

ЕКОЛОГІЯ

УДК 574.38:556.55(477.75)

Радіоекологічний моніторинг накопичення ^{90}Sr та ^{137}Cs в організмах риб деяких водойм лісостепу УкраїниСкиба В.В. 

Білоцерківський національний аграрний університет

 E-mail: volly2005@ukr.net

Скиба В.В. Радіоекологічний моніторинг накопичення ^{90}Sr та ^{137}Cs в організмах риб деяких водойм лісостепу України. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2023. № 2. С. 145–154.

Skyba V. Radioecological monitoring of ^{90}Sr and ^{137}Cs accumulation in fish organisms in certain water bodies of the forest-steppe zone of Ukraine. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2023. № 2. PP. 145–154.

Рукопис отримано: 04.09.2023 р.

Прийнято: 18.09.2023 р.

Затверджено до друку: 23.11.2023 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2023-182-2-145-154

Метою дослідження було визначення закономірностей формування радіонуклідного забруднення представників іхтіофауни деяких водойм Лісостепу України та встановлення референсних на 2021 р. величин питомої активності ^{90}Sr та ^{137}Cs в організмі риб.

З метою визначення рівнів радіонуклідного забруднення представників промислової іхтіофауни у 2021 р. на акваторіях Канівського водосховища на річці Дніпро, Косівського, Середнього Білоцерківського і Богуславського водосховищ на річці Рось та на незарегульованих ділянках річок Рось (вище м. Біла Церква) і Гнилий Тікич (с. Ставище) були відібрані наступні види риб – плітка звичайна – *Rutilus rutilus* L., плоскирка – *Bliccabjoerkna* L., лящ звичайний – *Abramis brama* L., карась сріблястий – *Carassius gibelio* (Bloch), верховодка – *Alburnus alburnus* L.; щука – *Esox lucius* L. (мирні види); судак звичайний – *Stizostedion lucioperca* L.; окунь річковий європейсько-азіатський – *Perca fluviatilis fluviatilis* L. (хижі види).

Питому активність ^{90}Sr та ^{137}Cs визначали в організмі риб за допомогою загальноприйнятих радіохімічних та гамма-спектрометричних методів.

У 2021 р. середня питома активність ^{90}Sr у риб різних видів Канівського водосховища зареєстрована у діапазоні величин від 0,6 до 1,3, ^{137}Cs – від 2,4 до 13,2 Бк/кг. Середня питома активність ^{90}Sr у риб різних видів Косівського водосховища зареєстрована у діапазоні величин від 0,1 до 0,5, ^{137}Cs – від 0,2 до 2,1 Бк/кг, Середнього Білоцерківського – відповідно, від 0,2 до 0,8 та від 0,8 до 4,0, Богуславського – від 0,1 до 0,5 та від 0,5 (лящ) до 3,1 Бк/кг. Середній вміст ^{90}Sr та ^{137}Cs в організмі риб, які були виловлені на незарегульованих ділянках річок Рось та Гнилий Тікич, становив 0,1–0,5 та 0,5–2,0 Бк/кг, відповідно.

Питома активність ^{90}Sr у мирних та хижих риб більшості досліджених водойм суттєво не відрізнялася і можна відзначити лише тенденцію до формування вищих рівнів накопичення радіонуклідів мирними видами. Водночас величини питомої активності ^{137}Cs хижих видів перевищували відповідні величини, що були зареєстровані у мирних риб.

Рівні радіонуклідного забруднення риб усіх досліджених водойм, крім Канівського водосховища, суттєво не відрізнялися. Підвищений, порівняно з іншими водоймами Лісостепу, вміст радіонуклідів у риб Канівського водосховища можна пояснити хронічним надходженням радіонуклідів з екосистеми Київського водосховища через греблю Київської ГЕС.

На період досліджень сумарна активність мирних риб водойм Лісостепу була сформована за 58–74 % ^{137}Cs , хижих видів – на 82–93 %.

На основі проведених досліджень визначено референтні та скринінгові на 2021 р. величини питомої активності радіонуклідів

для риб водойм Лісостепу. Для мирних риб величина референсної активності ^{90}Sr становить 1,0, скринінгової – 3,0, хижих риб – 0,5 та 2,0 Бк/кг, відповідно. Референсна на 2021 р. величина питомої активності ^{137}Cs в організмі мирних риб Канівського водосховища становить 3,2, скринінгова – 10,0, Косівського, Середнього Білоцерківського, Богуславського водосховищ та річок Рось і Гнилий Тікич – відповідно, 2,0 та 6,0 Бк/кг; хижих риб Канівського водосховища – відповідно, 12 та 36, Косівського, Середнього Білоцерківського, Богуславського водосховищ та річок Рось і Гнилий Тікич – відповідно, 3,0 та 10,0 Бк/кг.

Ключові слова: водойми Лісостепу, риби, радіонукліди.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Згідно з оцінюванням Організації Об'єднаних Націй, до середини поточного століття майже 7 млрд людей у 48 країнах відчуватимуть нестачу води, що на тлі змін клімату підвищує ризик війн за водні ресурси, згідно з дослідженнями Y. Yeganeh, E. Bakhshandeh, при цьому водні ресурси є причиною, фактором впливу, зброєю та реципієнтом негативних, часто катастрофічних впливів, викликаних війною (С. О. Афанасьєв, J. K. Cooley). Тому не викликає сумніву, що будь-який воєнний конфлікт щодо водних ресурсів несе значні загрози та ризики. Насамперед, це – загроза населенню, починаючи від затоплення населених пунктів при знищенні дамб і гребель, та закінчуючи недоступністю питної води належної якості.

Воєнні дії на території України, які розпочалися у 2014 р. і перейшли у повномасштабне вторгнення росії 24 лютого 2022 р., також чинять потужний і багатогранний вплив на водні ресурси та гідроекосистеми. Особливо, якщо вважати, що однією з вагомих причин російської агресії в Україні вважається намагання отримати доступ до дніпровської води з метою забезпечення окупованих територій Криму та Донбасу (С. О. Афанасьєв).

На сьогодні є багато свідчень про цілеспрямовані впливи воєнних дій на водні ресурси України (D. Bănăduc, S. Shevchuk, O. Shumilova), зокрема, зосереджено увагу на забрудненні водних об'єктів (О. Афанасьєв). Відзначено, що забруднення, спричинені надходженням до водойм нафтопродуктів, продуктів горіння, залишків токсичних вибухових речовин, ракетного палива, затоплення техніки, яке на сьогодні не піддається достовірному обліку, є джерелом хімічного забруднення пролонгованої дії, вплив якого може тривати протягом десятиліть (R. A. Francis). Дані державного моніторингу вже нині вказують на перевищення концентрації ртуті, міді, цинку, марганцю, літію. Перевищення вмісту нафто-

продуктів і ртуті до 8,5 раза відзначено у пунктах спостережень, де раніше вони взагалі не спостерігались, про що йдеться у Публічному звіті [15].

Окремою проблемою вважають перерозподіл донних наносів Дніпровських водосховищ, який виникає внаслідок атак на об'єкти гідроенергетики і може спровокувати вторинне радіоактивне забруднення, обумовлене неконтрольованим винесенням радіонуклідів, які накопичилися у донних відкладах після аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 р. За даними Інституту гідробіології НАНУ, загальний запас ^{90}Sr та ^{137}Cs у Київському водосховищі становить, відповідно, 20 та 80 ТБк, згідно з дослідженнями В. Романенка. У випадку перерозподілу глибоководних відкладів Київського водосховища на мілководдя верхньої частини Канівського водосховища радіоекологічна ситуація в його екосистемі може значно погіршитися. Крім того, необхідно враховувати, що воєнні дії можуть призвести до радіаційного забруднення навколишнього середовища внаслідок руйнування підприємств ядерного паливного циклу та у випадку застосування ядерної зброї.

Отже, інформація щодо накопичення штучних радіоактивних елементів у компонентах водойм України за період, який передував початку воєнних дій, зокрема, в організмі представників промислової іхтіофауни, набуває надзвичайної актуальності, оскільки такі дані можуть бути використані як вихідні (референсні) показники при виникненні ядерних інцидентів та аварій.

Після аварії на ЧАЕС виявилось, що у науковій літературі відсутні дані щодо рівнів вмісту радіонуклідів у біотичних компонентах більшості водойм України, які у 1986 р. були забруднені продуктами чорнобильського походження. Так, для оцінки ступеню впливу чорнобильського викиду на рівні накопичення ^{90}Sr та ^{137}Cs представниками промислової іхтіофауни усіх водойм України у якості

референсних використовували доаварійні величини їхнього вмісту у рибах Запорізького водосховища [2] та водойм південних регіонів України [4], які не перевищували 2,7 та 3,4 Бк/кг, відповідно.

Нині у наукових публікаціях широко представлені результати комплексних радіоекологічних досліджень за період 1986–2021 рр. та проаналізовані закономірності формування рівнів радіонуклідного забруднення риб з водойм зони відчуження, Дніпровських водосховищ та різнотипних водойм зони Полісся [5, 6, 9, 11, 12, 14, 16, 17, 21, 27, 29, 30]. Встановлено що у 2021 р. у іхтіофауні слабкопроточних та замкнених водойм зони відчуження вміст ^{90}Sr та ^{137}Cs у десятки та сотні разів перевищував допустимі рівні [др-2006], а в окремих озерах спостерігалось зростання питомої активності ^{90}Sr в рибах. У деяких водоймах Полісся, які розташовані поза межами зони відчуження, зафіксовано перевищення допустимих рівнів вмісту ^{137}Cs [7, 23, 30].

Наслідки аварії на Чорнобильській АЕС для водних екосистем Лісостепу (крім Канівського водосховища) досліджувалися значно менше і обмежуються вибірковими даними 1999–1998 рр. про вміст ^{90}Sr та ^{137}Cs у компонентах Косівського водосховища, річці Рось, рибоводних ставків міста Біла Церква та селах Верхівня і Кирдани, а також результатами радіоекологічних досліджень рибоводних ставків 2004–2010 рр. [21, 22].

Метою дослідження було визначення закономірностей формування радіонуклідного забруднення представників іхтіофауни окремих водойм Лісостепу та встановлення референсних на 2021 р. величин питомої активності ^{90}Sr та ^{137}Cs в організмі риб.

Матеріал і методи дослідження. Дослідження здійснювали з січня по вересень 2021 р. на акваторіях Канівського водосховища, Косівського, Середнього Білоцерківського і Богуславського водосховищ на річці Рось та на незарегульованих ділянках річок Рось (вище м. Біла Церква) і Гнилий Тікич (с. Ставище). У водній радіоекології представників прісноводної іхтіофауни за особливостями накопичення радіонуклідів прийнято поділяти на мирних, до яких належать бентофаги і планктофаги, та хижих, які постійно або періодично живляться рибами. Об'єктами досліджень були мирні види риб – плітка звичайна - *Rutilus rutilus* L., плоскирка – *Bliccabjoerkna* L., лящ звичайний – *Abramis brama* L., карась сріблястий – *Carassius gibelio* (Bloch), верховодка – *Alburnus alburnus* L.; хижі види – щука – *Esox lucius* L.; судак звичайний – *Stizostedion*

lucioerca L.; окунь річковий європейсько-азіатський – *Perca fluviatilis fluviatilis* L.

Вміст радіонуклідів визначали в окремих екземплярах або об'єднаних пробах риб одного виду. Питому активність ^{90}Sr у зразках визначали оксалатним методом, ^{137}Cs – на УСК «Гамма Плюс» [13]. Питома активність радіонуклідів представлена у Бк/кг природної вологості. Щільність радіонуклідного забруднення площі водозбору досліджених водойм наведена за [1].

Результати дослідження та обговорення. Канівське водосховище та частина площі водозбору річок Рось та Гнилий Тікич розташовані на території «південного сліду» Чорнобильського викиду. Показник щільності забруднення територій безпосередньо прилеглих до Канівського водосховища у деяких випадках сягає 550, а в основному складає 40–100 кБк/м². Особливості формування радіонуклідного забруднення промислової іхтіофауни Канівського водосховища досліджували упродовж періоду 1986–2021 рр., що відображено у власних роботах [6, 18] та публікаціях інших авторів [8, 12, 40].

За нашими даними, у 2021 р. середня питома активність ^{90}Sr у риб різних видів Канівського водосховища зареєстрована у діапазоні величин від 0,6 (лящ) до 1,3 (карась), ^{137}Cs – від 2,4 (плітка) до 13,2 (щука) Бк/кг (рисунок 1).

Косівське водосховище розташоване на території, де щільність забруднення ^{137}Cs не перевищує 20 кБк/м², Середнє Білоцерківське – 40 кБк/м², тоді як щільність забруднення прибережних ділянок Богуславського водосховища сягає 185 кБк/м². Середня питома активність ^{90}Sr у риб різних видів Косівського водосховища зареєстрована у діапазоні величин від 0,1 (судак) до 0,5 (плоскирка), ^{137}Cs – від 0,2 (плоскирка) до 2,1 (окунь) Бк/кг, Середнього Білоцерківського – відповідно, від 0,2 (щука) до 0,8 (лящ) та від 0,8 (плітка) до 4,0, (окунь), Богуславського – від 0,1 (щука) до 0,5 (лящ) та від 0,5 (лящ) до 3,1 Бк/кг (щука).

Середній вміст ^{90}Sr та ^{137}Cs в організмі риб, які були виловлені на незарегульованих ділянках річок Рось та Гнилий Тікич, становив 0,1–0,5 та 0,5–2,0 Бк/кг, відповідно.

Аналіз даних щодо закономірностей накопичення радіонуклідів рибами різних типів живлення показав, що питома активність ^{90}Sr у мирних та хижих риб більшості досліджених водойм суттєво не відрізнялася і можна відзначити лише тенденцію до формування вищих рівнів накопичення радіонукліда мирними видами (рисунок 2). Водночас величини питомої активності ^{137}Cs хижих видів перевищували відповідні значення, що були зареєстровані

у мирних риб. Таке співвідношення величин питомої активності у мирних та хижих видів риб свідчить про рівноважний радіоекологічний стан у водних екосистемах.

Загалом можна відзначити, що рівні радіонуклідного забруднення риб усіх досліджених водойм, крім Канівського водосховища, суттєво не відрізнялися. Підвищений, порівняно з іншими водоймами Лісостепу, вміст радіонуклідів у риб Канівського водосховища можна пояснити хронічним надходженням радіонуклідів з екосистеми Київського водосховища через греблю Київської ГЕС [7].

Аналіз наведених результатів досліджень закономірностей формування радіонуклідного

забруднення представників промислової іхтіофауни водойм Полісся свідчить про те, що у 2021 р. за умов приблизно однакової щільності забруднення площі водозбору питома активність радіонуклідів в організмі риб досліджених водойм Лісостепу була у декілька разів меншою, ніж у відповідних видах малих водосховищ зони Полісся, що можна пояснити підвищеною міграційною активністю радіонуклідів у ґрунтах Полісся [1].

На період досліджень сумарна активність мирних риб водойм Лісостепу на 58–74 % була сформована ^{137}Cs , хижих видів – на 82–93 % (рис 3).

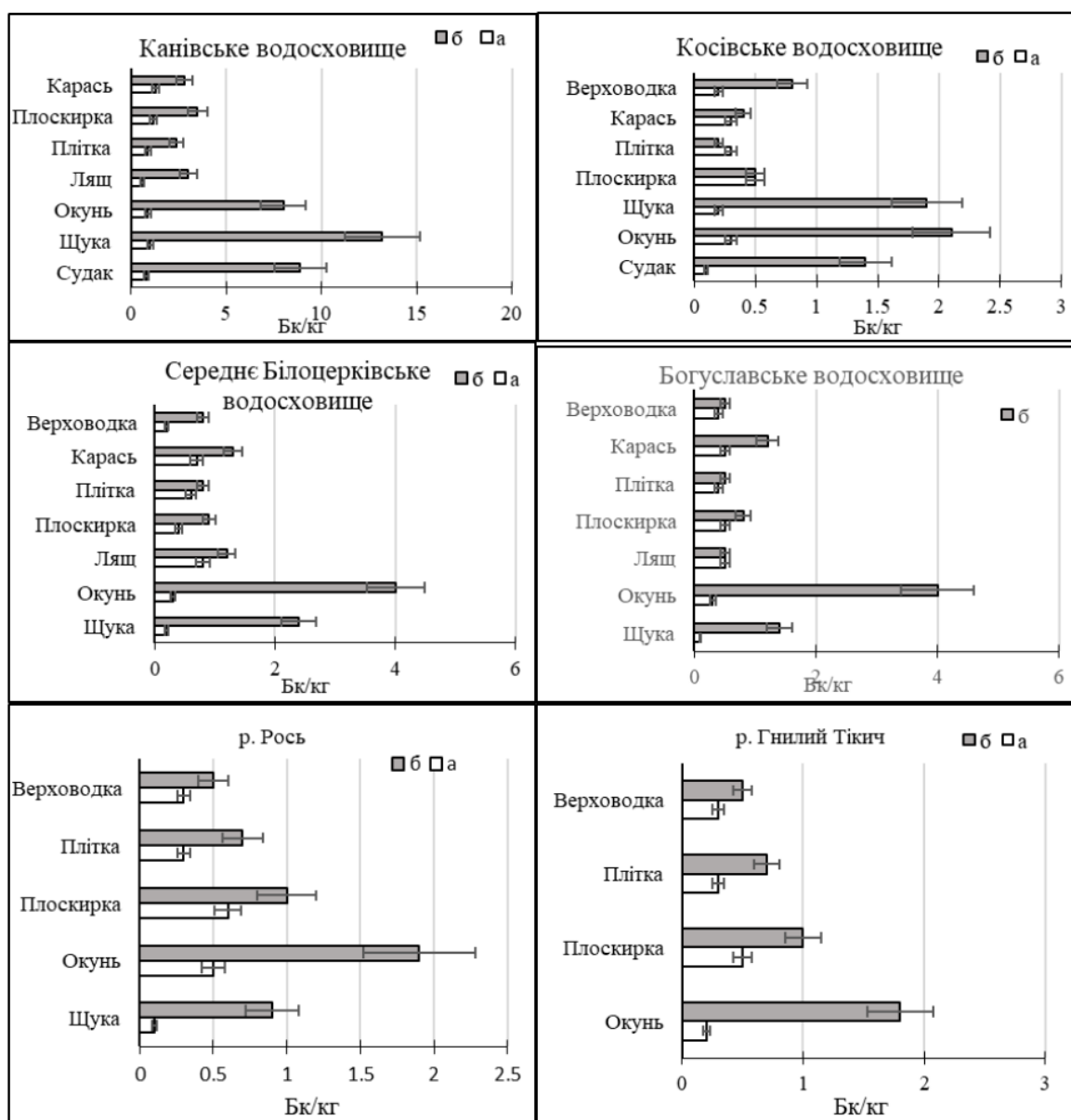


Рис. 1. Питома активність ^{90}Sr (а) та ^{137}Cs (б) в організмі риб водойм Лісостепу, 2021 р.

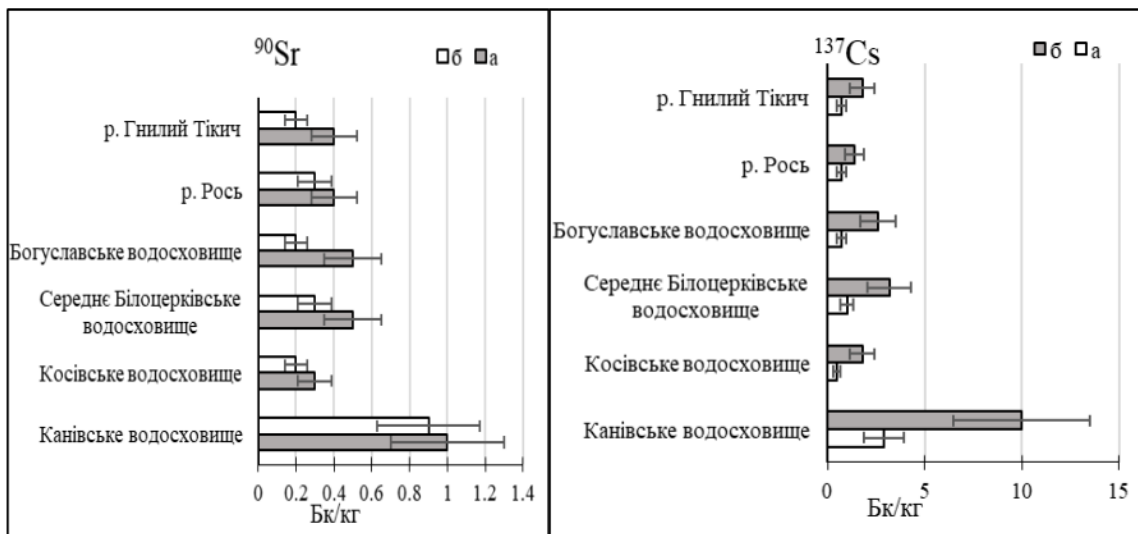


Рис. 2. Середня питома активність радіонуклідів в організмі мирних (а) та хижих (б) видів риб досліджених водойм, 2021 р.

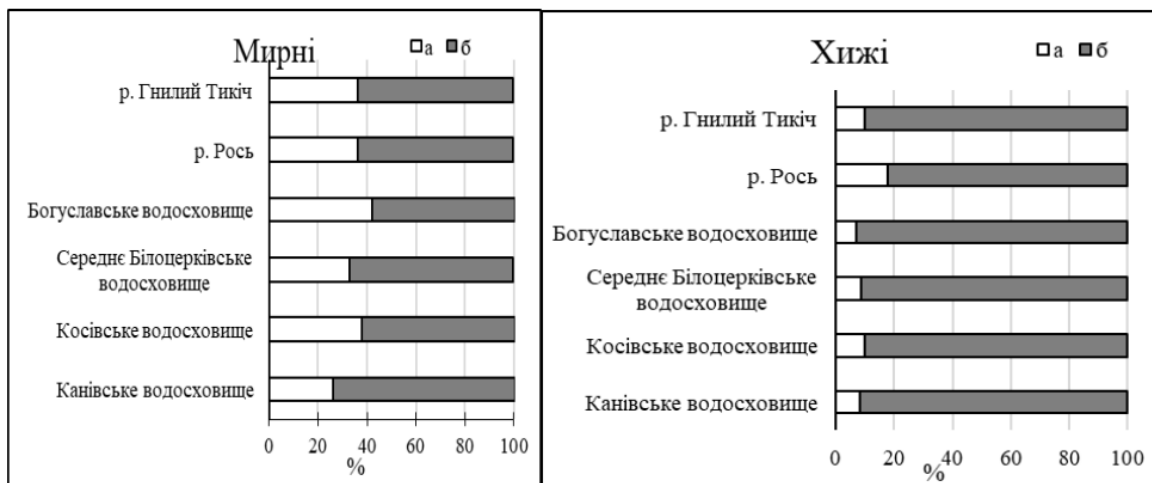


Рис. 3. Внесок ^{90}Sr (а) та ^{137}Cs (б) до сумарної активності риб водойм Лисостепу, 2021 р.

Референсні величини питомої активності радіонуклідів для представників промислової іхтіофауни кожної водойми визначали як середні за сукупністю даних щодо вмісту ^{90}Sr або ^{137}Cs в організмі усіх досліджених видів риб певного типу живлення. Оскільки у багатьох випадках коефіцієнт варіації питомої активності радіонукліда у певний трофічний групі риб був близьким до 50 %, ми дійшли висновку про необхідність визначення скринінгових величин питомої активності радіонуклідів у риб зазначених екологічних груп, тобто таких, які безперечно будуть свідчити про додаткове надходження радіонуклідів до екосистеми.

Отже, згідно з виконаними розрахунками, у якості референсної на 2021 р. величини питомої активності ^{90}Sr в організмі мирних риб досліджених водойм Лисостепу можна вважати 1,0, скринінгової – 3,0, хижих риб – 0,5 та 2,0 Бк/кг, відповідно. Референсна на 2021 р. величина питомої активності ^{137}Cs в організмі мирних риб Канівського водосховища становить 3,2, скринінгова – 10,0, Косівського, Середнього Білоцерківського, Богуславського водосховищ та річок Рось і Гнилий Тікич – відповідно, 2,0 та 6,0 Бк/кг; хижих риб Канівського водосховища – відповідно, 12 та 36, Косівського, Середнього Білоцерківського, Богуславського водосховищ та річок Рось і Гнилий Тікич – відповідно, 3,0 та 10,0 Бк/кг.

Висновки. У 2021 р. середня питома активність ^{90}Sr у риб різних видів Канівського водосховища зареєстрована у діапазоні величин від 0,6 до 1,3, ^{137}Cs – від 2,4 до 13,2 Бк/кг. Середня питома активність ^{90}Sr у риб різних видів Косівського водосховища зареєстрована у діапазоні величин від 0,1 до 0,5, ^{137}Cs – від 0,2 до 2,1 Бк/кг, Середнього Білоцерківського – відповідно, від 0,2 до 0,8 та від 0,8 до 4,0, Богуславського – від 0,1 до 0,5 та від 0,5 (лящ) до 3,1 Бк/кг. Середній вміст ^{90}Sr та ^{137}Cs в організмі риб, які були виловлені на незарегульованих ділянках річок Рось та Гнилий Тікич, становив 0,1–0,5 та 0,5–2,0 Бк/кг, відповідно.

Питома активність ^{90}Sr у мирних та хижих риб більшості досліджених водойм статистично не відрізнялася. Відзначена тенденція до формування більших рівнів накопичення радіонукліда мирними видами. Водночас величини питомої активності ^{137}Cs хижих видів риб перевищували відповідні значення, що були зареєстровані у мирних.

Рівні радіонуклідного забруднення риб усіх досліджених водойм, крім Канівського водосховища, статистично не відрізнялися. Підвищений, порівняно з іншими водоймами Лісостепу, вміст радіонуклідів у риб Канівського водосховища обумовлений постійним надходженням радіонуклідів з екосистеми Київського водосховища через греблю Київської ГЕС.

Сумарна активність мирних риб водойм Лісостепу була сформована на 58–74 % ^{137}Cs , хижих видів – на 82–93 %.

Для мирних риб досліджених водойм Лісостепу величина референсної активності ^{90}Sr становить 1,0, скринінгової – 3,0, хижих риб – 0,5 та 2,0 Бк/кг, відповідно. Референсна на 2021 р. величина питомої активності ^{137}Cs в організмі мирних риб Канівського водосховища становить 3,2, скринінгова – 10,0, Косівського, Середнього Білоцерківського, Богуславського водосховищ та річок Рось і Гнилий Тікич – відповідно, 2,0 та 6,0 Бк/кг; хижих риб Канівського водосховища – відповідно, 12 та 36, Косівського, Середнього Білоцерківського, Богуславського водосховищ та річок Рось і Гнилий Тікич – відповідно, 3,0 та 10,0 Бк/кг.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 25 років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього: Нац. доповідь України. Київ: КІМ, 2011. 356 с.
2. Антоненко Т. М. Радіоекологічне дослідження накопичення, розподілу та міграції цезію-137 у водоймах степової зони України: автореф. дис. ... канд. біол. наук. Севастополь, 1978. 28 с.
3. Афанасьєв С. О. Вплив війни на гідроекосистеми України: підсумки першого року повномасштабного вторгнення росії (огляд). Гідробіол. журн. 2023. Т. 59. № 2. С. 3–19.

4. Вінцукевич Н. В., Томілін Ю. О. Розподіл радіонуклідів у водній екосистемі (ставок-охолоджувач АЕС — річка — морський лиман). Екологія. 1987. № 6. С. 71–74.
5. Волкова О. М. Накопичення радіонуклідів промисловими видами риб Дніпровських водосховищ: автореф. дис. ... канд. біол. наук. Київ: Ін-т проблем онкології ім. Р.Е. Кавецького АН УРСР, 1990. 16 с.

6. Волкова О. М., Беляєв В. В., Зарубін О. Л., Гудков Д. І. Параметри зниження удельної активності ^{137}Cs у гідробіонтів, які мешкають у водоймах різного типу. Радіаційна біологія. Радіоекологія. 2009. Т. 49. № 2. С. 207–211.
7. Волкова О. М., Беляєв В. В., Пришляк С. П., Гудков Д. І., Кагрян О. Є., Скиба В. В. Техногенні радіонукліди у гідробіонтах водойм півночі України. Гідробіол. журн. 2023. Т. 59. № 6. С. 100–119.

8. Волкова О. М. Техногенні радіонукліди у гідробіонтах водойм різного типу: автореф. дис. ... д-р біол. наук. Київ, 2008. 34 с.
9. Сучасний радіоекологічний стан Дніпровського водосховища / А. І. Дворецький та ін. VI з'їзд Радіобіологічного Товариства України: тези доповідей. 5-9 жовтня 2015 р., м. Київ. К., 2015. С. 45–46.

10. Державні гігієнічні нормативи. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді. (ДР-2006). Київ, 2006. 13 с.
11. Питома активність ^{137}Cs у риб України. Сучасний стан / О. Л. Зарубін та ін. Ядерна фізика та енергетика. 2013. Т. 14. № 2. С. 177–182.

12. Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах / М. І. Кузьменко та ін. Київ: Наук. думка, 2010. 262 с.
13. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В. Д. Романенка. НАН України. Ін-т гідробіології. Київ: ЛОГОС, 2006. 408 с.

14. Павлюченко В. В., Хомутишин Ю. В., Кашпаров В. А., Кузьменко О. В. Прогноз динаміки та ризику перевищення допустимого вмісту ^{137}Cs та ^{90}Sr у рибі Київського водосховища на пізній стадії Чорнобильської аварії. Радіаційна біологія. Радіоекологія. 2013. Т. 53. № 4. С. 411–427. DOI:10.7868/S0869803113040103
15. Публічний звіт про результати діяльності Держводагенства у 2022 році. URL: [https:// www.davr.gov.ua/fls18/Zvit_2022.pdf](https://www.davr.gov.ua/fls18/Zvit_2022.pdf)

16. Радіонукліди у водних екосистемах України / М. І. Кузьменко та ін. К.: Чорнобиль інтерінформ, 2001. 318 с.
17. Радіоактивне та хімічне забруднення Дніпра та його водосховищ після аварії на Чорнобильській АЕС / В. Д. Романенко та ін. Київ: 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. Скиба В. В. Оцінка міграції ^{137}Cs і ^{90}Sr у водних екосистемах рибоводних ставків на радіоактивно забруднених територіях лісостепу. Житомирський національний агроекологічний університет. 2010. С. 15–21.

20. Урядовий кур'єр, 2 липня 2022. URL: <https://ukurier.gov.ua/uk/articles/dnipro-nash-rubizh-i-rubikon/>.

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

22. Freshwater as a sustainable resource and generator of secondary resources in the 21st century: Stressors, threats, risks, management and protection strategies, and conservation approaches / D. Bănăduc et al. Int. J. Environ. Res. Publ. Health. 2022. Vol. 19. DOI:10.3390/ijerph192416570.

23. Belyayev V. V., Volkova Y. N., Skiba V. V. Determination of the rate of ^{90}Sr and ^{137}Cs influx into the organism of freshwater fishes. Hydrobiological Journal. 2011. 47. 6. P. 112–20.

24. Modelling of the fate of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the Chernobyl nuclear power plant cooling pond before and after the water level drawdown / R. Bezhenar et al. Water. 2023. Vol. 15. No 8. 1504 p.

25. Cooley J. K. The War over Water. Foreign Policy. 1984. Vol. 54. P. 3–26. DOI:10.2307/1148352.

26. Francis R. A. The Impacts of Modern Warfare on Freshwater Ecosystems. Environ. Manag. 2011. Vol. 48. P. 985–999.

27. The main radionuclides and dose formation in fish of the Chernobyl NPP exclusion zone / D.I. Gudkov et al. Radiatsionnaia biologiya, radioecologiya. 2008. Vol. 48. No 1. P. 48–58.

28. Dynamics of the content and distribution of the main dose forming radionuclides in fishes of the exclusion zone of the Chernobyl NPS. Hydrobiol / D.I. Gudkov et al. J. 2008. Vol. 44. No 5. P. 87–104.

29. Fish of the Chernobyl exclusion zone: Modern levels of radionuclide contamination and radiation doses / A.Ye. Kaglyan et al. Ibid. 2019. Vol. 55. No 5. P. 86–104.

30. Dynamics of specific activity of ^{90}Sr and ^{137}Cs in representatives of ichthyofauna of Chernobyl exclusion zone / A.Ye. Kaglyan et al. Nuclear Physics and Atomic Energy. 2021. Vol. 22. No 1. P. 62–73.

31. Changes in radiation exposure rate of fish of the cooling pond of the Chernobyl NPS and Lake Azbuchyn after water level lowering / O.Ye. Kaglyan et al. Hydrobiol. J. 2023. Vol. 59. No 2. P. 96–109.

32. Hydroecological lessons of the disaster at the Chernobyl nuclear power plant. Hydrobiol / V.D. Romanenko et al. J. 2006. Vol. 42. No 6. P. 3–34.

33. Romanenko V. D., Gudkov D. I., Volkova Ye. N., Kuzmenko M. I. Radioecological problems of aquatic ecosystems: 25 years after the accident at the Chernobyl nuclear power station. Ibid. 2011. Vol. 47. No 4. P. 3–23.

34. Shevchuk S. A., Vyshnevskiy V. I., Bilous O. P. The use of remote sensing data for investigation of environmental consequences of Russia-Ukraine war. J. Landscape Ecology. 2022. Vol. 15. No 3. P. 36–53.

35. Impact of the Russia-Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure / O. Shumilova et al. Nature Sustainability. 2023. DOI:10.1038/s41893-023-01068-x

36. The Environmental Impact of the Conflict in Ukraine. A Preliminary Review / United Nations Environment Program. Job number: EO/2466/NA 2022. 45 p. URL: https://we-ocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/40746/environmental_impact_Ukraine_conflict.pdf?sequence=3&isAllowed=y

37. Volkova O., Belyaev V., Pryshlyak S., Skyba V. Parameters of ^{137}Cs specific activity changes in the fish from the Kiev water reservoir: international conference on radiation in various fields of research (rad 2021) 14–18.06.2021. DOI:10.21175/rad.abstr.book.2021.34.2

38. Yeganeh Y., Bakhshandeh E. Iran's Model of Water Diplomacy to Promote Cooperation and Prevent Conflict Over Transboundary Rivers in Southwest Asia. World Affairs. 2022. Vol. 185. No 2. P. 331–358.

39. Dynamics of ^{137}Cs distribution over the organs and tissues of fishes of various ecological groups in the cooling pond of the Chernobyl nuclear power station / O. L. Zarubin et al. Hydrobiol. J. 2012. Vol. 48. No 3. P. 99–105.

40. Technogenic radionuclides in freshwater fishes of Ukraine after the accident at the Chernobyl nuclear power plant / O. L. Zarubin et al. Nuclear Physics and Atomic Energy. 2011. Vol. 12, N 2. P. 192–197.

41. Dynamics of ^{137}Cs specific activity in fishes differing in the type of their nutrition in the cooling pond of the Chernobyl NPS (1986–2013) / O. L. Zarubin et al. Ibid. 2014. Vol. 50. No 3. P. 95–106.

REFERENCES

1. 25 років Чорнобильської катастрофи [25 years of the Chernobyl disaster]. Bezpeka maibut'nogo: Nats. dopovid' Ukrainy. [Safety of the future: National report of Ukraine]. Kyiv: KIM, 2011, 356 p.

2. Antonenko, T. M. (1978). Radioekologichne doslidzhennya nakopychennya, rozpodilu ta migratsiyi tsesiyu-137 u vodoymakh stepovoyi zony Ukrainy: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. [Radioecological study of accumulation, distribution, and migration of cesium-137 in water bodies of the steppe zone of Ukraine: author's abstract of the thesis of the Candidate of Biological Sciences] Іо Sevastopol, 28 p.

3. Afanasyev, S. O. (2023). Vplyv viyny na hidroekosystemy Ukrainy: pidsumki pershoho roku povnomashtabnoho vtorgnennya Rosiyi (ohlyad) [The impact of war on hydroecosystems of Ukraine: results of the first year of full-scale Russian invasion (review)]. Hydrobiological Journal, Vol. 59, no. 2, pp. 3–19.

4. Vintsukevych, N. V., Tomilin, Yu. O. (1987). Rozpodil radionuklidiv u vodnii ekosystemi (stavok-okholodzhuvach AES — richka — morskyy lyman) [Distribution of radionuclides in the aquatic ecosystem (reservoir-cooler of NPP - river - marine estuary)]. Ekolohiya [Ecology], no. 6, pp. 71–74.

5. Volkova, O. M. (1990). Nakopychennya radionuklidiv promyslovykh vydamy ryb Dniprovskykh vodoshkovyshch: avtoref. dys. ... kand. biol. nauk [Accumulation of radionuclides by industrial species of fish in the Dnieper reservoirs: author's abstract of the thesis of the Candidate of Biological Sciences]. Kyiv: Institute of Problems of Oncology named after RE. Kavetsky Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 16 p.
6. Volkova, O. M., Belyaev, V. V., Zarubin, O. L., Gudkov, D. I. (2009). Parametry znyzhennya udelnoyi aktyvnosti ^{137}Cs u hidrobiontiv, yaki meshkayut u vodoymakh riznoho typu [Parameters of reduction of specific activity of ^{137}Cs in hydrobionts inhabiting water bodies of different types]. Radiatsiyina biolohiya [Radiation Biology]. Radioekolohiya [Radioecology], Vol. 49, no. 2, pp. 207–211.
7. Volkova, O. M., Belyaev, V. V., Pryshlyak, S. P., Gudkov, D. I., Kaglyan, O. Ye., Skyba, V. V. (2023). Tekhnohenni radionuklidy u hidrobiontakh vodoym pivnichy Ukrainy [Technogenic radionuclides in hydrobionts of water bodies in northern Ukraine]. Hidrobiol. Zhurn. [Hydrobiological Journal], Vol. 59, no. 6, pp. 100–119.
8. Volkova, O. M. (2008). Tekhnohenni radionuklidy u hidrobiontakh vodoym riznoho typu: Avtoref. dys. ... dokt. biol. nauk [Technogenic radionuclides in hydrobionts of water bodies of different types: author's abstract. ... doctoral thesis in biological sciences]. Kyiv, 34 p.
9. Dvoretzkyi, A. I., Bilokon, H. S., Marenkov, O. M. (2015). Suchasnyy radioekologichnyy stan Dniprovskoho vodoshkovyshcha: VI z' izd Radiobiologichnoho Tovarystva Ukrainy: tezy dopovidey [Current radioecological state of the Dnieper Reservoir: VI Congress of the Radiobiological Society of Ukraine: abstracts of reports October 5-9, 2015]. Kyiv, pp. 45–46.
10. Derzhavni hihiyenichni normatyvy [State hygiene standards]. Dopustymy rivni vmistu radionuklidiv ^{137}Cs i ^{90}Sr u produktakh kharchuvannya ta pitnyi vodi (DR-2006) [Permissible levels of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in food products and drinking water (DR-2006)]. Kyiv, 2006, 13 p.
11. Zarubin, O. L., Zarubina, N. Ye., Gudkov, D. I. (2013). Udelna aktyvnist ^{137}Cs u ryb Ukrainy [Specific activity of ^{137}Cs in fish of Ukraine]. Suchasnyy stan [Current state]. Yaderna fizyka ta enerhetyka [Nuclear Physics and Energy]. Vol. 14, no. 2, pp. 177–182.
12. Kuzmenko, M. I., Gudkov, D. I., Kiriiiev, S. I. (2010). Tekhnohenni radionuklidy u presnovodnykh ekosystemakh [Technogenic radionuclides in freshwater ecosystems]. Kyiv: Scientific opinion, 262 p.
13. Metody hidroekologichnykh doslidzhen povierkhnelykh vod, ed. by V. D. Romanenko. NAN Ukrainy [Methods of hydroecological studies of surface waters, ed. by V. D. Romanenko. NAS of Ukraine]. Instytut hidrobiologii [Institute of Hydrobiology]. Kyiv: LOGOS, 2006, 408 p.
14. Pavlyuchenko, V. V., Khomutinin, Yu. V., Kashparov, V. A., Kuzmenko, O. V. (2013). Prohnoz dynamiky ta ryzyku perevyshennya dopustymoho vmistu ^{137}Cs ta ^{90}Sr u rybi Kyivskoho vodoshkovyshcha na poznyi stadiyi Chornobylskoyi avari [Forecast of dynamics and risk of exceeding permissible levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr in fish of the Kyiv Reservoir at the late stage of the Chornobyl accident]. Radiatsiyina biolohiya [Radiation Biology]. Radioekolohiya [Radioecology]. Vol. 53, no. 4, pp. 411–427. DOI:10.7868/S0869803113040103
15. Publichnyy zvit pro rezultaty diyalnosti Derzhvodahentstva u 2022 rotsi [Public report on the results of the State Water Agency's activities in 2022]. Available at: https://www.davr.gov.ua/fls18/Zvit_2022.pdf
16. Kuzmenko, M. I., Romanenko, V. D., Derzets, V. V. (2001). Radionuklidy u vodnykh ekosystemakh Ukrainy [Radionuclides in water ecosystems of Ukraine]. Kyiv: Chernobyl Interinform, 318 p.
17. Romanenko, V. D., Kuzmenko, M. I., Yevtushenko, N. Yu. (1992). Radioaktyvne ta khimichne zabrudnennya Dnipra ta yoho vodoshkovyshch pislia avarii na Chornobylskii AES [Radioactive and chemical pollution of the Dnieper and its reservoirs after the Chernobyl NPP accident]. Kyiv: Scientific opinion, 194 p.
18. Skyba, V. V., Prysiaynuk, N. M., Volkova, O. M., Belyaev, V. V., Pryshlyak, S. P. (2021). Bahatorichna dynamika formuvannya radionuklidnoho zabrudnennia promyslovoi ikhtiofauny Kanivskoho vodoshkovyshcha [Multi-year dynamics of formation of radionuclide contamination of industrial ichthyofauna of the Kaniv Reservoir]. Zbirnyk naukovykh prats "Tekhnolohiya vyrobnytstva i pererobky produktiv tvarynnystva" [Collection of scientific papers "Technology of production and processing of livestock products"]. no. 1, pp. 108–115.
19. Skyba, V. V. (2010). Ocinka migratsii ^{137}Cs i ^{90}Sr u vodnykh ekosystemah rybovodnykh stavkiv na radioaktyvno zabrudnennykh terytoriyah lisostepu [Evaluation of the migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in aquatic ecosystems of fish ponds in radioactively contaminated areas of the forest-steppe]. Zhytomyr's'kyj nacional'nyy agroekologichnyy universytet [Zhytomyr National Agroecological University]. pp. 15–21.
20. Government Courier July 2, 2022. Available at: <https://ukurier.gov.ua/uk/articles/dnipro-nash-rubizh-i-rubikon/>
21. Homutinin, Ju. V. (2014). Ocinka radioekologichnoi bezpeky prysnovodnykh vodojm Ukrainy piznij stadii avarii na ChAES [Evaluation of the radioecological safety of freshwater bodies of Ukraine in the late stage of the accident at the Chernobyl nuclear power plant]. Jaderna fizyka ta enerhetyka [Nuclear physics and energy]. 15, no. 4, pp. 389–401.
22. Bănăduc, D., Simiă, V., Cianfaglione, K. (2022). Freshwater as a sustainable resource and generator of secondary resources in the 21st century: Stressors, threats, risks, management and protection strategies, and conservation approaches. Int. J. Environ. Res. Publ. Health., Vol. 19. DOI: 10.3390/ijerph192416570.
23. Belyayev, V. V., Volkova, Y. N., Skiba, V. V. (2011). