до 1993 рр. зменшився приблизно у 6,5 рази – з 60 \pm 30 до 9 \pm 3 Бк/кг, а до 2003 р. – ще у 5 разів – до 1,8 \pm 0,8 Бк/кг [4, 16] і не перевищував величин, які реєстрували у представників іхтіофауни прісних водойм України до аварії на ЧАЕС у 1979–1985 рр. [22]. Отже, упродовж 2003–2021 рр. рівні вмісту ^{90}Sr у рибах Канівського водосховища майже не змінилися. Враховуючи зазначене вище, а також те, що з 1987 р. підвищені рівні радіонуклідного забруднення іхтіофауни у водоймах, які розташовані поза межами зони відчуження, формувалися ^{137}Cs [21], для риб Канівського водосховища доцільно було визначити динамічні характеристики вмісту саме ^{137}Cs .

Для опису процесів обміну радіонуклідів між організмом і середовищем у водній радіо-екології зазвичай застосовують кібернетичні моделі, які представляють організм у вигляді

серії камер, що знаходяться в стані взаємодії з водним середовищем – так звані камерні моделі. Загальноприйнятим підходом до математичного опису радіоекологічних процесів у водному середовищі є побудова нелінійних моделей з урахуванням трофічних і конкурентних взаємин між різними видами [10, 11, 16, 18]. Висока точність моделі вимагає великої кількості камер, що призводить до збільшення кількості необхідних вхідних параметрів. У камерних моделях до таких параметрів належить швидкість переходу радіонуклідів від однієї камери до іншої.

У найбільш загальному випадку обмін радіонукліда між організмом і середовищем для однокамерної моделі можна описати наступним рівнянням:

$$dA_f/dt = V(t) - pA_f,$$

де A_f – радіоактивність організму, Бк/кг;

$V(t)$ – надходження (потік) радіонукліда до організму за час dt , Бк/(с*кг);

p – швидкість виведення радіонукліда через радіоактивний розпад та біологічне виведення елемента з організму, с⁻¹.

Рішення рівняння (1) з початковими умовами (t_0, A_0) має вигляд [9]:

$$A_f(t) = \exp(-F)(A_0 + \int_{t_0}^t V(t)\exp(F)dt),$$

$$F(t) = \int_{t_0}^t p dt = p(t-t_0) \quad (2)$$

Підставляючи вираз $F(t)$ у рівняння 2 отримуємо:

$$A_f(t) = \exp(-p(t-t_0))(A_0 + \int_{t_0}^t V(t)\exp(p(t-t_0))dt), \quad (3)$$

Якщо прийняти, що $V(t) = 0$, то рівняння (3) має наступний вигляд:

$$A_f(t) = A_0 \exp(-p(t-t_0)) \quad (4)$$

Рівняння (4) описує зниження вмісту радіонукліда в організмі у разі припинення надходження радіонукліда з навколишнього середовища.

У протилежному випадку, коли $A_0 = 0$, а V – постійне, тобто радіонуклід надходить в організм рівномірно, рівняння (3) набуває вигляду:

$$A_f(t) = V/p [1 - \exp(-p(t-t_0))] \quad (5)$$

З аналізу рівняння (5) видно, що з часом радіоактивність організму збільшується лише до величини V/p , а A_f буде відрізнятися від V/p менше, ніж на 10 % за $pt \geq 2,3$.

Рівняння (4) та (5) описують крайні випадки динаміки вмісту радіонукліда в організмі риби. Збільшення питомого вмісту ^{90}Sr та ^{137}Cs в організмі риб Канівського водосховища спостерігали у перші місяці після аварії, потім питома активність радіонуклідів зменшувалася.

У загальному випадку $V(t)$ змінюється у часі, якщо припустити, що

$$V(t) = V_0 \exp(-p_1 t)$$

рішення рівняння (3) буде мати наступний вигляд:

$$A_f(t) = A_1 \exp(-p_1 t) \quad (6)$$

$$p_1 = \ln 2 / T_{1/2}$$

де A_1 – стала;

p_1 – швидкість зменшення питомої активності;

$T_{1/2}$ – період напівзменшення питомої активності організму.

