

УДК 574.52:546.3:597(477.42)

DOI <https://doi.org/10.32782/wba.2025.1.19>

ДИНАМІКА НАКОПИЧЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ ^{137}Cs І ^{90}Sr У ВОДНИХ БІОРЕСУРСАХ РІЧКИ ЗДВИЖ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ У ВІДДАЛЕНИЙ ПЕРІОД ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧАЕС

*Махінко Р. Г. – аспірант,
Поліський національний університет,
vse-svit@ukr.net*

У статті представлено результати дослідження накопичення довгоживучих штучних радіонуклідів (^{137}Cs та ^{90}Sr) у водних біоресурсах річки Здвиж (Брусилівський район, Житомирська область), яка є складовою басейну Дніпра та розташована поблизу південного кордону зони впливу Чорнобильської катастрофи. Метою дослідження було з'ясувати характер довготривалої радіоактивної присутності у водній екосистемі малих річок Полісся майже через чотири десятиліття після аварії. Польові роботи проведено у січні 2025 року, з відбором зразків чотирьох видів прісноводної риби – товстолобика, коропа, карася та щуки. Біологічний матеріал було розділено на м'язову тканину та голову з внутрішніми органами.

Концентрації ^{137}Cs визначались за допомогою гамма-спектрометрії, ^{90}Sr – бета-спектрометрії, з використанням приладів МКС-АТ1315 і МКГ-АТ1321, сертифікованих у Вимірювальній лабораторії Поліського національного університету. Результати свідчать про специфічну видову та анатомічну диференціацію накопичення радіонуклідів: ^{90}Sr переважно акумулюється у кісткових структурах, зокрема в голові, тоді як ^{137}Cs – у м'язовій тканині, особливо у хижих видів, таких як щука. Зафіксовано відмінності у біоаккумуляції залежно від трофічного рівня, типу живлення та метаболічної активності. Усі зафіксовані концентрації перебували в межах гігієнічних нормативів, проте у деяких випадках наближались до граничних значень, що свідчить про актуальність постійного моніторингу. Отримані дані узгоджуються з результатами досліджень на великих водоймах Придніпров'я, таких як Запорізьке водосховище.

Таким чином, дослідження підтверджує збереження радіоекологічної пам'яті водних екосистем у малих річках Українського Полісся та необхідність інтеграції локального моніторингу у загальнодержавні програми безпеки. Висновки мають важливе значення для оцінки екологічних ризиків, збереження біорізноманіття та регіональної стратегії сталого управління рибними ресурсами.

Ключові слова: ^{137}Cs , ^{90}Sr , річка Здвиж, прісноводні риби, біоаккумуляція, гамма-спектрометрія, водна екологія, Чорнобиль, Полісся, екологічний моніторинг.

Постановка проблеми. Аварія на Чорнобильській АЕС у 1986 році спричинила масштабне радіоактивне забруднення значних територій України. Житомирська область України, зокрема її північні та східні райони, зазнала значного радіоактивного забруднення внаслідок випадіння

радіоактивних опадів. Одними з найбільш небезпечних довгоживучих радіонуклідів, що потрапили в навколишнє середовище внаслідок аварії, є ^{137}Cs та ^{90}Sr , періоди напіврозпаду яких становлять 30,17 та 28,8 років відповідно [1, с. 184].

Водні екосистеми відіграють особливу роль у міграції та перерозподілі радіонуклідів, виступаючи як акумулятори радіоактивних речовин. Риба та інші гідробіоти, перебуваючи у верхній частині трофічних ланцюгів водних екосистем, накопичують радіонукліди і можуть бути індикаторами радіоекологічного стану водойм. Крім того, риба є важливим харчовим продуктом для місцевого населення, що зумовлює необхідність постійного радіоекологічного моніторингу водних біоресурсів для оцінки ризику для здоров'я людей.

Хоча з моменту аварії на ЧАЕС минуло майже 39 років (віддалений період), проблема радіоактивного забруднення водних екосистем залишається актуальною, особливо для регіонів, які зазнали значного радіоактивного впливу. Залишається відкритим питання щодо розподілу радіонуклідів між різними тканинами водних організмів, зокрема між м'язовою тканиною, що є основним об'єктом споживання, та внутрішніми органами, які часто накопичують значно вищі рівні забруднення.

