

ДИНАМІКА ВМІСТУ ^{137}Cs У РИБ КИЇВСЬКОГО ТА КАНІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩ

О.М. Волкова

доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник
Інститут гідробіології НАН України (м. Київ, Україна)
e-mail: Volkova.O@nas.gov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5868-4842>

В.В. Беляєв

кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник
Інститут гідробіології НАН України (м. Київ, Україна)
e-mail: Beliaiev@nas.gov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4465-7816>

С.П. Пришляк

кандидат біологічних наук, молодший науковий співробітник
Інститут гідробіології НАН України (м. Київ, Україна)
e-mail: Pryshliak@nas.gov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3838-3073>

О.Є. Каглян

кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник
Інститут гідробіології НАН України (м. Київ, Україна)
e-mail: Kaglyan@nas.gov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4680-8454>

В.В. Скиба

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)
e-mail: v.skyba@btsau.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3605-1147>

Н.М. Присяжнюк

кандидат ветеринарних наук, доцент
Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)
e-mail: natasha.prisjzhnjuk@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4737-0143>

О.М. Нагорнюк

кандидат сільськогосподарських наук, доцент, старший науковий співробітник
Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: onagornuk@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6694-9142>

Метою дослідження було визначення часових параметрів динаміки питомої активності ^{137}Cs в організмі риб Київського та Канівського водосховищ упродовж 35-річного періоду після аварії на Чорнобильській АЕС. Параметри, які характеризують динаміку вмісту ^{137}Cs для мирних (*Rutilus rutilus*, *Scardinius erythrophthalmus*, *Blicca bjoerkna*, *Abramis brama*, *Carassius gibelio*, *Pelecus cultratus*) та хижих риб (*Aspius aspius*, *Esox lucius*, *Stizostedion lucioperca*, *Perca fluviatilis*), визначали на основі даних щодо питомої активності ^{137}Cs в об'єднаних пробах, які були відібрані у 1986–(2020)2021 рр. на різних ділянках Київського та Канівського водосховищ. Для мирних та хижих риб Київського та Канівського водосховищ виявлено відповідно три та два часових інтервали, які характеризуються різною інтенсивністю зменшення вмісту ^{137}Cs в організмі. Упродовж 1986–1991 рр. питома активність ^{137}Cs у мирних риб Київського водосховища зменшувалася вдвічі в середньому за 1,9 р., 1991–2002 рр. — за 4,6 р., 2002–2020 рр. — за 16 р. Період напіврозпаду вмісту ^{137}Cs у хижих риб за період 1988–1993 рр. становив 3,4 р., 1993–2002 рр. — 4,3 р., 2002–2020 рр. — 8 р. У 1986(1987)–2004 рр. питома активність ^{137}Cs у мирних і хижих видів риб Канівського водосховища зменшувалася вдвічі приблизно за 5,6 роки, а впродовж 2004–2021 рр. величина періоду напіврозпаду вмісту радіонукліда в організмі мирних риб у середньому становила 16 р., хижих — 10,3 р. У часі величина періоду напіврозпаду питомої активності ^{137}Cs у риб Київського та Канівського водосховищ збільшується, що пояснюється уповільненням швидкості зменшенням об'ємної активності ^{137}Cs у воді річок Дніпро та Прип'ять. Визначені параметри моделі, що описують динаміку питомої активності ^{137}Cs , можуть бути використані для прогностичних оцінок вмісту ^{137}Cs у промислових видах риб при аварійному надходженні радіонуклідів до екосистем великих рівнинних водосховищ.

Ключові слова: мирні та хижі види риб, моделювання, багаторічна динаміка.

ВСТУП

Забруднення тривало існуючими радіонуклідами Дніпровських водосховищ, зокрема екосистем Київського та Канівського, вважається одним із найважливіших наслідків Чорнобильської аварії 1986 р., оскільки Дніпровський каскад являє собою основне джерело водозабезпечення України і може транспортувати радіоактивні речовини на значну відстань від забруднених територій північних регіонів [1].

Важливою складовою аналізу віддалених наслідків радіоактивного забруднення водних екосистем є визначення параметрів зменшення із часом рівнів накопичення довготривало існуючих радіонуклідів в організмі гідробіонтів. Зазначені параметри необхідні для пояснення процесів, пов'язаних із поведінкою радіонуклідів та їх дією на біосистеми, ретроспективної і прогнозної оцінок рівнів вмісту радіонуклідів у біотичних компонентах водойм, прийняття рішень щодо радіаційного захисту природного середовища та населення.

Тому **мета нашої роботи** — визначення часових параметрів динаміки питомої активності ^{137}Cs в організмі риб Київського та Канівського водосховищ упродовж 35-річного періоду після аварії на Чорнобильській АЕС.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Після аварії на Чорнобильській АЕС закономірності формування радіонуклідного забруднення риб були предметом пильної уваги не тільки радіоекологів, радіобіологів і гідробіологів, але й фахівців із радіаційної гігієни, оскільки з рибною продукцією радіонукліди потрапляють до організму людини [2–6]. Було встановлено, що риби накопичували більшість розчинених у водних масах радіонуклідів. Так, у червні 1986 р. в організмі риб різних видів Київського та Канівського водосховищ зареєстровані ^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{103}Ru , ^{131}I , 134 , ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{140}La , 141 , ^{144}Ce , та ^{144}Pr , сумарна активність продуктів поділу в представників іхтіофауни Київського водосховища досягала 4670, Канівського — 1560 Бк/кг. Починаючи з 1987 р. радіонуклідне забруднення риб формували ^{90}Sr та ^{137}Cs , при цьому внесок ^{137}Cs до сумарної активності був домінуючим. Упродовж 1986–1989 рр. в організмі деяких видів риб Канівського водосховища питома активність ^{137}Cs перевищувала встановлені законодавством нормативи його вмісту в рибній продукції [9], в окремих екземплярах риб Київського водосховища перевищення реєстрували до 2010 р. [3; 7–8].

У подальшому багаторічні дослідження динаміки питомої активності ^{137}Cs у риб дозволили формалізувати отримані закономір-

ності для періоду 1990–2005 рр. [3]. Визначено, що впродовж зазначеного часового інтервалу швидкість зменшення питомої активності ^{137}Cs у риб бентофагів Київського водосховища становила $0,13 \pm 0,013$, іхтіофагів — $0,17 \pm 0,014$ рік⁻¹, а ефективний період напіввиведення ^{137}Cs у бентофагів дорівнював $5,3 \pm 0,6$, іхтіофагів — $4,0 \pm 0,3$ р. Швидкість зменшення вмісту ^{137}Cs у бентофагів та іхтіофагів Канівського водосховища вірогідно не відрізнялася та становила $0,12 \pm 0,02$ рік⁻¹, що відповідало зменшенню активності радіонукліда вдвічі за $6,0 \pm 1,0$ роки. З огляду на те, що із плином часу швидкість зменшення концентрації ^{137}Cs у воді забруднених унаслідок аварії водойм уповільнюється [10–11], можуть змінюватися і параметри моделі динаміки радіонукліда в організмі гідробіонтів. Так, багаторічні дослідження динаміки вмісту ^{137}Cs у вищих водяних рослинах Київського водосховища [3; 12; 13] показали, що впродовж 1989–1996 рр. питома активність ^{137}Cs у занурених рослин зменшувалася вдвічі приблизно за 2 роки, у 1989–2012 рр. — за 5 років.

Нині необхідність перегляду та уточнення параметрів моделей динаміки ^{137}Cs у представників промислової іхтіофауни Дніпровських водосховищ пов'язана ще й із тим, що внаслідок воєнних дій на території України, які можуть призвести до пошкодження підприємств ядерного паливного циклу, зростає загроза радіаційного забруднення навколишнього середовища, у тому числі й водних екосистем. Тому зазначені вище параметри можуть бути використані для прогнозних оцінок можливості використання рибних ресурсів Київського та Канівського водосховищ у випадку додаткового надходження радіоактивних речовин у водні екосистеми.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При моделюванні процесів зменшення питомої активності радіонуклідів в організмі риб використовували експоненціальну модель, яка наведена у [3; 14; 15]

У водній радіоекології представників прісноводної іхтіофауни за особливостями накопичення радіонуклідів прийнято поділяти на мирних, до яких належать бентофаги та планктофаги, та хижих, які постійно або періодично живляться рибами [15; 16].

Параметри, які характеризують динаміку вмісту ^{137}Cs для мирних (плітка звичайна — *Rutilus rutilus* L.; краснопірка — *Scardinius erythrophthalmus* L.; плоскирка — *Blicca bjoerkna* L.; лящ звичайний — *Abramis brama* L.; карась сріблястий — *Carassius gibelio* (Bloch); чехоня — *Pelecus cultratus* L.) і хижих риб (білизна звичайна — *Aspius aspius* L.; щука —

Esox lucius L.; судак звичайний — *Stizostedion lucioperca* L.; окунь річковий — *Perca fluviatilis* L.) визначали на основі даних щодо питомої активності ^{137}Cs в об'єднаних пробах, які були відібрані у 1986–(2020)2021 рр. на різних ділянках Київського та Канівського водосховищ [3; 4; 17; 18].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для опису процесів обміну радіонуклідів між організмом риби і середовищем була обрана кібернетична модель, яка представляє організм у вигляді серії камер, що знаходяться в стані взаємодії з водним середовищем — так звана “камерна” модель. Аналіз експериментальних досліджень [3; 19; 20] показує, що накопичення ^{137}Cs організмом риб упродовж часових інтервалів, більших за 50 діб, добре описується однокамерною моделлю, для якої обмін радіонукліда між живим організмом і зовнішнім середовищем описується рівнянням:

$$dA_f/dt = V(t) - pA_f, \quad (1)$$

де: A_f — радіоактивність організму, Бк/кг; $V(t)$ — надходження радіонукліда до організму за час dt , Бк/(с·кг); p — швидкість виведення радіонукліда внаслідок його радіоактивного розпаду та біологічного виведення з організму, с^{-1} .