Отриманий вигляд рішення (6) підтверджується багатьма науковими публікаціями, у яких доведено, що динаміка зниження радіоактивності живих організмів, зокрема гідробіонтів, добре описується експоненційною залежністю [10, 11, 23].

За матеріалами багаторічних досліджень щодо рівнів накопичення ^{137}Cs рибами різного типу живлення Канівського водосховища (рис. 1) визначено часові параметри зменшення питомої активності радіонукліда. Згідно з розрахунками, за період 1987–2021 рр. швидкість зменшення вмісту ^{137}Cs в мирних та хижих рибах достовірно не різнилася та становила $0,10 \pm 0,01 \text{ рік}^{-1}$, а період ефективного напіввиведення – $6,7 \pm 0,7 \text{ р.}$

За даними аналізу багаторічної динаміки вмісту ^{137}Cs в рибах Канівського водосховища виділили 2 періоди, упродовж яких питома активність радіонукліда зменшувалася із різною швидкістю. Так, упродовж 1987–2004 рр. рівні вмісту ^{137}Cs у мирних рибах зменшилися від 70 ± 22 до $6,1 \pm 2,2 \text{ Бк/кг}$, у хижих – з 202 ± 41 до $19,8 \pm 7,6 \text{ Бк/кг}$, тобто приблизно у 10–11 разів, що відповідає періоду напівзменшення майже 6 років [3]. За період 2004–2021 рр. вміст радіонукліда у мирних рибах зменшився до $2,9 \pm 0,7$, у хижих – до $7,3 \pm 4,1 \text{ Бк/кг}$, тобто ще у 2–3 рази, що відповідає періоду напівзменшення 12 ± 3 роки.

Отже, упродовж кількох місяців після аварії на ЧАЕС вміст ^{137}Cs в рибах Канівського водосховища збільшувався. З 1987 р. процеси його виведення з організму не компенсуються надходженням, тобто спостерігається зменшення питомої активності ^{137}Cs у рибах. Встановлено, що у часі швидкість зменшення питомої активності ^{137}Cs у рибах уповільнюється. Так, з 1987 до 2004 рр. величина періоду напівзменшення його вмісту у рибах Канівського водосховища становила приблизно 6, а у 2004–2021 рр. – 12 років.

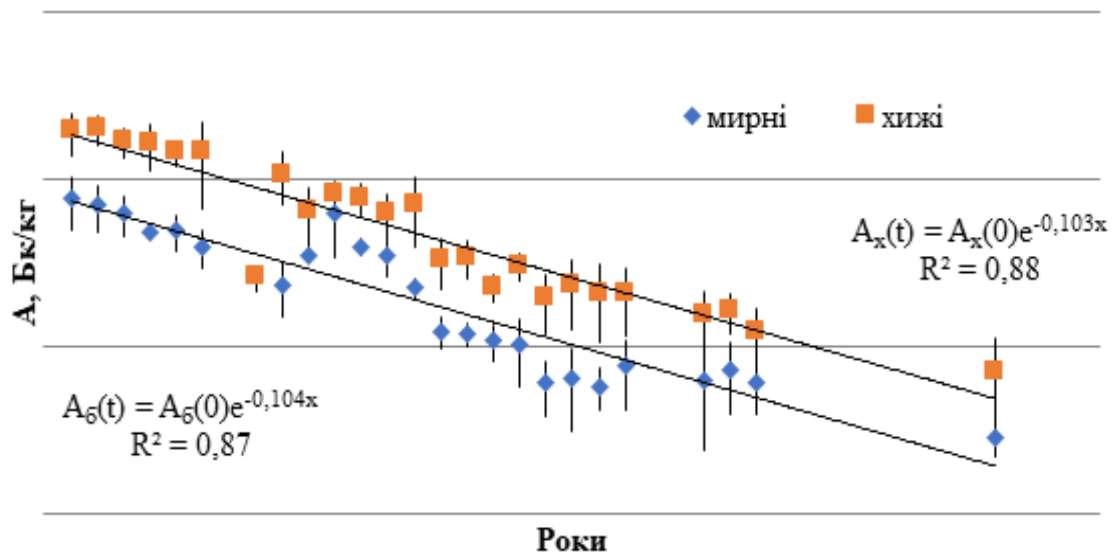


Рис. 1. Динаміка вмісту ^{137}Cs у рибах Канівського водосховища.