Річка Здвиж, що протікає територією Брусилівського району Житомирської області, є типовою малою річкою Полісся, яка зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи. Забруднення водних екосистем у цьому регіоні може мати значний вплив на рибне господарство, що є важливим економічним сектором регіону. Оскільки річкові біоресурси споживаються населенням, контроль рівня радіонуклідів у рибі є критично важливим для оцінки безпеки споживання водних організмів.

Моніторинг рівня радіоактивного забруднення дозволяє оцінити ефективність природних процесів самоочищення водойм та виявити тенденції зниження або накопичення радіонуклідів у водних екосистемах. Важливо також враховувати зміни гідрологічного режиму річки Здвиж, які можуть впливати на розподіл радіонуклідів та їх мобільність у водному середовищі.

Вивчення динаміки накопичення радіонуклідів у водних біоресурсах у віддалений період після аварії має важливе науково-практичне значення для оцінки сучасного радіоекологічного стану водойм, прогнозування його змін та розробки рекомендацій щодо безпечного використання водних біоресурсів. Отримані результати можуть бути використані для розробки екологічних заходів, спрямованих на мінімізацію впливу радіоактивного забруднення та забезпечення безпечного використання водних біоресурсів Поліського регіону України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання динаміки накопичення радіонуклідів у водних екосистемах, зокрема у водних біоресурс-

сах, залишається одним із ключових напрямів сучасної радіоекології, особливо в контексті віддаленого періоду після Чорнобильської катастрофи.

Одним із базових джерел є результати багаторічних досліджень Інституту гідробіології НАН України. Зокрема, в роботі Гудкова Д. І. детально проаналізовано розподіл, міграцію та біологічні ефекти радіонуклідів у компонентах водних екосистем зони відчуження, зокрема ^{137}Cs і ^{90}Sr . Автор наголошує на значній міжвидовій варіативності накопичення радіонуклідів залежно від трофічного рівня риб, віку та біологічних особливостей [2, с. 11-13].

У дослідженнях Скиби В.В. проведених у водоймах Лісостепу України, було встановлено, що середня питома активність ^{90}Sr у риб коливалася в межах 0,1–1,3 Бк/кг, тоді як ^{137}Cs – від 0,2 до 13,2 Бк/кг. При цьому в незарегульованих ділянках річок вміст обох радіонуклідів був нижчим, що свідчить про ефективність природних процесів самоочищення в певних гідрологічних умовах [3, с. 145].

Smith J. T. та Beresford N. A. у своїй узагальнюючій праці [4] розробили математичні моделі динаміки розпаду та екологічного самоочищення водойм, що постраждали від Чорнобильської аварії. Моделі дозволяють прогнозувати зміни рівнів радіоактивного забруднення з урахуванням гідрологічних та біологічних чинників.

Серед сучасних вітчизняних досліджень, присвячених оцінці екологічної безпеки водних екосистем Полісся, слід згадати роботу Андрійчука В. О. та ін. [6, с. 43-57], де акцентується на необхідності моніторингу малих річок регіону, таких як Здвиж, які можуть мати локальні осередки підвищеного радіоактивного забруднення, що залишаються актуальними і через десятиліття після аварії.

Також варто зазначити дослідження Volkova O. M. та співавторів [7, с. 102-107], де представлено дані щодо вмісту техногенних радіонуклідів у гідробіонтах водойм півночі України. Було встановлено, що навіть у 2023 році у деяких видів риб із Київського та Канівського водосховищ вміст ^{137}Cs перевищував 10 Бк/кг, що є близьким до межі допустимих значень для продуктів харчування.

Узагальнюючи аналіз досліджень і публікацій, слід зазначити, що, незважаючи на значний обсяг накопичених даних щодо радіоактивного забруднення водних екосистем України, питання динаміки накопичення радіонуклідів у водних біоресурсах малих річок Житомирської області у віддалений період після аварії на ЧАЕС залишається недостатньо вивченим. Зокрема, потребують уточнення питання видових особливостей накопичення радіонуклідів різними видами риб та їх розподілу у різних органах і тканинах риб в сучасних умовах.

Аналіз попередніх досліджень свідчить, що рівень радіонуклідного забруднення водойм значною мірою залежить від геохімічних особливостей території, структури донних відкладень та особливостей біоаккумуляції у водних організмах. Попередні роботи зосереджувалися на дослідженні рівня ^{137}Cs та ^{90}Sr у різних екосистемах, проте детальні дослідження щодо річки Здвиж відсутні.