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

$$A_f(t) = \exp(-p(t - t_0)) \times (A_0 + \int V(t) \exp(p(t - t_0)) dt) \quad (2)$$

(інтегрування в межах $[t_0, t]$).

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

$$V(t) = V_0 \exp(-p_v t),$$

рішення рівняння (2) буде мати наступний вигляд:

$$A_f(t) = A_v \exp(-p_v t); \quad (3)$$

$$p_v = \ln 2 / T_{1/2},$$

де: A_v — стала; p_v — швидкість зменшення надходження радіонукліда до організму.

З рівняння (3) витікає, що p_v дорівнює швидкості зменшення питомої активності організму, тоді $T_{1/2}$ — період напіврозпаду питомої активності організму.

У роботі під $T_{1/2}$ слід розуміти період результуючого зменшення питомої активності риб удвічі за рахунок зменшення концентрації радіонукліда у воді і, відповідно, в об'єктах харчування, його незворотної фіксації в донних відкладах, що призводить до зменшення потоків радіонукліда до організму рибу, та радіоактивного розпаду. Маючи часовий ряд питомої

активності для організмів одного виду, після його логарифмування методом найменших квадратів можна знайти числове значення швидкості зменшення питомої активності. Отриманий вигляд рішення рівняння (3) підтверджується багатьма науковими публікаціями, в яких показано, що динаміка зниження радіоактивності живих організмів, зокрема гідробіонтів, добре описується експоненційною залежністю [3; 21–23].

Відповідно до результатів досліджень, які наведені у [17], у червні 1986 р. у мирних риб Київського та Канівського водосховищ були зареєстровані максимальні за весь період досліджень величини питомої активності ^{137}Cs в організмі, які на той час перевищували рівні його накопичення іхтіофагами. Із часом вміст радіонукліда в хижих видів збільшувався, і максимальні величини його питомої активності в організмі риб Київського водосховища були зареєстровані у 1988 р., Канівського — у 1987 р. Тому параметри моделі динаміки питомої активності ^{137}Cs для мирних риб Київського водосховища визначали за період 1986–2020 рр., Канівського — 1986–2021 рр., для хижих — за 1988–2020 рр. та 1987–2021 рр. відповідно (рис. 1, 2).

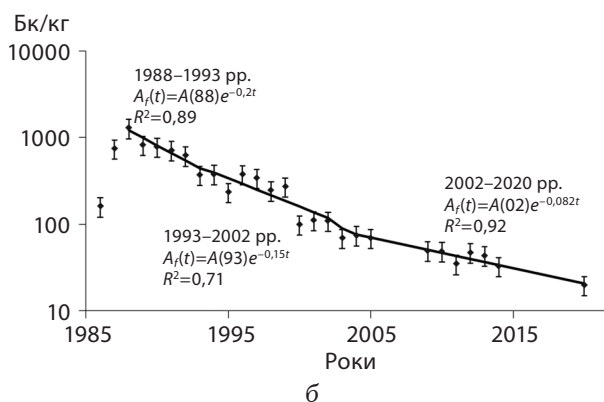
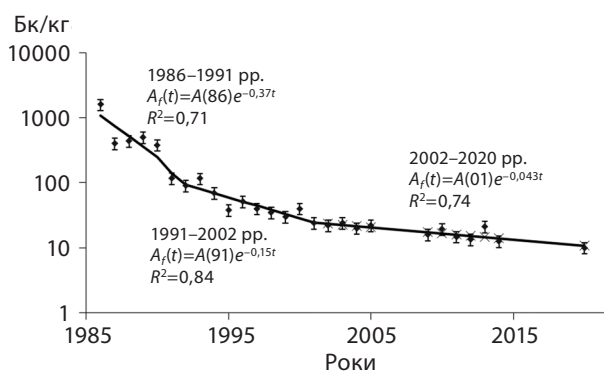


Рис. 1. Динаміка ^{137}Cs у мирних (а) і хижих (б) риб Київського водосховища

Джерело: сформовано на основі власних досліджень.