Висновки. У 2021 р. середні величини питомої активності ^{90}Sr у рибах Канівського водосховища становили 0,6–1,6 Бк/кг, ^{137}Cs – 2,4–13,2 Бк/кг. Питома активність ^{90}Sr в організмі риб хижих та мирних видів достовірно не відрізнялася, ^{137}Cs – у мирних видах була у середньому у 2,5 раза нижчою, ніж у хижих.

Встановлено, що упродовж 2003–2021 рр. рівні вмісту ^{90}Sr у рибах Канівського водосховища майже не змінилися і не перевищували величин, які реєстрували у риб прісних водойм України до аварії на ЧАЕС у 1979–1985 рр.

Упродовж 1987–2021 рр. швидкість зменшення вмісту ^{137}Cs в мирних та хижих рибах достовірно не різнилася та становила $0,10 \pm 0,01 \text{ рік}^{-1}$, період ефективного напіввиведення становив $6,7 \pm 0,7 \text{ р}$.

Визначено 2 періоди, упродовж яких питома активність ^{137}Cs в організмі риб зменшувалася із різною швидкістю. У 1987–2004 рр. рівні вмісту ^{137}Cs в мирних рибах зменшилися приблизно у 10–11 разів, що відповідає періоду напівзменшення майже 6 років; за 2004–2021 рр. зменшилися ще у 2–3 рази, що відповідає періоду напівзменшення 12 ± 3 роки. Отже встановлено, що у часі швидкість зменшення питомої активності ^{137}Cs у рибах уповільнюється.