Таким чином, незважаючи на значний період часу, що минув після аварії, дослідження свідчать про збереження екологічної загрози від ^{137}Cs та ^{90}Sr у водних екосистемах, зокрема у малих річках Житомирщини. Оцінка рівнів накопичення цих радіонуклідів у тканинах риби залишається актуальною для забезпечення екологічної та продовольчої безпеки регіону.

Формулювання цілей статті та матеріали і методи дослідження.

Метою дослідження є оцінка рівня накопичення ^{137}Cs і ^{90}Sr у водних біоресурсах річки Здвиж, визначення закономірності розподілу радіонуклідів у різних тканинах риби та оцінка можливих екологічних й біологічних ризиків.

Завдання дослідження:

- провести відбір проб риби у річці Здвиж для аналізу рівня радіонуклідів;
- визначити концентрації ^{137}Cs і ^{90}Sr у м'язовій тканині (туші) та внутрішніх органах риби;
- порівняти отримані результати із нормативами безпечності;
- проаналізувати можливі наслідки радіоактивного забруднення для іхтіофауни та рибного господарства.

Матеріали та методи. Польовий етап дослідження було проведено 08 січня 2025 року на річці Здвиж поблизу села Карабачин (Брусилівський район, Житомирська область), географічні координати місця відбору проб: 50.2833° пн. ш., 29.5333° сх. д. представлено на рисунку 1.

Вибір саме цього населеного пункту зумовлений зручністю доступу до водотоку та типовими гідрологічними умовами середнього перебігу річки Здвиж, що забезпечує репрезентативність відібраних проб для цілей гідроекологічного моніторингу.

У ході дослідження було виловлено чотири види риби, характерних для іхтіофауни даної річкової системи: товстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*), карась (*Cyprinus carpio*), карась (*Carassius auratus*) і щука (*Esox lucius*). Кожен зразок був розділений на дві частини: м'язову тканину (тушу) та голову з внутрішніми органами для окремого аналізу.

Лабораторні вимірювання проводилися у Вимірювальній лабораторії Поліського національного університету, яка у 2022 році пройшла аудит стану системи вимірювань та отримала Свідоцтво про відповідність вимогам ДСТУ ISO 10012:2005.

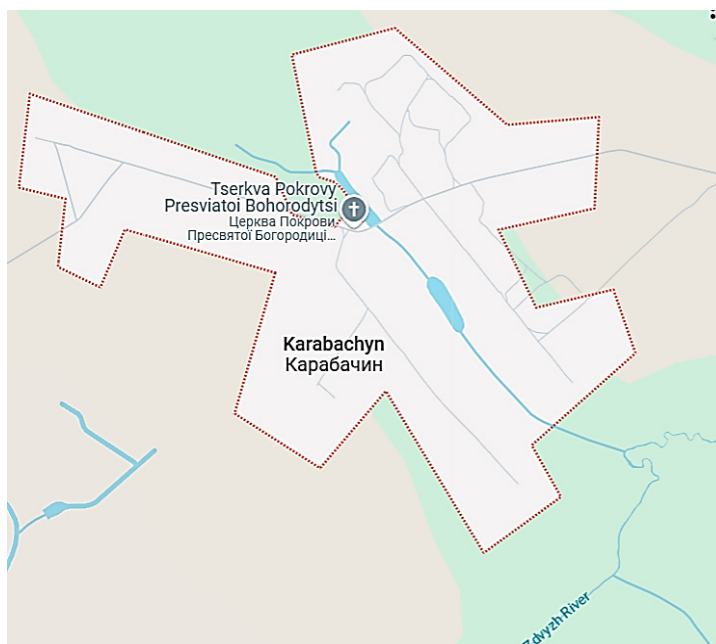


Рис. 1. Місце відбору проб

Визначення питомої активності ^{137}Cs здійснювалося методом гамма-спектрометрії, а ^{90}Sr – бета-спектрометрії. Для вимірювань використовувався сертифікований гамма-бета-спектрометр МКС-АТ1315 (виробник – АТОМТЕХ, Білорусь). Вимірювання здійснювались у два етапи:

- попереднє вимірювання робочого фонового спектру та контрольного фону протягом 3 годин з їх збереженням у пам'яті приладу;
- визначення активності наважок проб, які розміщували у посуд Марінеллі та встановлювали у блок захисту спектрометра.