Динаміка вмісту ^{137}Cs у риб Київського та Канівського водосховищ

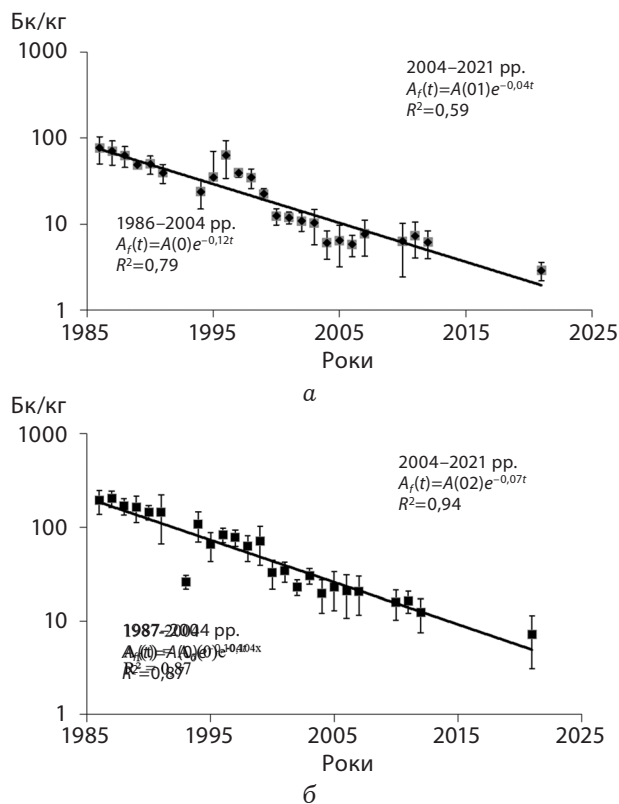


Рис. 2. Динаміка ^{137}Cs у мирних (а) і хижих (б) риб Канівського водосховища

Джерело: сформовано на основі власних досліджень.

Розрахунки показали, що період напіврозпаду питомої активності ^{137}Cs упродовж 1986–2020 рр. у мирних риб та впродовж 1988–2020 рр. в хижих риб Київського водосховища вірогідно не відрізнявся і становив приблизно 5,3 р. (табл. 1).

Водночас упродовж окремих часових інтервалів величини періоду напіврозпаду питомої активності ^{137}Cs значно відрізнялися. Так, упродовж 1986–1991 рр. у мирних та протягом 1988–1993 рр. у хижих риб спостерігалось інтенсивне зменшення питомої активності, що відповідало періодам напіврозпаду 1,9 та 3,4 р. відповідно. У період 1991 (1993)–2002 рр. швидкість зменшення питомої активності ^{137}Cs у мирних риб Київського водосховища уповільнилася у 2,4, у хижих — у 1,3 раза, у період 2002–2020 рр. — ще у 3,5 та 1,9 раза відповідно.

Упродовж 1986 (1987)–2021 рр. у мирних та хижих риб Канівського водосховища питома активність ^{137}Cs зменшувалася вдвічі в середньому за 6,7 роки, при цьому можна відокремити два часових інтервали, які характеризувалися різною інтенсивністю зменшення вмісту радіонукліда. У 1986 (1987)–2004 рр. питома активність ^{137}Cs у мирних та хижих видів зменшувалася вдвічі приблизно за 5,6 роки, а впродовж періодів 2004–2021 рр. швидкість зменшення вмісту радіонукліда в організмі риб зазначених груп уповільнилося відповідно у 2,8 та 1,8 раза.

Таблиця 1

Параметри моделі динаміки ^{137}Cs у рибх Київського та Канівського водосховищ, $T_{1/2}$ — період напіврозпаду; p — швидкість зменшення питомої активності

Групи	Період досліджень, роки	Параметри моделі		
		$T_{1/2}$, роки	p , рік ⁻¹	R^2
<i>Київське водосховище</i>				
Мирні	1986–2020	5,4±0,6	0,128±0,014	0,78
Мирні	1986–1991	1,9±0,6	0,36±0,11	0,71
Мирні	1991–2002	4,6±0,7	0,151±0,023	0,84
Мирні	2002–2020	16±3	0,043±0,008	0,74
Хижі	1988–2020	5,3±0,3	0,131±0,007	0,94
Хижі	1988–1993	3,4±0,6	0,204±0,036	0,89
Хижі	1993–2002	4,3±1,0	0,161±0,037	0,71
Хижі	2002–2020	8,0±0,6	0,087±0,007	0,92
<i>Канівське водосховище</i>				
Мирні	1986–2021	6,7±0,5	0,103±0,008	0,87
Мирні	1986–2004	5,7±0,8	0,121±0,017	0,77
Мирні	2004–2021	16±6	0,043±0,016	0,59
Хижі	1987–2021	6,7±0,5	0,103±0,008	0,87
Хижі	1987–2004	5,6±0,8	0,124±0,018	0,75
Хижі	2004–2021	10,3±1,1	0,067±0,007	0,94

Джерело: сформовано на основі власних досліджень.

Отже, можна зазначити, що із плином часу швидкість зменшення питомої активності ^{137}Cs у промислових видах риб Київського та Канівського водосховищ уповільнювалася.

Оскільки накопичення ^{137}Cs прісноводними рибами пропорційне об'ємній активності радіонукліда у водних масах, то зменшення величини p у риб можливо пояснити теоретично обґрунтованим та експериментально зареєстрованим [11] уповільненням швидкості зменшення об'ємної активності ^{137}Cs у воді річок Дніпро та Прип'ять.

Визначені параметри можуть бути використані для прогнозних оцінок питомої активності ^{137}Cs в організмі представників промислової іхтіофауни у випадках аварійного надходження радіонуклідів до екосистем великих рівнинних водосховищ.

ВИСНОВКИ

Для мирних та хижих риб Київського водосховища виявлено три часових інтервали, які характеризуються різною інтенсивністю зменшення вмісту ^{137}Cs в організмі. Упродовж 1986–1991 рр. питома активність ^{137}Cs у мирних риб зменшувалася вдвічі у середньому за 1,9 р,

1991–2002 рр. — за 4,6 р., за 2002–2020 рр. Період напіврозпаду вмісту ^{137}Cs у хижих риб упродовж 1988–1993 рр. становив 3,4 р., 1993–2002 рр. — 4,3 р., 2002–2020 рр. — 8 р.