Визначені параметри дають змогу з високим ступенем точності прогнозувати динаміку формування радіонуклідного забруднення іхтіофауни у разі надходження штучних радіонуклідів у водні екосистеми внаслідок аварійних ситуацій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього: Національна доповідь України. К.: КІМ, 2011. 356 с.
2. Волкова Е.Н. Накопление радионуклидов промысловыми видами рыб Днепровских водохранилищ: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ин-т проблем онкологии им. Р.Е. Кавецкого АН УССР. Киев. 1990. 16 с.
3. Волкова Е.Н., Беляев В.В., Зарубин О.Л., Гудков Д.И. Параметры снижения удельной активности ^{137}Cs в гидробионтах, обитающих в водоемах разного типа. Радиационная биология. Радиоэкология. 2009. Т. 49. № 2. С. 207–211.
4. Волкова О.М. Техногенні радіонукліди у гідробіонтах водойм різного типу: дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.17. Інститут гідробіології НАН України, Київ. 2008. 348 с.
5. Радіоекологія водойм Придніпров'я / А. І. Дворецький та ін. Вісник ЖНАЕУ. 2016. № 1 (55). Т. 3. С. 283–290.
6. Сучасний радіоекологічний стан Дніпровського водосховища. VI з'їзд Радіобіологічного Товариства України: тези доп. 5-9 жовтня 2015 р. м. Київ / Дворецький А.І. та ін. К., 2015. С. 45–46.
7. Зарубин О.Л. Радиоактивное загрязнение промысловых видов рыб Каневского водохранилища: матер. щоріч. наук. конф. НЦ "Інститут Ядерних Досліджень", Київ, 21–27 січня. 1997. С. 357–360.
8. Зарубин О.Л., Паньков И.В. Цезий-137 в компонентах трофических цепей Каневского водохранилища после аварии на ЧАЭС: матер. щоріч. наук. конф. Института ядерных исследований. Київ, 1997. С. 349–353.
9. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям: Пер. с нем. М.: Наука, 1971. 576 с.
10. Крышев А.И. Динамическое моделирование переноса радионуклидов в гидробиоценозах и оценка последствий радиоактивного загрязнения для биоты и человека: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.01. Обнинск, 2008. 50 с.
11. Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. Математическое моделирование миграции радионуклидов в водных экосистемах. М.: Энергоатомиздат, 1986. 152 с.
12. Лакин Г.Ф. Биометрия. Учебное пособие для университетов и педагогических вузов. М.: Высшая школа, 1973. 343 с.
13. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В.Д. Романенка. НАН України. Ін-т гідробіології. К.: ЛОГОС, 2006. 408 с.
14. Павлюченко В.В., Хомутинин Ю.В., Кашпаров В. А., Кузьменко А.В. Прогноз динамики и риска превышения допустимого содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в рыбе Киевского водохранилища на поздней фазе Чернобыльской аварии. Радиационная биология. Радиоэкология. 2013. Т. 5. № 4. С. 411–427 Doi: <https://doi.org/10.7868/S0869803113040103>
15. Павлюченко В.В., Хомутинин Ю.В., Кузьменко А.В. Екологічна оцінка ризику забруднення риби ^{137}Cs і ^{90}Sr у прісноводних водоймах України на пізній стадії аварії на ЧАЕС. Радіоекологія-2014: наук.-практ. конф. Житомир, 23-26 квітня 2014 року. С. 299–304.
16. Радиоактивное и химическое загрязнение Днепра и его водохранилищ после аварии на чернобыльской АЭС / В.Д. Романенко и др. К.: Наукова думка, 1992. 194 с.
17. Радиоекология водных объектов зоны влияния аварии на ЧАЭС / под ред. О.В. Войцеховича. Киев: Чернобыль интеринформ, Т. 1. 1997. 308 с.
18. Радиоекология водных объектов зоны влияния аварии на Чернобыльской АЭС. Прогнозы загрязнения вод, оценки рисков водопользования и эффективности водоохраных контрмер для водных экосистем зоны влияния Чернобыльской аварии / под ред. О.В. Войцеховича. Т. 2. Киев: Чернобыль интеринформ. 1998. 278 с.
19. Радіонукліди у водних екосистемах України / М.І. Кузьменко та ін. К.: Чорнобиль інтеринформ. 2001. 318 с.
20. Рябов И.Н. Особенности экологии рыб в водоемах, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Ин-т проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН. Москва, 1998. 50 с.
21. Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах / М. І. Кузьменко та ін. К.: Наук. думка, 2010. 262 с.
22. Томілін Ю.А. Радіонукліди в компонентах водних екосистем південного регіону України: міграція, роз-

поділ, накопичення і контрзаходи: автореф. дис. ... д-ра біол. наук: 03.00.01. Київ, 2007. 40 с.

23. Хомутинін Ю.В. Оцінка радіоекологічної безпеки прісноводних водойм України пізній стадії аварії на ЧАЕС. Ядерна фізика та енергетика. 2014. 15. № 4. С. 389–401.

REFERENCES

1. Dvadejat' p'jat' rokov Chornobyl's'koi' katastrofy [Twenty-five years of the Chernobyl disaster]. Bezpeka majbutn'ogo: Nacional'na dopovid' Ukraїny [Security of the future: National report of Ukraine]. K. : KIM, 2011. 356 p.

2. Volkova, E.N. (1990). Nakoplenie radionuklidov promyslovymi vidami ryb Dneprovskih vodohranilishh: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. [Accumulation of radionuclides by commercial fish species in the Dnieper reservoirs: author. dis. ... Cand. Biol. Sciences]. In-t problem onkologii im. R.E. Kavetskogo AN USSR [Institute of Oncology Problems named after I.I. R.E. Kavetsky Academy of Sciences of the Ukrainian SSR]. Kyiv, 16 p.

3. Volkova, E.N., Belyaev, V.V., Zarubin, O.L., Gudkov, D.I. (2009). Parametry snizhenija udel'noj aktivnosti 137Ss v gidrobiontah, obitajushhих v vodoemah raznogo tipa [Parameters of a decrease in the specific activity of 137Cs in aquatic organisms living in water bodies of different types]. Radiacionnaja biologija [Radiation biology]. Radioekologija [Radioecology]. Vol. 49, no. 2, pp. 207–211.