Реєстрація гамма-випромінювання здійснювалася скінтіляційним блоком із кристалом йодиду натрію (63×63 мм), а бета-випромінювання – полістирольним детектором з пара-терфенілом (128×9 мм). Аналіз спектрів проводився у режимі реального часу із використанням програмного забезпечення SPTR.

Крім того, для оцінки потужності експозиційної дози гамма-випромінювання використовувався спектрометр-дозиметр МКГ-АТ1321 (виробник – АТОМТЕХ), обладнаний скінтіляційним детектором (NaI, 25×40 мм) та лічильником Гейгера-Мюллера. Вимірювання проводилися в безперервному режимі.

Статистична обробка результатів включала обчислення середніх значень, стандартних відхилень та побудову графіків варіацій за допомогою стандартних методів описової статистики.

Усі вимірювання проводились згідно з темою науково-дослідної роботи «Моніторингові дослідження біосфери Українського Полісся», що виконується відповідно до державної реєстрації у МОН України (№ 0124U000645).

Результати досліджень та їх обговорення. У ході дослідження було отримано дані щодо концентрацій радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у тканинах чотирьох видів риб річки Здвиж, представлені в таблиці 1. Результати наведені, як середні значення з відповідними стандартними відхиленнями.

Таблиця 1. Вміст радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у різних частинах тіла риб річки Здвиж (8 січня 2025 року)

Вид риби	Частина тіла	^{137}Cs , Бк/кг $\pm$ SD	^{90}Sr , Бк/кг $\pm$ SD
Товстолобик	Голова, внутрішні органи	$4,76 \pm 0,71$	$26,30 \pm 3,95$
Товстолобик	Туша	$2,51 \pm 0,38$	$22,50 \pm 3,38$
Короп	Голова, внутрішні органи	$5,45 \pm 0,82$	$25,10 \pm 3,77$
Короп	Туша	$3,16 \pm 0,47$	$17,50 \pm 2,63$
Карась	Голова, внутрішні органи	$2,05 \pm 0,31$	$24,30 \pm 3,65$
Карась	Туша	$0,95 \pm 0,14$	$19,70 \pm 2,96$
Щука	Голова, внутрішні органи	$1,53 \pm 0,23$	$13,30 \pm 2,00$
Щука	Туша	$3,17 \pm 0,48$	$12,90 \pm 1,94$

Примітка: результати подані як середнє значення $\pm$ стандартне відхилення (SD).

Отримані дані демонструють виражену диференціацію у накопиченні радіонуклідів між видами риб, а також між м'язовою тканиною та внутрішніми органами. На рисунку 2 наведено порівняльну характеристику розподілу радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у тканинах різних видів риб.

Загальна тенденція свідчить та з рисунку видно, що:

^{90}Sr у всіх видів риб накопичується переважно у голові з внутрішніми органами. Це узгоджується з його хімічною спорідненістю до кальцію і схильністю до акумуляції в кістковій та сполучній тканині.

^{137}Cs , як правило, також проявляє вищі концентрації у внутрішніх органах, окрім щуки, у якої спостерігається протилежна тенденція – переважне накопичення в м'язовій тканині.

Найвищі рівні ^{137}Cs були зафіксовані у коропа ($5,45 \pm 0,82$ Бк/кг), а найнижчі – у карася ($0,95 \pm 0,14$ Бк/кг, туша).

За вмістом ^{90}Sr лідирує товстолобик у внутрішніх органах ($26,30 \pm 3,95$ Бк/кг), що вказує на значну здатність цього виду до біоаккумуляції.

Ці особливості можуть бути пояснені видовими відмінностями в умовах живлення, біохімічному складі тканин, метаболізмі та поведінкових характеристиках. Фактичні концентрації радіонуклідів у всіх досліджених зразках не перевищують встановлені гігієнічні нормативи, однак деякі значення наближаються до межі допустимості, що зумовлює необ-

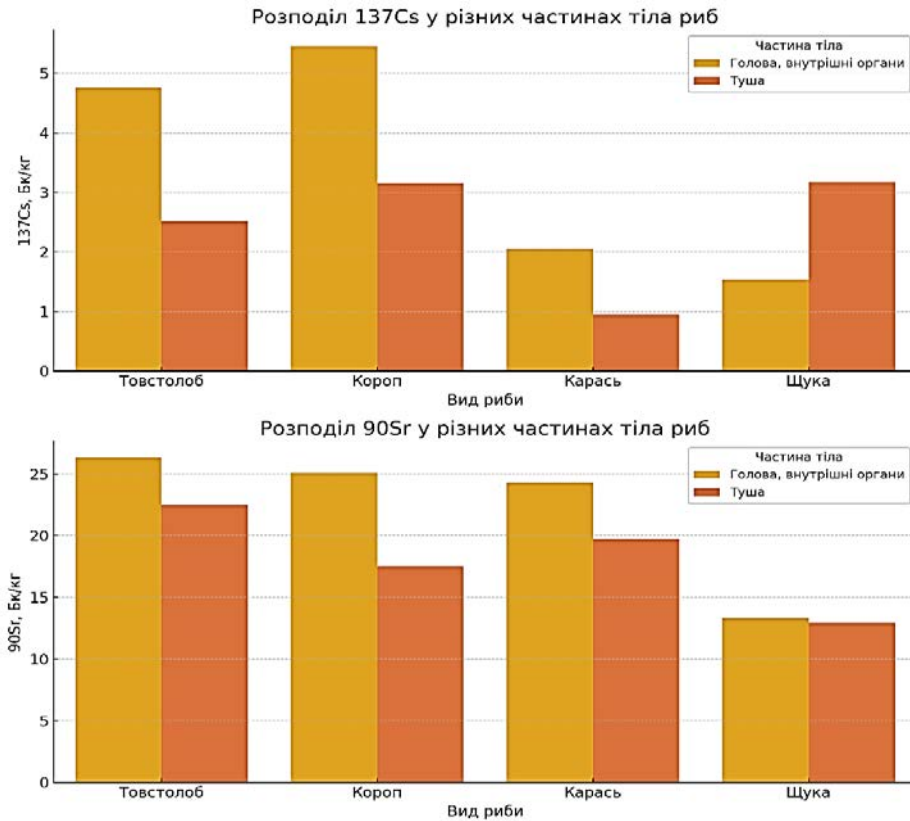


Рис. 2. Розподіл радіонуклідів в голові (з внутрішніми органами) та туші риб

хідність подальшого моніторингу.

Результати проведених досліджень підтверджують наявність видової та тканинної специфіки накопичення радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у водних біоресурсах річки Здвиж у віддалений період після аварії на ЧАЕС. Спостерігається тенденція до переважного накопичення ^{90}Sr у внутрішніх органах та кісткових структурах риб, що відповідає загальновідомим властивостям цього радіонукліда як хімічного аналога кальцію. Така закономірність є підтвердженням результатів попередніх досліджень, які вказують на інтенсивне біонакопичення стронцію-90 у скелетних структурах гідробіонтів [2, с. 11-13; 3, с. 145].

Щодо ^{137}Cs , який є аналогом калію, його розподіл між м'язовою тканиною та внутрішніми органами виявився видовим. Для товстолобика, коропа та карася характерне підвищене накопичення у голові та внутрішніх органах, тоді як у щуки, на відміну від інших видів, спостерігалось

переважне накопичення саме в м'язовій тканині. Така особливість може бути пов'язана з трофічною позицією щуки як хижака, що призводить до ефекту біомагніфікації, характерного для ^{137}Cs [6, с. 43-57].

Рівні вмісту ^{90}Sr залишаються вищими порівняно з ^{137}Cs у всіх досліджених пробах, що свідчить про його вищу біологічну доступність у конкретних умовах річкової екосистеми Здвижу. Крім того, результати підтверджують збереження локальних осередків радіоактивного забруднення у малих річках Полісся навіть через майже чотири десятиліття після аварії. Проведені раніше комплексні радіоекологічні дослідження водойм Придніпров'я засвідчують, що навіть через 30 років після аварії існує ризик вторинного забруднення водного середовища за рахунок міграції радіонуклідів із донних відкладень та гідробіонтів [5].

Аналіз показників середньої питомої активності показує, що найвищі концентрації ^{90}Sr зафіксовано у внутрішніх органах товстолобика ($26,30 \pm 3,95$ Бк/кг) та коропа ($25,10 \pm 3,77$ Бк/кг). У той час як для ^{137}Cs максимальні значення встановлено у внутрішніх органах коропа ($5,45 \pm 0,82$ Бк/кг). Найнижчі значення для обох радіонуклідів характерні для карася (особливо у туші) та щуки (в органах), що, ймовірно, пов'язано з меншим рівнем трофічної активності або обмеженим періодом біоаккумуляції.

Варто зазначити, що попри виявлені концентрації, жоден із показників не перевищує встановлених допустимих нормативів (150 Бк/кг для ^{137}Cs та 35 Бк/кг для ^{90}Sr) [8]. Це свідчить про умовну безпечність риби з річки Здвиж для споживання, однак потребує системного моніторингу з урахуванням потенційного кумулятивного ефекту та сезонних коливань.

Отримані результати збігаються з тенденціями, описаними у роботах Smith & Beresford [4] та Volkova et al. [6], які наголошують на збереженні забруднення в прибережних і донних зонах водойм, особливо в регіонах, що характеризуються низькою швидкістю течії та високим рівнем замулення.

Отримані результати корелюють з висновками, наведеними у дослідженні Білоконя Г., Ананьєвої Т. та Просяника Ю. [7], де вивчено накопичення ^{137}Cs та ^{90}Sr у промислових видах риб Запорізького водосховища. Автори відзначили, що хижаки та бентофаги демонструють вищі коефіцієнти біоаккумуляції, особливо щодо ^{137}Cs . Це підтверджує наші спостереження щодо домінуючого накопичення радіоцезію у м'язовій тканині щуки, як виду з вищою трофічною позицією.

Таким чином, дослідження засвідчує збереження радіоекологічного навантаження у водних екосистемах Полісся, підтверджує необхідність продовження комплексного радіоекологічного моніторингу та врахування специфіки розподілу радіонуклідів при оцінці ризиків для здоров'я населення.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведене дослідження підтвердило, що у віддалений період після аварії на ЧАЕС у водних біоресурсах річки Здвиж (Брусилівський район, Житомирська

область) зберігається біоаккумуляція довгоживучих радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr , що становить екологічну загрозу для річкової екосистеми Полісся.

Установлено чіткий розподіл радіонуклідів між тканинами:

^{90}Sr концентрується переважно у внутрішніх органах (особливо у товстолобика і коропа), що узгоджується з його спорідненістю до кальцію;

^{137}Cs має варіабельний розподіл: у більшості видів вищий рівень в органах, однак у щуки спостерігалось переважне накопичення у м'язовій тканині, що може свідчити про ефект біомагніфікації.

Концентрації обох радіонуклідів у досліджених зразках не перевищували діючих гігієнічних нормативів, проте в окремих випадках наближались до межових значень, що вказує на потенційні ризики при регулярному споживанні риби.

Виявлені тенденції відповідають загальним закономірностям біоаккумуляції в умовах післяаварійного радіоекологічного фону, зокрема в малих річках із низькою швидкістю течії та підвищеним рівнем замулення.

Отримані результати є вагомим внеском у формування доказової бази для радіоекологічного моніторингу, дозволяють уточнити сучасний стан забруднення водних екосистем Полісся та можуть бути використані для оцінки ризиків для здоров'я населення.

Перспективою подальших досліджень є вивчення сезонної та багаторічної динаміки концентрацій ^{137}Cs і ^{90}Sr у водних біоресурсах, аналіз репродуктивних і фізіологічних наслідків хронічного забруднення у різних видів риби, дослідження ефективності природних процесів самоочищення у водоймах регіону, а також, розробка екологічно обґрунтованих рекомендацій щодо безпечного рибальства, споживання водних ресурсів та ведення господарської діяльності в умовах радіоактивного фону.

DYNAMICS OF RADIONUCLIDE ^{137}CS AND ^{90}SR ACCUMULATION IN AQUATIC BIORESOURCES OF THE ZDVYZH RIVER (ZHYTOMYR REGION, UKRAINE) IN THE LONG-TERM PERIOD AFTER THE CHORNOBYL ACCIDENT

*Makhinko R. H. – Associate Professor,
Polissia National University,
vse-svit@ukr.net*

This article presents the results of a study on the accumulation of long-lived artificial radionuclides (^{137}Cs and ^{90}Sr) in the aquatic biological resources of the Zdvyzh River (Brusyliv District, Zhytomyr Region, Ukraine), a tributary of the Dnipro Basin located near the southern boundary of the Chernobyl Exclusion Zone.

The aim of the study was to characterize the persistent radioactive contamination in the aquatic ecosystem of small rivers in the Ukrainian Polissia nearly four decades after the Chernobyl disaster. Field sampling was conducted in January 2025, focusing on four common freshwater fish species: silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*), common carp (*Cyprinus carpio*), crucian carp (*Carassius auratus*), and pike (*Esox lucius*). Biological samples were separated into muscle tissue and head with internal organs.

Radionuclide concentrations were determined using gamma spectrometry for ^{137}Cs and beta spectrometry for ^{90}Sr , employing certified equipment (MKS-AT1315 and MKH-AT1321) at the Measurement Laboratory of Polissia National University. The findings revealed distinct species- and tissue-specific patterns of radionuclide accumulation: ^{90}Sr was predominantly concentrated in skeletal structures, especially in the head, whereas ^{137}Cs was found mainly in muscle tissue, particularly in predatory species such as pike. Bioaccumulation varied depending on trophic level, feeding behavior, and metabolic activity. All measured concentrations remained below national safety limits, though in some cases they approached critical thresholds, highlighting the need for continued environmental monitoring. The results align with data from larger water bodies in the Dnipro basin, such as the Zaporizhzhia Reservoir.

Overall, the study confirms the persistence of radioecological memory in aquatic ecosystems of small rivers in the Ukrainian Polissia and emphasizes the necessity of incorporating local-scale monitoring into national safety frameworks. The findings are crucial for assessing ecological risks, conserving aquatic biodiversity, and shaping sustainable regional fishery management strategies.

Keywords: ^{137}Cs , ^{90}Sr , Zdvyzh River, freshwater fish, bioaccumulation, gamma spectrometry, aquatic ecology, Chernobyl, Polissia, ecological monitoring.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кашпаров В. О., Голяка Д. М., Левчук С. Є., Берковський В. Б. Зонування територій радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії. *Ядерна фізика та енергетика*. 2022. № 3. URL: <https://doi.org/10.15407/jnpae2022.03.182> (дата звернення: 01.02.2025).
2. Гудков Д. І. Радіонукліди в компонентах водних екосистем зони відчуження Чорнобильської АЕС: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра біол. наук : 03.00.01. Київ, 2006. 34 с.
3. Скиба В. В. Радіоекологічний моніторинг накопичення ^{90}Sr та ^{137}Cs в організмах риб деяких водойм Лісостепу України. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2023. № 2. URL: <https://doi.org/10.33245/2310-9289-2023-182-2-145-154> (дата звернення: 05.02.2025).
4. Smith J. T., Beresford N. A. Chernobyl – Catastrophe and Consequences. Berlin : Springer-Praxis, 2005. 318 p. DOI: https://doi.org/10.1007/3-540-28079-0_1.
5. Дворецький А. І. Радіоекологія водойм Придніпров'я. *Вісник ЖНАЕУ*. 2016. № 1(55), Т. 3. С. 283-290.
6. Volkova O. M., Belyaev V. V., Prishlyak S. P., Gudkov D. I., Kaglyan O. Ye., Skyba V. V. Technogenic Radionuclides in Hydrobionts of the Northern

- Ukraine Water Bodies. *Hydrobiological Journal*. 2023. Vol. 59, № 6. P. 100-119.
7. Білоконь Г., Ананьєва Т., Просяник Ю. Моніторингові дослідження накопичення радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr рибами Запорізького водосховища. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2014. Вип. 67. С. 123-128.
 8. Про затвердження Державних гігієнічних нормативів Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді. Міністерства охорони здоров'я України, до електронних наукових баз даних : наказ М-ва охорони здоров'я України від 03 трав. 2006 р. № 256. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0845-06> (дата звернення: 20.03.2025).
 9. Махінько Р. Г. Комплексні заходи по відновленню водойм Житомирського Полісся після Чорнобильської катастрофи. *Екологічні науки*. 2024. № 3(54). С. 57-63.
 10. Makhinko R. Long-term consequences of the Chornobyl disaster for aquatic ecosystems: A retrospective analysis and prognosis. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2024. Vol. 15, № 2. P. 58-67.
 11. Романенко В. Д., Гудков Д. І., Кузьменко М. І. Гідробіонти водойм Чорнобильської зони. *Світогляд*. 2014. № 2(46). С. 37-46.
 12. Про затвердження державних санітарних правил «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України» : наказ М-ва охорони здоров'я України від 2 лютого 2005 року № 54.

REFERENCES

1. Kashparov, V. O., Holiaka, D. M., Levchuk, S. Ye., & Berkowskyi, V. B. (2022). *Zonuvannia terytorii radioaktyvnoho zabrudnennia pislia Chornobylskoi avarii* [Zoning of territories contaminated after the Chornobyl accident]. *Yaderna fizyka ta enerhetyka*, vol. 23, no. 3, 182-194. URL: <https://doi.org/10.15407/jnpae2022.03.182> (accessed: February 1, 2025). [in Ukrainian].
2. Hudkov, D. I. (2006). *Radionuklidy v komponentakh vodnykh ekosystem zony vidchuzhennia Chornobylskoi AES* [Radionuclides in components of aquatic ecosystems of the Chornobyl exclusion zone]: Doctoral dissertation abstract, specialty 03.00.01. Kyiv. [in Ukrainian].
3. Skyba, V. V. (2023). *Radioekologichniy monitorynh nakopychennia ^{90}Sr ta ^{137}Cs v orhanizмах ryb deiakyykh vodoim Lisostepu Ukrainy* [Radioecological monitoring of ^{90}Sr and ^{137}Cs accumulation in fish organisms of some forest-steppe reservoirs of Ukraine]. *Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnystva*, no. 2, 145-154. URL: <https://doi.org/10.33245/2310-9289-2023-182-2-145-154> (accessed: February 5, 2025). [in Ukrainian].

4. Smith, J. T., & Beresford, N. A. (2005). Chernobyl – Catastrophe and Consequences. Berlin: Springer-Praxis. URL: https://doi.org/10.1007/3-540-28079-0_1
5. Dvoretzkyi, A. I., Sapronova, V. O., Baidak, L. A., Marenkov, O. M., & Bilokon, H. S. (2016). *Radioekolohiia vodoim Prydniprovia* [Radioecology of the Dnipro basin water bodies]. *Visnyk ZhNAEU*, no. 1(55), Vol. 3, 283-290. [in Ukrainian].
6. Volkova, O. M., Belyaev, V. V., Prishlyak, S. P., Gudkov, D. I., Kaglyan, O. Ye., & Skyba, V. V. (2023). Technogenic radionuclides in hydrobionts of the Northern Ukraine water bodies. *Hydrobiological Journal*, no. 59(6), 100-119.
7. Bilokon, H., Ananieva, T., & Prosiannyk, Yu. (2014). *Monitorynhovi doslidzhennia nakopychennia radionuklidiv ^{137}Cs ta ^{90}Sr rybamy Zaporizkoho vodoskhovyshcha* [Monitoring studies of ^{137}Cs and ^{90}Sr accumulation in fish of the Zaporizke reservoir]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya biolohichna*, no. 67, 123-128. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/biology/article/view/4670/4703> (accessed: March 20, 2025). [in Ukrainian].
8. Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy. (2006, May 3). *Pro zatverdzhennia derzhavnykh hihienichnykh normatyviv "Dopustymi rivni vmistu radionuklidiv ^{137}Cs ta ^{90}Sr u produktakh kharchuvannia ta pytnii vodi"* [On approval of hygienic standards for ^{137}Cs and ^{90}Sr in food and drinking water] (Order No. 256). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0845-06> (accessed: March 20, 2025). [in Ukrainian].
9. Makhinko, R. H. (2024). *Kompleksni zakhody po vidnovlenni vodoim Zhytomyrskoho Polissia pislia Chornobylskoi katastrofy* [Integrated measures for the restoration of water bodies in the Zhytomyr Polissia after the Chornobyl disaster]. *Ekolohichni nauky*, no. 3(54), 57-63. [in Ukrainian].
10. Makhinko, R. (2024). Long-term consequences of the Chornobyl disaster for aquatic ecosystems: A retrospective analysis and prognosis. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*, Vol. 15, no. 2, 58-67.
11. Romanenko, V. D., Hudkov, D. I., & Kuzmenko, M. I. (2014). *Hidrobionty vodoim Chornobylskoi zony* [Hydrobionts of the Chornobyl zone water bodies]. *Svitohliad*, no. 2(46), 37-46. [in Ukrainian].
12. Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy. (2005, February 2). *Osnovni sanitarni pravyla zabezpechennia radiatsiinoi bezpeky Ukrainy* [Main sanitary rules for ensuring radiation safety of Ukraine] (Order No. 54). [in Ukrainian].