

УДК 574:597:504.054(477.42–22)

DOI <https://doi.org/10.32782/wba.2025.1.4>

ТРАНСФОРМАЦІЯ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ РИБНОЇ БІОТИ РІЧКИ ЗДВИЖ У ПОСТЧОРНОБИЛЬСЬКИЙ ПЕРІОД

*Махінко Р. Г. – аспірант,
Дунаєвська О. Ф. – д. біол. н., професор,
Поліський національний університет,
vse-svit@ukr.net*

У статті представлено результати дослідження просторового розподілу радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у тканинах річкових видів риб, виловлених у водах річки Здвиж (Житомирська область) у 2025 році. Вивчено радіоекологічний статус водної біоти в умовах тривалого післяаварійного періоду Чорнобильської катастрофи. Дослідження охоплювало аналіз чотирьох видів риб – товстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*), коропа (*Cyprinus carpio*), карася (*Carassius auratus*) та щуки (*Esox lucius*), які є типовими представниками іхтіофауни вказаного регіону. Для кожного виду було здійснено анатомічне розділення на їстівну (м'язову) частину та голову з внутрішніми органами з подальшим визначенням рівнів радіонуклідів за допомогою методів гамма- та бета-спектрометрії. Отримано дані щодо варіативності накопичення ^{137}Cs і ^{90}Sr у різних анатомічних фракціях, що свідчать про наявність специфічних біоаккумуляційних закономірностей, зумовлених як біологічними особливостями виду, так і функціональним навантаженням тканин. Визначено, що голови та внутрішні органи акумулюють у 1,5–2,5 рази більше радіонуклідів, ніж м'язова тканина. Водночас хижа щука виявила зворотну тенденцію – вищий вміст цезію-137 у м'язах порівняно з іншими фракціями. За результатами порівняння з гігієнічними нормативами МОЗ України, всі показники перебували в межах допустимих рівнів, що вказує на відсутність безпосередньої загрози для споживачів. Разом з тим, результати підтверджують збереження так званої «радіоекологічної пам'яті» в екосистемі навіть у регіонах, які не входять до зони офіційного забруднення. Результати дослідження мають прикладне значення для оцінки безпечності рибної продукції, регіонального моніторингу, планування протирадіаційних заходів та формування рекомендацій щодо раціонального природокористування в басейні річки Здвиж.

Ключові слова: водні біоресурси, радіонукліди, ^{137}Cs , ^{90}Sr , риба, постчорнобильський період, анатомічна диференціація, радіоекологічна безпека.

Постановка проблеми. Аварія на Чорнобильській атомній електростанції 1986 року стала одним із наймасштабніших техногенних забруднень довкілля в історії людства. Однією з найнебезпечніших наслідків є викид довгоживучих радіонуклідів, зокрема цезію-137 (^{137}Cs) та стронцію-90 (^{90}Sr), які демонструють високу біологічну активність та здатність до біоаккумуляції. Незважаючи на минулі десятиліття, присутність

цих радіонуклідів фіксується у багатьох екосистемах, включаючи водні об'єкти, що не входять до офіційних зон радіоактивного забруднення.

У контексті сучасних викликів екологічної та харчової безпеки, особливої уваги потребує радіоекологічна оцінка біоресурсів, які можуть бути джерелом споживчих продуктів – зокрема, риби. М'ясо риб є важливим харчовим продуктом у раціоні людини, а наявність у ньому радіонуклідів навіть у низьких концентраціях становить потенційну загрозу для здоров'я. Актуальність проблеми посилюється відсутністю системного моніторингу у річках і водоймах, що розташовані за межами зон контролю, але мають гідрологічний зв'язок з територіями, де фіксувалися випадки радіоактивного забруднення.

Таким чином, необхідним є вивчення трансформацій радіоекологічного стану водних біоценозів у таких регіонах, аналіз радіонуклідного навантаження на різні біологічні тканини риб, а також оцінка токсикологічної небезпеки для споживача. Це дозволить удосконалити підходи до екологічного моніторингу та профілактики радіологічних ризиків, пов'язаних із вживанням водних біоресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Низка сучасних досліджень підтверджує тривалий вплив радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr на водні екосистеми України, зокрема у віддалений постчорнобильський період. Скиба В. В. здійснив ґрунтовний аналіз накопичення цих радіонуклідів у рибах водойм Лісостепу України, виявивши стабільне збереження стронцію-90 у кісткових тканинах, а цезію-137 – у м'язах [1]. Зарубіна Н. із колегами дослідили екологічний період напіврозпаду ^{137}Cs у різних видах прісноводної риби, зокрема з водойм, розташованих поблизу Чорнобильської зони, показавши поступове зниження вмісту радіонукліду в тканинах організмів навіть через десятки років після аварії [3].

На глобальному рівні вагомим джерелом є монографія Smith J. T. та Beresford N. A., в якій розглянуто довгострокові наслідки Чорнобильської катастрофи, зокрема щодо поведінки радіонуклідів у водних біотопах [2].

Робота Волкової О. М. зі співавторами акцентує на розподілі техногенних радіонуклідів серед гідробіонтів північної частини України, включаючи неспецифічні локальні накопичення у м'язовій тканині хижих видів риб [4]. Волкова О. М. та співавтори проаналізували динаміку вмісту ^{137}Cs у рибі Київського та Канівського водосховищ, що репрезентують басейн Дніпра, і довели необхідність постійного моніторингу через збереження підвищеного радіоекологічного фону в окремих ділянках водойм [5].

Окрім того, на рівні законодавства МОЗ України встановлено гранично допустимі рівні вмісту радіонуклідів у продуктах харчування (Наказ № 256 від 03.05.2006) [6], які є орієнтиром для екологічного та гігієнічного оцінювання рибної продукції. Актуальність оцінки стану забруднення під-

тверджується також державними даними агентства з управління зоною відчуження [10].

Дослідження Махінька Р. Г. фокусуються на регіональних особливостях Житомирського Полісся, де довгостроковий вплив аварії на ЧАЕС проявляється у складі гідробіонтів, незважаючи на офіційно «чистий» статус водойм [7, 8].

Аналіз радіаційного стану довкілля в Україні свідчить про просторову неоднорідність забруднення, включаючи водні екосистеми [9].

Архівні матеріали ДАЗВ України містять актуальні спостереження за станом водойм зони відчуження, включно з рибогосподарськими характеристиками [10].

У підручнику Дубініної А. А. з колективом детально описано методи визначення токсичних речовин, включаючи радіонукліди, у продуктах харчування, що важливо для практичного контролю якості риби [11].

Праця Мороза А. С. та співавторів з медичної хімії дає уявлення про метаболічні наслідки впливу хімічних і радіоактивних сполук на біологічні системи [12].

Постановка завдання. Метою даної роботи є здійснення комплексної радіоекологічної оцінки водних біоресурсів річки Здвиж у віддалений період після аварії на Чорнобильській АЕС, із зосередженням на токсикологічних ризиках, пов'язаних зі споживанням риби людиною.

Особлива увага в дослідженні зосереджена на виявленні анатомічної диференціації накопичення радіонуклідів у тканинах риби та оцінці потенційних ризиків для споживачів залежно від виду і частини тіла риби.

В межах реалізації цієї мети були поставлені наступні завдання:

- провести цілеспрямований відбір проб риби з річки Здвиж у репрезентативному за гідрологічними параметрами районі середнього перебігу річки;
- ідентифікувати види іхтіофауни, характерні для водойми, та здійснити розділення проб на м'язову тканину (тушу) і голову з внутрішніми органами;

- визначити концентрації радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у кожному з типів біологічних тканин риби шляхом використання методів гамма- та бета-спектрометрії;

- зіставити отримані дані із встановленими гігієнічними нормативами МОЗ України щодо допустимого вмісту радіонуклідів у продуктах харчування;

- здійснити статистичну обробку результатів і побудову варіаційних рядів концентрацій із визначенням специфіки накопичення радіонуклідів у різних видів риби;

- провести первинну токсикологічну інтерпретацію радіоекологічної ситуації для оцінки потенційних ризиків для споживачів рибної продукції.

Матеріали і методи дослідження. Польовий етап дослідження проведено 08 січня 2025 року на річці Здвиж поблизу села Карабачин Брусилівського району Житомирської області. Вибір цього місця обґрунтований типовими гідрологічними умовами середнього перебігу річки, доступністю до водотоку та репрезентативністю проб для цілей гідроекологічного моніторингу. Місце відбору проб (рисунок 1).