4. Volkova, O.M. (2008). Tehnogeni radionuklidy u gidrobiontah vodojm riznogo typu: dys. ... d-ra byol. nauk : spec. 03.00.17. [Technogenic radionuclides in hydrobirds with water of a type type: dis. ... Dr. Biol. Sciences: spec. 03.00.17.]. Institute of Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv, 348 p.

5. Dvoretzky, A.I., Sapronova, V.O., Baidak, L.A. (2016). Radioekologija vodojm Prydniprov'ja [Radioecology of reservoirs of the Dnieper]. Visnyk ZhNAEU [Bulletin of ZhNAEU]. no. 1 (55), Vol. 3, pp. 283–290.

6. Dvoretzky, A.I., Bilokon, G.S., Marenkov, O.M. (2015). Suchasnyj radioekologichnyj stan Dniprovskogo vodoshovyshha. VI z'їzd Radiobiologichnogo Tovarystva Ukraїny: tezy dop. 5-9 zhovtnja 2015 r. m. Kyi'v [Current radioecological condition of the Dnieper reservoir. VI Congress of the Radiobiological Society of Ukraine: abstracts. October 5-9, 2015, Kyiv]. Kyiv, pp. 45–46.

7. Zarubin, O.L. (1997). Radioaktivnoe zagrjaznenie promyslovyh vidov ryb Kanevskogo vodohranilishha: mater. shhorich. nauk. konf. NC "Institut Jadernih Doslidzhen", Kyi'v, 21–27 sichnja [Radioactive contamination of commercial fish species in the Kanev reservoir: Proceedings of the Annual Scientific Conference of the Scientific Research Institute, Kyiv, 21–27 January]. pp. 357–360.

8. Zarubin, O.L., Pankov, I.V. (1997). Cezij-137 v komponentah troficheskikh cepej Kanevskogo vodohranilishha posle avarii na ChAJeS: mater. shhorich. nauk. konf. Institutu jadernih doslidzhen' [Cesium-137 in the components of the trophic chains of the Kanev reservoir after the Chernobyl accident: materials of the annual scientific conference of the Institute of Nuclear Research]. Kyiv, pp. 349–353.

9. Kamke, E. (1971). Spravochnik po obyknovennym differencial'nym uravnenijam: Per. s nem. [Handbook of Ordinary Differential Equations: Translated from German]. Moscow: Nauka, 576 p.

10. Kryshev, A.I. (2008). Dinamicheskoe modelirovanie perenosa radionuklidov v gidrobiocenozah i ocenka posledstvij radioaktivnogo zagrjaznenija dlja bioty i cheloveka: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk: 03.00.01. [Dynamic modeling of the transfer of radionuclides in hydrobiocenoses and assessment of the consequences of radioactive contamination for biota and humans: author. dis. ... Dr. Biol. Sciences: 03.00.01.]. Obninsk, 50 p.

11. Kryshev, I.I., Sazykina, T.G. (1986). Matematicheskoe modelirovanie migracii radionuklidov v vodnyh jekosistemah [Mathematical modeling of migration of radionuclides in aquatic ecosystems]. Moscow: Energoatomizdat, 152 p.

12. Lakin, G.F. (1973). Biometrija [Biometrics]. Uchebnoe posobie dlja universitetov i pedagogicheskikh vuzov [Textbook for universities and pedagogical universities]. M.: Higher school, 343 p.

13. Romanenko, V.D. (2006). Metody gidroekologichnyh doslidzhen' poverhnevnyh [Methods of hydroecological dosages of surface waters]. NAN Ukraїny [NAS of Ukraine]. In-t gidrobiologii' [Institute of Hydrobiology]. K.: LOGOS, 408 p.

14. Pavlyuchenko, V.V., Khomutin, Yu.V., Kashparov, V.A., Kuzmenko, A.V. (2013). Prognoz dinamiki i riska prevyshenija dopustimogo sodержanija 137Cs i 90Sr v rybe Kievskogo vodohranilishha na pozdnej faze Chernobyl'skoj avarii [Forecast of dynamics and risk of exceeding the permissible content of 137Cs and 90Sr in fish from the Kiev reservoir at the late phase of the Chernobyl accident]. Radiacionnaja biologija [Radiation biology]. Radioekologija [Radioecologists]. Vol. 53, no. 4, pp. 411–427. Available at: <https://doi.org/10.7868/S0869803113040103>

15. Pavlyuchenko, V.V., Khomutin, Yu.V., Kuzmenko, A.V. (2014). Ekologoradiacijna ocinka ryzyku zabrudnennja ryby 137Cs i 90Sr u prіsnovodnyh vodojmah Ukraїny na piznij stadii' avarii' na ChAES [Ecological radiation assessment of the risk of contamination of 137Cs and 90Sr fish in freshwater reservoirs of Ukraine at the late stage of the Chernobyl accident]. Radioekologija-2014: nauk.-prakt. konf. Zhytomyr, 23-26 kvitnja 2014 roku [Radioecology-2014: scientific-practical. conf. Zhytomyr, April 23-26,]. pp. 299–304.

16. Romaneko, V.D., Kuzmenko, M.I., Evtushenko, N.Yu. (1992). Radioaktivnoe i himicheskoe zagrjaznenie Dnepra i ego vodohranilishh posle avarii na chernobyl'skoj AJeS [Radioactive and chemical contamination of the Dnieper and its reservoirs after the accident at the Chernobyl nuclear power plant]. K. : Scientific opinion, 194 p.

17. Voitsekhovich, O.V. (1997). Radiogeojekologija vodnyh ob#ektov zony vlijanija avarii na ChAJeS [Radio geoecology of water bodies in the zone of influence of the Chernobyl accident]. Kyiv: Chernobyl interinform, Vol. 1, 308 p.

18. Voitsekhovich, O.V. (1998). Radiogeojekologija vodnyh ob#ektov zony vlijanija avarii na Chernobyl'skoj AJeS [Radio-geoecology of water bodies in the zone of influence of the accident at the Chernobyl nuclear power plant]. Prognozy zagrjaznenija vod, ocenki riskov vodopol'zovanija i jeffektivnosti vodoohrannyh kontrmer dlja vodnyh jekosistem zony vlijanija Chernobyl'skoj avarii [Predictions of Water Pollution, Assessment of the Risks of Water Use and the Efficiency of Water Protection Countermeasures for Aquatic

Ecosystems in the Impact Zone of the Chernobyl Accident]. Vol. 2, Kyiv: Chernobyl interinform, 278 p.

19. Kuzmenko, M.I., Romanenko, V.D., Derevets, V.V. (2001). Radionuklidy u vodnyh ekosystemah Ukraïny [Radionuclides in aquatic ecosystems of Ukraine]. K.: Chernobyl Interinform, 318 p.

20. Ryabov, I.N. (1998). Osobennosti jekologii ryb v vodoemah, zagrjaznennyh radionuklidami v rezul'tate avarii na Chernobyl'skoj AJeS: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. [Peculiarities of fish ecology in reservoirs contaminated with radionuclides as a result of the Chernobyl accident: author's ref. dis. ... Dr. Biol. Science]. Institute of Ecology and Evolution. A.N. Severtsova RAN. Moscow, 50 p.

21. Kuzmenko, M.I., Gudkov, D.I., Kireev, S.I. (2010). Tehnogenni radionuklidy u prysnovodnyh ekosystemah [Man-made radionuclides in freshwater ecosystems]. K.: Scientific thought, 262 p.

22. Tomilin, Yu.A. (2007). Radionuklidy v komponentah vodnyh ekosystem pıvdennoho regionu Ukraïny: migracija, rozpodil, nakopychennja i kontrzahody: avtoref. dys. ... d-ra byol. nauk: spec. 03.00.01. [Radionuclides in components of aquatic ecosystems of the southern region of Ukraine: migration, distribution, accumulation and countermeasures: author's ref. dis. ... Dr. Biol. Science: special. 03.00.01.]. Kyiv, 40 p.

23. Khomutinin, Yu.V. (2014). Ocinka radioekologichnoi' bezpeky prysnovodnyh vodojm Ukraïny piznij stadii' avarii' na ChAES [Assessment of radioecological safety of freshwater reservoirs of Ukraine in the late stage of the Chernobyl accident]. Jaderna fizyka ta energetyka [Nuclear physics and energy]. Vol. 15, no. 4, pp. 389–401.

Многолетняя динамика формирования радионуклидного загрязнения промышленной икhtiофауны Каневского водохранилища

Скиба В.В., Присяжнюк Н.М., Волкова А.Н., Беляев В.В., Пришляк С.П.

Цель исследования – определение временных параметров снижения удельной активности долгоживущих радионуклидов в промышленных видах рыб Каневского водохранилища за период 1987–2021 гг.

Для определения современных уровней радиоактивного загрязнения представителей промышленной икhtiофауны Каневского водохранилища в январе 2021 г. на среднем и нижнем участках водоема были отобраны *Rutilus rutilus*, *Scardinius erythrophthalmus*, *Blicca bjoerkna*, *Abramis brama*, *Pelecus cultratus* (мирные виды); *Esox lucius*, *Stizostedion lucioperca* (хищные виды). Удельную активность ^{90}Sr и ^{137}Cs определяли в целом организме рыб общепринятыми радиохимическими и гамма-спектрометрическими методами. Анализ динамических характеристик содержания радионуклидов у представителей икhtiофауны водохранилища проведен на основе результатов исследований содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в рыбах в течение 1987–2012 гг. и их удельной активности в организмах в 2021 г.

В 2021 г. средние величины удельной активности ^{90}Sr в рыбах составляли 0,6–1,6 Бк/кг, ^{137}Cs – 2,4–13,2 Бк/кг. Согласно результатам проведенных ранее исследований среднее удельное содержание ^{90}Sr в рыбах Каневского водохранилища с 1987 по 1993 г. уменьшилось примерно в 6,5 раза – с 60 ± 30 до 9 ± 3 Бк/кг, а к 2003 г. – еще в 5 раз

– до $1,8\pm 0,8$ Бк/кг и не превышало величин, которые регистрировали у рыб пресных водоемов Украины до аварии на ЧАЭС в 1979–1985 гг. Следовательно, в течение 2003–2021 гг. уровни содержания ^{90}Sr в рыбах Каневского водохранилища почти не изменились.

На основании данных о накоплении ^{137}Cs рыбами разного типа питания Каневского водохранилища определены временные параметры, которые описывают уменьшение его удельной активности. В течение 1987–2021 гг. скорость уменьшения содержания ^{137}Cs в мирных и хищных рыбах достоверно не отличалась и составляла $0,10\pm 0,01$ год⁻¹, период эффективного уменьшения составлял $6,7\pm 0,7$ лет.

По данным анализа многолетних исследований выделены 2 периода, в течение которых удельная активность ^{137}Cs в организме рыб уменьшалась с разной скоростью. В период 1987–2004 гг. уровни содержания ^{137}Cs в мирных рыбах уменьшились от 70 ± 22 до $6,1\pm 2,2$ Бк/кг, в хищных видах – с 202 ± 41 до $19,8\pm 7,6$ Бк/кг, т.е. примерно в 10–11 раз, что соответствует периоду полууменьшения около 6 лет; за 2004–2021 гг. его содержание в мирных рыбах уменьшилось до $2,9\pm 0,7$ Бк/кг, в хищных – до $7,3\pm 4,1$ Бк/кг, т.е. еще в 2–3 раза, что соответствует периоду полууменьшения 12 ± 3 года. Таким образом установлено, что со временем скорость уменьшения удельной активности ^{137}Cs в рыбах замедляется.

Полученные параметры позволят с высокой степенью точности прогнозировать динамику формирования радионуклидного загрязнения икhtiофауны в случае поступления искусственных радионуклидов в водные экосистемы в результате аварийных ситуаций.

Ключевые слова: Каневское водохранилище, рыбы, радионуклиды, многолетняя динамика, скорость уменьшения.

Long-term dynamics of radionuclide contamination formation in the industrial ichthyofauna of the Kaniv Reservoir

Skiba V., Prisyazhnyuk N., Volkova O., Belyaev V., Prishlyak S.

The aim of the study is to determine the temporal parameters of the long-lived radionuclides specific activity decrease in the commercial fish species of the Kaniv Reservoir for the period 1987–2021.

Rutilus rutilus, *Scardinius erythrophthalmus*, *Blissa bjoerkna*, *Abramis brama*, *Pelecus cultratus* (peaceful species) and *Esox lucius*, *Stizostedion lucioperca* (carnivorous species) were selected in the middle and lower parts of the reservoir in January 2021 to determine the current levels of radioactive contamination in the representatives of the commercial ichthyofauna of the Kaniv Reservoir. The specific activity of ^{90}Sr and ^{137}Cs was determined in the entire body of fish by conventional radiochemical and gamma-spectrometric methods. The analysis of the dynamic characteristics of the radionuclides content in the representatives of the reservoir ichthyofauna was carried out on the basis of the results of studies of ^{90}Sr and ^{137}Cs content in fish during 1987–2012 and their specific activity in the body in 2021.

In 2021, the average specific activity of ^{90}Sr in fish was 0.6–1.6 Bq/kg, ^{137}Cs - 2.4–13.2 Bq/kg. According to the results of previous studies, the average specific content of ^{90}Sr in the fish of the Kaniv Reservoir decreased by approximately

6.5 times - from 60 ± 30 to 9 ± 3 Bq / kg during 1987-1993, and by 2003 it decreased by another 5 times up to 1.8 ± 0.8 Bq / kg and did not exceed the values recorded in freshwater fish in Ukraine before the Chernobyl accident in 1979–1985. Consequently, during the period of 2003–2021 the levels of ^{90}Sr content in fish from the Kaniv Reservoir remained virtually unchanged.

Based on the data on ^{137}Cs accumulation in various feeding types fish in the Kaniv Reservoir, time parameters describing a decrease in the element specific activity were determined. During 1987–2021 the rate of decrease in ^{137}Cs content in peaceful and predatory fish did not differ significantly and amounted to 0.10 ± 0.01 year⁻¹, the period of effective half-decrease was 6.7 ± 0.7 years.

Analysis of long-term data made it possible to distinguish 2 periods during which the specific activity of ^{137}Cs in the fish organism decreased at different rates. In

1987-2004, ^{137}Cs content levels in peaceful fish decreased from 70 ± 22 to 6.1 ± 2.2 Bq/kg, in carnivorous species - from 202 ± 41 to 19.8 ± 7.6 Bq / kg, i.e. approximately by 10–11 times, which corresponds to a half-decrease of about 6 years. In 2004–2021 the element content in peaceful fish decreased to 2.9 ± 0.7 Bq/kg, in predatory fish - to 7.3 ± 4.1 Bq/kg, that is, by another 2–3 times, which corresponds to a half-decrease of 12 ± 3 years. Thus, it was found that the rate of decrease in ^{137}Cs specific activity in fish slows down over time.

The obtained parameters will make it possible to predict with a high degree of accuracy the dynamics of the radionuclide contamination formation in ichthyofauna in the event of artificial radionuclides entering aquatic ecosystems as a result of emergency situations.

Key words: Kaniv Reservoir, fish, radionuclides, long-term dynamics, rate of decrease.



Copyright: Скиба В.В. та ін. © 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.



Скиба В.В.
Присяжнюк Н.М.
Волкова О.М.
Беляєв В.В.
Пришляк С.П.

ID <https://orcid.org/0000-0002-3605-1147>
ID <https://orcid.org/0000-0002-4737-0143>
ID <https://orcid.org/0000-0002-5868-4842>
ID <https://orcid.org/0000-0003-4465-7816>
ID <https://orcid.org/0000-0002-3838-3073>