Для мирних і хижих риб Канівського водосховища виявлено два часових інтервали, які характеризуються різною інтенсивністю зменшення вмісту ^{137}Cs в організмі. У 1986(1987)–2004 рр. питома активність ^{137}Cs у мирних і хижих видів риб зменшувалася вдвічі приблизно за 5,6 роки, а упродовж 2004–2021 рр. величина періоду напіврозпаду вмісту радіонукліда в організмі мирних риб у середньому становила 16 р., хижих — 10,3 р.

У часі величина періоду напіврозпаду питомої активності ^{137}Cs у вищих водяних рослин Київського та Канівського водосховищ збільшується, що пояснюється уповільненням швидкості зменшення об'ємної активності ^{137}Cs у воді річок Дніпро та Прип'ять.

Визначені параметри моделі, що описують динаміку питомої активності ^{137}Cs , можуть бути використані для прогнозних оцінок вмісту ^{137}Cs у промислових видах риб при аварійному надходженні радіонуклідів до екосистем великих рівнинних водосховищ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Моделювання і вивчення механізмів переносу радіоактивних речовин з наземних екосистем в водні об'єкти зони впливу Чорнобильської аварії / під ред. У. Сансоне і О. Войцеховича. Чорнобиль: Чорнобиль-інтерінформ, 1996. 196 с.
2. Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах / М.І. Кузьменко, Д.І. Гудков, С.І. Кіреєв та ін. К.: Наук. думка, 2010. 262 с.
3. Волкова О.М. Техногенні радіонукліди у гідробіонтах водойм різного типу: дис. ... д-ра біол. наук: 03.00.17. К., 2008. 348 с.
4. Волкова О.М., Беляєв В.В., Пришляк С.П., Гудков Д.І., Каглян О.Є., Скиба В.В. Техногенні радіонукліди у гідробіонтах водойм півночі України. *Гідробіол. журн.* 2023. Т. 59 (6). С. 100–119.
5. Зарубін О.Л., Зарубіна Н.Е., Гудков Д.І. та ін. Питома активність ^{137}Cs у риб України. Сучасний стан. *Ядерна фізика та енергетика.* 2013. Т. 14. № 2. С. 177–182.
6. Zarubin O.L., Laktionov V.A., Moshna B.O. et al. Technogenic radionuclides in freshwater fishes of Ukraine after the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *Nuclear Physics and Atomic Energy.* 2011. Vol. 12. № 2. P. 192–197.
7. 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.
8. Кузьменко М.І., Романенко В.Д., Деревець В.В. та ін. Радіонукліди у водних екосистемах України. К.: Чорнобильінтерінформ, 2001. 318 с.
9. Державні гігієнічні нормативи. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді. (ДР-2006). Київ, 2006. 13 с.
10. 25 років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього: Національна доповідь України. К.: КІМ, 2011. 356 с.
11. Konoplev A. et al. Behavior of Radionuclides in the Environment II. Chernobyl. Springer Singapore, 2020. 443 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-15-3568-0>.
12. Радіоекологія водних об'єктів зони впливу аварії на ЧАЕС / під ред. О.В. Войцеховича. К.: Чорнобильінтерінформ, 1997. Т. 1. 308 с.
13. Пришляк С.П. Радіонуклідне забруднення вищих водяних рослин та роль гелофітів у міграції ^{137}Cs у прісноводних водоймах: автореф. дис. ... канд. біол. наук: спец. 03.00.17. К.: 2019. 23 с.
14. Belyaev V.V., Volkova Ye.N. Mechanisms of forming of seasonal variations of ^{90}Sr and ^{137}Cs content in the freshwater fishes. *Hydrobiol. J.* 2013. Vol. 49. № 5. P. 81–89.
15. Belyaev, V.V., Volkova, O.M., Gudkov, D.I., Prishlyak, S.P., Skyba, V.V. Radiation dose reconstruction for higher aquatic plants and fish in Glyboke Lake during the early phase of the Chernobyl accident. *Journal of Environmental Radioactivity.* 2023. Vol. 263. 107169 (Q2). DOI: 10.1016/j.jenvrad.2023.107169.

16. Каглян О.Є. та ін. Динаміка питомої активності ^{90}Sr і ^{137}Cs у представників іхтіофауни водойм чорнобильської зони відчуження. *Радіобіологія та радіоекологія*. 2021. Volume 22. Issue 1. С. 62–73. DOI: <https://doi.org/10.15407/jnpae2021.01.062>.
17. Романенко В.Д., Кузьменко М.І., Євтушенко Н.Ю. та ін. Радіоактивне і хімічне забруднення Дніпра і його водосховищ після аварії на Чорнобильській АЕС. К.: Наукова думка, 1992. 194 с.
18. 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.
19. Беляєв В.В., Волкова О.М. Роль часового фактору у визначенні швидкості виведення ^{90}Sr та ^{137}Cs у прісноводних рибах. *Проблеми біогеохімії та геохімічної екології*. 2012. № 2 (19). С. 51–56.
20. Кашпарова Е.В., Теїєн Г.Х., Левчук С. Е. та ін. Динаміка виведення ^{137}Cs з організму срібного карася (*Carassius gibelio*) при різній температурі води. *Ядерна фізика та енергетика*. 2019. № 20. С. 411–419.
21. Беляєв В.В., Волкова О.М., Пришляк С.П. Моделювання динаміки формування радіоактивності водних рослин. *Ядерна енергетика та довкілля*. 2015. № 1 (5). С. 44–49.
22. Дзюба Н.Н., Тодосієнко С.В. Валідація математичних моделей міграції радіоцезію в екосистемі Київського водосховища. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2002. Вип. 250. С. 298–309.
23. Насвіт О.І., Буянов Н.І., Кузьменко М.І. Визначення кінетичних параметрів процесу накопичення радіонуклідів компонентами екосистем за рівноважними значеннями коефіцієнтів концентрування. *Гідробіологічний журнал*. 1986. Т. 22. № 5. С. 97–100.

DYNAMICS OF ^{137}CS ACCUMULATION IN FISH FROM KYIV AND KANIV RESERVOIRS

Volkova O.

Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher
Institute of Hydrobiology of NAS (Kyiv, Ukraine)
e-mail: Volkova.O@nas.gov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5868-4842>

Belyaev V.

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
Institute of Hydrobiology of NAS (Kyiv, Ukraine)
e-mail: Beliaiev@nas.gov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4465-7816>

Pryshliak S.

Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher
Institute of Hydrobiology of NAS (Kyiv, Ukraine)
e-mail: Pryshliak@nas.gov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3838-3073>

Kaglyan O.

Candidate of Biological Sciences, Senior Research Fellow
Institute of Hydrobiology of NAS (Kyiv, Ukraine)
e-mail: Kaglyan@nas.gov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4680-8454>

Skyba V.

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)
e-mail: v.skyba@btsau.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3605-1147>

Prysiashniuk N.

Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor
Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)
e-mail: natasha.prisjzhnjuk@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4737-0143>

Nagorniuk O.

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Researcher
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)
e-mail: onagornuk@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6694-9142>

*The aim of this study was to determine the temporal parameters of the dynamics of ^{137}Cs specific activity in the bodies of fish in the Kyiv and Kaniv reservoirs over a 35-year period following the Chernobyl Nuclear Power Plant accident. Parameters characterizing the dynamics of ^{137}Cs content in peaceful (*Rutilus rutilus*, *Scardinius erythrophthalmus*, *Blicca bjoerkna*, *Abramis brama*, *Carassius gibelio*, *Pelecus cultratus*) and predatory fish (*Aspius aspius*, *Esox lucius*, *Stizostedion lucioperca*, *Perca fluviatilis*) were determined based on data on the specific activity of ^{137}Cs in composite samples collected in 1986–(2020)2021 at various locations in the Kyiv and Kaniv reservoirs. For peaceful and predatory fish of the Kyiv and Kaniv reservoirs, three and two respective time intervals were identified, characterized by different intensities of ^{137}Cs content reduction in the organisms. During*

1986–1991, the specific activity of ^{137}Cs in peaceful fish of the Kyiv reservoir decreased by an average of 2 times over 1.9 years, 1991–2002 — by 4.6 years, 2002–2020 — by 16 years. The half-life period of ^{137}Cs content reduction in predatory fish for the period 1988–1993 was 3.4 years, 1993–2002 — 4.3 years, 2002–2020 — 8 years. From 1986(1987)–2004, the specific activity of ^{137}Cs in peaceful and predatory fish in the Kaniv reservoir decreased by 2 times in approximately 5.6 years. During 2004–2021, the half-life period of radionuclide content reduction in the organisms of peaceful fish averaged 16 years and predatory fish — 10.3 years. Over time, the half-life period of ^{137}Cs specific activity in fish of the Kyiv and Kaniv reservoirs increases, explained by the slowing down of the rate of decrease in volumetric activity of ^{137}Cs in the water of the Dnipro and Prypiat rivers. The determined parameters of the model describing the dynamics of ^{137}Cs specific activity can be used for predictive assessments of ^{137}Cs content in commercially important fish species in the event of accidental influx of radionuclides into the ecosystems of large plain reservoirs.

Keywords: peaceful and predatory fish, modeling, long-term dynamics.

REFERENCES

1. Sanson, U., Voitsekhovych, O. (1996). *Modeliwannia i vyvchennia mekhanizmv perenosu radioaktyvnykh rehovyn z nazemnykh ekosystem v vodni obiekty zony vplyvu Chornobyl'skoi avarii* [Modeling and study of the mechanisms of transfer of radioactive substances from terrestrial ecosystems to water bodies in the zone of influence of the Chernobyl accident]. Chornobyl: Chornobyl-interinform [in Ukrainian].
2. Kuzmenko, M.I., Hudkov, D.I., Kirieiev, S.I. et al. (2010). *Tekhnohenni radionuklidy u prysnovodnykh ekosystemakh* [Technogenic radionuclides in freshwater ecosystems]. K.: Nauk. dumka [in Ukrainian].
3. Volkova, O.M. (2008). *Tekhnohenni radionuklidy u hidrobiontakh vodoim riznoho typu* [Technogenic radionuclides in hydrobionts with water of various types]. Doctor's thesis. Kyiv [in Ukrainian].
4. Volkova, O.M., Belyaiev, V.V., Pryshliak, S.P., Hudkov, D.I., Kahlian, O.Ye., Skyba, V.V. (2023). *Tekhnohenni radionuklidy u hidrobiontakh vodoim pivnochi Ukrainy* [Technogenic radionuclides in hydrobionts of reservoirs in Northern Ukraine]. *Hidrobiolohichnyi zhurnal — Hydrobiological journal*, 59 (6), 100–119 [in Ukrainian].
5. Zarubin, O.L., Zarubina, N.E., Hudkov, D.I. et al. (2013). *Pytoma aktyvnist ^{137}Cs u ryb Ukrainy. Suchasnyi stan* [Specific activity of ^{137}Cs in fish of Ukraine. Current state]. *Yaderna fizyka ta enerhetyka — Nuclear physics and energy*, 14, 2, 177–182 [in Ukrainian].
6. Zarubin, O.L., Laktionov, V.A., Moshna, B.O. et al. (2011). *Technogenic radionuclides in freshwater fishes of Ukraine after the accident at the Chernobyl nuclear power plant*. *Nuclear Physics and Atomic Energy*, 12, 2, 192–197 [in English].
7. Volkova, O.M., Belyaiev, V.V., Parkhomenko, O.O., Pryshliak, S.P., Nikitiuk, K.O. (2011). *Radioekolohichni naslidky porushennia rezhymu ekspluatatsii Kyivskoi HES u 2010 r.* [Radio-ecological consequences of violation of the operating regime of the Kyiv HPP in 2010]. *Naukovi zapysky Ternopil'skoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu im. Volodymyra Hnatiuka. Seriya: Biolohiia — Scientific Notes of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Biology*, 2 (47), 62–65 [in Ukrainian].
8. Kuzmenko, M.I., Romanenko, V.D., Derevets, V.V. et al. (2001). *Radionuklidy u vodnykh ekosystemakh Ukrainy* [Radionuclides in water ecosystems of Ukraine]. K.: Chornobylinterinform [in Ukrainian].
9. *Derzhavni hihienichni normatyvy. Dopustymi rivni vmistu radionuklidiv ^{137}Cs i ^{90}Sr u produktakh kharchuvannia ta pytnii vodi (DR-2006)* [State hygienic standards. Permissible levels of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in food and drinking water]. (2006). Kyiv [in Ukrainian].
10. *25 rokiv Chornobyl'skoi katastrofy. Bezpeka maibutnoho: Natsionalna dopovid Ukrainy* [25 years of the Chernobyl disaster. Security of the future: National report of Ukraine]. (2011). K.: KIM [in Ukrainian].
11. Konoplev, A. et al. (2020). *Behavior of Radionuclides in the Environment II. Chernobyl*. Springer Singapore. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-15-3568-0> [in English].
12. Voitsekhovych, O.V. (Ed.). (1997). *Radioeokolohiia vodnykh obektiv zony vplyvu avarii na ChAES* [Radiogeoeology of water bodies in the zone of influence of the accident at the ChNPP]. Vol. 1. K.: Chornobylinterinform [in Ukrainian].
13. Pryshliak, S.P. (2019). *Radionuklidne zabrudnennia vyshchyykh vodianykh roslyn ta rol helofitiv u mihratsii ^{137}Cs u prysnovodnykh vodoimakh* [Radionuclide contamination of higher aquatic plants and the role of helophytes in the migration of ^{137}Cs in freshwater bodies]. *Candidate's thesis*. Kiev [in Ukrainian].
14. Belyaiev, V.V., Volkova, Ye.N. (2013). *Mechanisms of forming of seasonal variations of ^{90}Sr and ^{137}Cs content in the freshwater fishes*. *Hydrobiological journal*, 49, 5, 81–89 [in English].
15. Belyaiev, V.V., Volkova, O.M., Gudkov, D.I., Prishlyak, S.P., Skyba, V.V. (2023). *Radiation dose reconstruction for higher aquatic plants and fish in Glyboke Lake during the early phase of the Chernobyl accident*. *Journal of Environmental Radioactivity*, 107169 (Q2). DOI: [10.1016/j.jenvrad.2023.107169](https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2023.107169) [in English].
16. Kahlian O.Ye. et al. (2021). *Dynamika pytomoi aktyvnosti ^{90}Sr i ^{137}Cs u predstavnykiv ikhtiofauny vodoim chornobyl'skoi zony vidchuzhennia* [Dynamics of specific activity of ^{90}Sr and ^{137}Cs in representatives of the ichthyofauna of reservoirs of the Chernobyl exclusion zone]. *Radiobiolohiia ta radioekolohiia — Radiobiology and radioecology*, 22, 1, 62–73. DOI: <https://doi.org/10.15407/jnpae2021.01.062> [in Ukrainian].
17. Romaneko, V.D., Kuzmenko, M.I., Yevtushenko, N.Yu. et al. (1992). *Radioaktyvne i khimichne zabrudnennia Dnipro i yoho vodoskhovyshch pislia avarii na Chornobyl'skii AES* [Radioactive and chemical pollution of the Dnipro and its reservoirs after the accident at the Chernobyl NPP]. K.: Naukova dumka [in Ukrainian].

18. Skyba, V.V., Prysiazhniuk, N.M., Volkova, O.M., Beliaiev, V.V., Pryshliak, S.P. (2021). Bahatorichna dynamika formuvannia radionuklidnoho zabrudnennia promyslovoi ikhtiofauny Kanivskoho vodoskhovyshecha. [Long-term dynamics of formation of radionuclide contamination of industrial ichthyofauna of the Kaniv Reservoir]. *Zbirnyk naukovykh prats "Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktiv tvarynnystva"* — *Collection of scientific papers "Technology of production and processing of livestock products"*, 1, 108–115 [in Ukrainian].
19. Beliaiev, V.V., Volkova, O.M. (2012). Rol chasovoho faktoru u vyznachenni shvydkosti vyvedennia ^{90}Sr та ^{137}Cs u prisnovodnykh rybakh [The role of the time factor in determining the excretion rate of ^{90}Sr and ^{137}Cs in freshwater fish]. *Problemy bioheokhimii ta heokhimichnoi ekolohii — Problems of biogeochemistry and geochemical ecology*, 2 (19), 51–56 [in Ukrainian].
20. Kashparova, E.V., Teien, H.Kh., Levchuk, S.E. et al. (2019). Dynamika vyvedennia ^{137}Cs z orhanizmu sribnoho karasia (*Sarassius gibelio*) pry riznii temperaturi vody [Dynamics of removal of ^{137}Cs from the body of silver crucian carp (*Carassius gibelio*) at different water temperatures]. *Yaderna fizyka ta enerhetyka — Nuclear physics and energy*, 20, 411–419 [in Ukrainian].
21. Beliaiev, V.V., Volkova, O.M., Pryshliak, S.P. (2015). Modeliuvannia dynamiky formuvannia radioaktyvnosti vodnykh Roslyn [Modeling of the dynamics of the formation of radioactivity of aquatic plants]. *Yaderna enerhetyka ta dovkillia — Nuclear energy and the environment*, 1 (5), 44–49 [in Ukrainian].
22. Dziuba, N.N., Todosiienko, S.V. (2002). Validatsiia matematychnykh modelei mihratsii radiotseziu v ekosystemi Kyivskoho vodoskhovyshecha [Validation of mathematical models of radiocesium migration in the ecosystem of the Kyiv Reservoir]. *Naukovi pratsi UkrNDHMI — Scientific papers of the Ukrainian research hydrometeorological institute*, 250, 298–309 [in Ukrainian].
23. Nasvit, O.I., Buianov, N.I., Kuzmenko, M.I. (1986). Vyznachennia kinetychnykh parametriv protsesu nakopychennia radionuklidiv komponentamy ekosystem za rivnovazhnyamy znachenniamy koefitsiientiv kontsentruvannia [Determination of kinetic parameters of the process of accumulation of radionuclides by components of ecosystems according to equilibrium values of concentration coefficients]. *Hidrobiolohichnyi zhurnal — Hydrobiological journal*, 22, 5, 97–100 [in Ukrainian].

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Волкова Олена Миколаївна, доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник, Інститут гідробіології НАН України (проспект Володимира Івасюка, 12, м. Київ, Україна, 04210; e-mail: Volkova.O@nas.gov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5868-4842>)

Беляєв Володимир Володимирович, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Інститут гідробіології НАН України (проспект Володимира Івасюка, 12, м. Київ, Україна, 04210; e-mail: Beliaiev@nas.gov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4465-7816>)

Пришляк Сергій Петрович, кандидат біологічних наук, молодший науковий співробітник, Інститут гідробіології НАН України (проспект Володимира Івасюка, 12, м. Київ, Україна, 04210; e-mail: Pryshliak@nas.gov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3838-3073>)

Каглян Олександр Євгенійович, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Інститут гідробіології НАН України (проспект Володимира Івасюка, 12, м. Київ, Україна, 04210; e-mail: Kaglyan@nas.gov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4680-8454>)

Скиба Володимир Віталійович, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, Біла Церква, Київська обл., 09117; e-mail: v.skyba@btsau.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3605-1147>)

Присяжнюк Наталія Михайлівна, кандидат ветеринарних наук, доцент, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, Біла Церква, Київська обл., 09117; e-mail: natasha.prisjzhnjuk@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4737-0143>)

Нагорнюк Оксана Миколаївна, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, старший науковий співробітник, Інститут агроєкології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: onagornuk@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6694-9142>)