Рис. 1. Місце відбору проб на річці Здвиж (Житомирська область)

Джерело: Google Карти

У процесі дослідження було виловлено чотири види риб, які характерні для іхтіофауни річкових екосистем Українського Полісся: товстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*), короп (*Cyprinus carpio*), карась (*Carassius auratus*), щука (*Esox lucius*). Для кожного зразка риби проводилося розділення на дві фракції – їстівну частину (м'язова тканина/туша) та голову з внутрішніми органами для окремого аналізу.

Аналітичні вимірювання здійснено у Вимірювальній лабораторії Поліського національного університету, яка сертифікована відповідно до вимог ДСТУ ISO 10012:2005. Визначення питомої активності ^{137}Cs проводилося методом гамма-спектрометрії, а ^{90}Sr – методом бета-спектрометрії. Для вимірювань використовувався спектрометр МКС-АТ1315 (виробник – АТОМТЕХ). Процедура включала два основні етапи:

– попереднє вимірювання фонового спектру (робочого та контрольного) протягом 3 годин з його збереженням у пам'яті приладу;

– аналіз наважок рибних проб, поміщених у спеціальні ємності типу Марінеллі, з подальшим розміщенням у захисний блок спектрометра.

Реєстрація гамма-випромінювання здійснювалась сцинтиляційним блоком з кристалом NaI(Tl) розміром 63×63 мм, а бета-випромінювання – детектором на основі пара-терфенілу (128×9 мм). Обробка спектрів проводилася у режимі реального часу за допомогою програмного забезпечення SPTR.

Окрім цього, для контролю потужності експозиційної дози гамма-випромінювання використовувався спектрометр-дозиметр МКГ-АТ1321, обладнаний сцинтиляційним детектором NaI (25×40 мм) і лічильником Гейгера-Мюллера. Вимірювання проводилися в безперервному режимі в стандартних лабораторних умовах.

Статистичну обробку результатів здійснювали за допомогою методів описової статистики з використанням середніх значень, стандартних відхилень та графіків варіацій. Усі дослідження проводилися в межах науково-дослідної теми «Моніторингові дослідження біосфери Українського Полісся», зареєстрованої в МОН України (№ 0124U000645).

Результати досліджень та їх обговорення. У межах виконання дослідження було проаналізовано вміст радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у тканинах чотирьох видів риб, виловлених у річці Здвиж ($n = 7$ зразків на кожен вид). З метою порівняння рівнів накопичення радіонуклідів проводився поділ на дві основні анатомічні частини: м'язову тканину (тушу) та голову з внутрішніми органами. Визначення радіоактивності здійснювалося з урахуванням стандартного відхилення (SD), яке становило в середньому 10% від основного показника, що забезпечує належний рівень точності. Результати вимірювань представлено в таблиці 1.

Таблиця 1. Концентрація радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у тканинах риб з річки Здвиж, Бк/кг ($n = 7, \pm\text{SD}$)

Вид риби	Частина тіла	^{137}Cs , Бк/кг $\pm$ SD	^{90}Sr , Бк/кг $\pm$ SD
Товстолобик	Голова, внутрішні органи	4,76 $\pm$ 0,48	26,30 $\pm$ 2,63
Товстолобик	Туша	2,51 $\pm$ 0,25	22,50 $\pm$ 2,25
Короп	Голова, внутрішні органи	5,45 $\pm$ 0,55	25,10 $\pm$ 2,51
Короп	Туша	3,16 $\pm$ 0,32	17,50 $\pm$ 1,75
Карась	Голова, внутрішні органи	2,05 $\pm$ 0,21	24,30 $\pm$ 2,43
Карась	Туша	0,95 $\pm$ 0,10	19,70 $\pm$ 1,97
Щука	Голова, внутрішні органи	1,53 $\pm$ 0,15	13,30 $\pm$ 1,33
Щука	Туша	3,17 $\pm$ 0,32	12,90 $\pm$ 1,29

Результати свідчать про виражену диференціацію накопичення радіонуклідів у різних частинах тіла. Для більшості видів риб спостерігалось характерне переважання вмісту ^{137}Cs та ^{90}Sr у голові з внутрішніми орга-

нами порівняно з м'язовою тканиною, що пов'язано з високою афінністю цих радіонуклідів до метаболічно активних або мінералізованих тканин (кістки, печінка, нирки).

Ці спостереження знайшли графічне відображення у вигляді порівняльних діаграм, що ілюструють концентраційні співвідношення радіонуклідів у різних анатомічних фракціях риб (рисунки 2, 3).

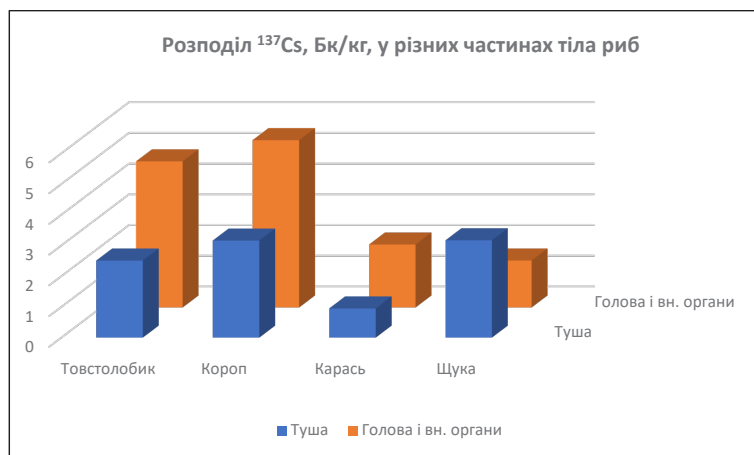


Рис. 2. Розподіл ^{137}Cs в туші та голові (з внутрішніми органами) риб

Джерело: зроблено авторами публікації за результатом власних досліджень.

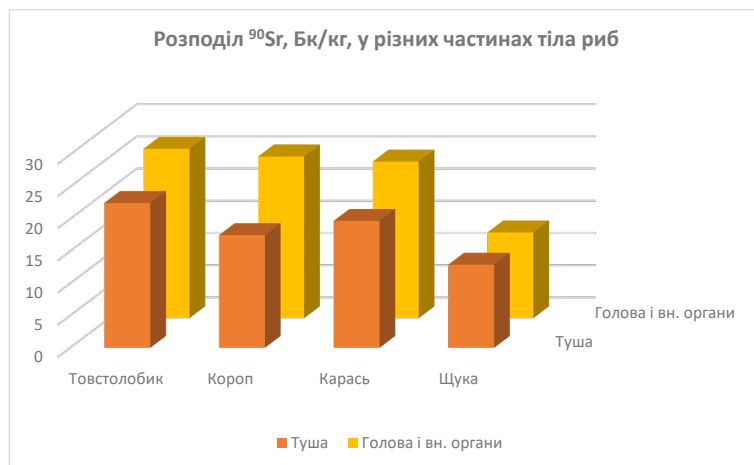


Рис. 3. Розподіл ^{90}Sr в туші та голові (з внутрішніми органами) риб

Джерело: зроблено авторами публікації за результатом власних досліджень.

Водночас у щуки зафіксовано атипову тенденцію – вміст ^{137}Cs у м'язовій тканині (3,17 Бк/кг) перевищив його концентрацію у внутрішніх

органах (1,53 Бк/кг), що може пояснюватися особливостями харчування хижих видів, здатних накопичувати радіонукліди через ланцюги вторинної трофічної біомагніфікації.

Щодо ^{90}Sr , найвищі значення зареєстровано в органах товстолобика (26,30 Бк/кг), що узгоджується з літературними даними про здатність цієї риби до біоаккумуляції стронцію через кальцієвий метаболізм.

Порівняння із гігієнічними нормативами МОЗ України (максимально допустимі рівні: 150 Бк/кг для ^{137}Cs і 75 Бк/кг для ^{90}Sr у рибній продукції) свідчить про відсутність перевищень, що свідчить про умовну безпечність риби з досліджуваної водойми для споживання. Проте наявність навіть низьких рівнів довгоживучих радіонуклідів вимагає подальшого регулярного моніторингу.

Висновки та перспективи подальшого розвитку. Проведене дослідження дозволило виявити особливості радіонуклідного забруднення річкових біоресурсів у типовому екосистемному середовищі Українського Полісся за умов тривалого післяаварійного періоду. Встановлено, що навіть у регіоні, який офіційно не належить до зони радіоактивного забруднення, спостерігається наявність цезію-137 та стронцію-90 у тканинах риб у межах від 0,95 до 5,45 Бк/кг (для ^{137}Cs) та від 12,90 до 26,30 Бк/кг (для ^{90}Sr).

Анатомічна диференціація радіонуклідів вказує на здатність окремих органів до більш інтенсивної акумуляції, що має практичне значення для розробки рекомендацій щодо вживання рибної продукції. Зокрема, внутрішні органи характеризуються вищим вмістом радіонуклідів у порівнянні з м'язовою тканиною, за винятком окремих хижих видів, що підтверджує вплив трофічного рівня на механізми накопичення.

Виявлена специфіка розподілу радіонуклідів серед видів риб і частин тіла підтверджує важливість комплексного підходу до радіоекологічного моніторингу, що передбачає врахування виду риби, екологічної ніші та трофічного статусу. Дані дослідження свідчать про збереження «радіоекологічної пам'яті» в екосистемі, яка акумулює відлуння Чорнобильської катастрофи навіть у незабруднених адміністративно районах.

Отримані результати мають вагоме значення для екологічного прогнозування, а також для формування рекомендацій із раціонального використання водних біоресурсів. Подальші дослідження доцільно зосередити на міжсезонній динаміці радіонуклідного навантаження, біохімічному аналізі органів-накопичувачів та оцінці впливу факторів довкілля на механізми біоаккумуляції.

TRANSFORMATION OF THE RADIOECOLOGICAL STATUS OF FISH BIOTA IN THE ZDVIZH RIVER DURING THE POST-CHORNOBYL PERIOD

*Makhinko R. H. – PhD student (Ecology),
Dunaievsk O. F. – Doctor of Biological Sciences, Professor,
Polissia National University,
vse-svit@ukr.net*

The article presents the results of a study on the spatial distribution of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in the tissues of river fish species caught in the Zdvizh River (Zhytomyr region, Ukraine) in 2025. The radioecological status of aquatic biota was examined under the conditions of a prolonged post-accident period following the Chernobyl disaster. The study involved the analysis of four common freshwater fish species – silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*), common carp (*Cyprinus carpio*), crucian carp (*Carassius auratus*), and pike (*Esox lucius*). For each species, specimens were anatomically divided into edible (muscle) tissue and heads with internal organs, followed by determination of radionuclide levels using gamma and beta spectrometry. The data obtained revealed variability in the accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr in different anatomical fractions, indicating the presence of specific bioaccumulation patterns determined by both species-specific and tissue-specific characteristics. It was found that heads and internal organs accumulated 1.5 to 2.5 times more radionuclides than muscle tissue. At the same time, the predatory pike exhibited the opposite trend-higher ^{137}Cs levels in muscle compared to internal tissues. All measured values were within the permissible limits established by the Ministry of Health of Ukraine, indicating no immediate health risk to consumers. Nevertheless, the findings confirm the persistence of so-called "radioecological memory" in the ecosystem, even in regions not officially classified as contaminated. The study results are of applied value for assessing the safety of fish products, regional monitoring, planning radiological protection measures, and developing recommendations for sustainable natural resource use in the Zdvizh River basin.

Keywords: aquatic bioresources, radionuclides, cesium-137, strontium-90, fish, post-Chernobyl period, anatomical differentiation, radioecological safety.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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. С. 145-154. URL: <https://doi.org/10.33245/2310-9289-2023-182-2-145-154>
2. Smith J. T., Beresford N. A. Chernobyl – Catastrophe and Consequences. Berlin : Springer-Praxis, 2005. 318 p. URL: https://doi.org/10.1007/3-540-28079-0_1
3. Zarubina N., Semak V., Burdo O. S., Ponomarenko L. P. Ecological Half-Life of ^{137}Cs in Fish. *Ecologies*. 2023. Vol. 4, № 3. P. 463-467. URL: <https://doi.org/10.3390/ecologies4030030>

4. 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*. 2024. Vol. 60, № 2. P. 86-106. URL: <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v60.i2.70>
5. Волкова О. М., Беляєв В. В., Пришляк С. П., Скиба В. В., Присяжнюк Н. М., Нагорнюк О. М. Динаміка вмісту ^{137}Cs у риб Київського та Канівського водосховищ. *Збалансоване природокористування*. 2024. № 3. С. 89-97. URL: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2024.314919>
6. Міністерство охорони здоров'я України. Наказ № 256 від 03.05.2006 р. Про затвердження Державних гігієнічних нормативів «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0845-06> (дата звернення: 20.03.2025).
7. Махінько Р. Г. Комплексні заходи по відновленню водойм Житомирського Полісся після Чорнобильської катастрофи. *Екологічні науки*. 2024. № 3 (54). С. 57-63. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.есо.3-54.7>
8. 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. URL: <https://doi.org/10.69628/esbur/2.2024.58>
9. Аналіз радіаційного стану навколишнього середовища території України. *Наукові праці*. 2015. № 53(40). С. 87-92.
10. State Agency of Ukraine on Exclusion Zone Management. Archival materials on the state of aquatic ecosystems in the Chornobyl exclusion zone. Kyiv, 2023. URL: <https://dazv.gov.ua/> (дата звернення: 15.03.2025).
11. Дубініна А. А., Малюк Л. П., Селютіна Г. А. та ін. Токсичні речовини у харчових продуктах та методи їх визначення: підручник. К.: ВД «Професіонал», 2007. 384 с.
12. Мороз А. С., Луцевич Д. Д., Яворська Л. П. Медична хімія: у 2-х т. Т. 1. 2-ге вид., стереотип. Вінниця: Нова книга, 2008. 776 с.

REFERENCES

1. Skyba, V. V. (2023). *Radioekologichnyi monitorynh nakopychennia ^{90}Sr ta ^{137}Cs v orhanizmakh ryb deiakyykh vodoim Lisostepu Ukrainy* [Radioecological monitoring of ^{90}Sr and ^{137}Cs accumulation in fish organisms of some reservoirs of the Ukrainian Forest-Steppe]. *Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnytstva*, 2, 145-154. URL: <https://doi.org/10.33245/2310-9289-2023-182-2-145-154> [in Ukrainian].
2. 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

3. Zarubina, N., Semak, V., Burdo, O. S., & Ponomarenko, L. P. (2023). Ecological half-life of ^{137}Cs in fish. *Ecologies*, 4(3):463-467. URL: <https://doi.org/10.3390/ecologies4030030>
4. Volkova, O. M., Belyaev, V. V., Prishlyak, S. P., Gudkov, D. I., Kaglyan, O. Ye., & Skyba, V. V. (2024). Technogenic radionuclides in hydrobionts of the Northern Ukraine water bodies. *Hydrobiological Journal*, 60(2):86-106. URL: <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v60.i2.70>
5. Volkova, O. M., Belyaev, V. V., Pryshliak, S. P., Skyba, V. V., Prysiazniuk, N. M., & Nahorniuk, O. M. (2024). *Dynamika vmistu ^{137}Cs u ryb Kyivskoho ta Kanivskoho vodoshkovyshch* [Dynamics of ^{137}Cs content in fish of the Kyiv and Kaniv reservoirs]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*, 3:89-97. URL: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2024.314919> [in Ukrainian].
6. Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy. (2006). *Nakaz № 256 vid 03.05.2006 r. Pro zatverdzhennia Derzhavnykh hihienichnykh normatyviv "Dopustymi rivni vmistu radionuklidiv ^{137}Cs ta ^{90}Sr u produktakh kharchuvannia ta pytnii vodi"* [Order No. 256 of 03.05.2006 on approval of the state hygienic norms of permissible levels of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in food and drinking water]. Retrieved March 15, 2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0845-06> [in Ukrainian].
7. Makhinko, R. H. (2024). *Kompleksni zakhody po vidnovlenniui vodoim Zhytomyrskoho Polissia pislia Chornobylskoi katastrofy* [Comprehensive measures for the restoration of water bodies in Zhytomyr Polissia after the Chornobyl disaster]. *Ekolohichni nauky*, 3(54), 57-63. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.3-54.7> [in Ukrainian].
8. 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*, 15(2):58-67. URL: <https://doi.org/10.69628/esbur/2.2024.58>
9. *Analiz radiatsiinoho stanu navkolyshnoho seredovyshcha terytorii Ukrainy* (2015). [Analysis of the radiation state of the environment of the territory of Ukraine]. *Naukovi pratsi*, 53(40), 87-92. [in Ukrainian].
10. State Agency of Ukraine on Exclusion Zone Management. (2023). Archival materials on the state of aquatic ecosystems in the Chornobyl exclusion zone. Retrieved March 15, 2025. URL: <https://dazv.gov.ua/>
11. Dubinina, A. A., Maliuk, L. P., Seliutina, H. A., et al. (2007). *Toksychni rechovyny u kharchovykh produktakh ta metody yikh vyznachennia* [Toxic substances in food products and methods of their determination]. Textbook. Kyiv: VD "Profesional". [in Ukrainian].
12. Moroz, A. S., Lutsevych, D. D., & Yavorska, L. P. (2008). *Medychna khimiia* [Medical chemistry]. 2nd ed., stereotype. Vol. 1. Vinnytsia: Nova knyha. [in Ukrainian].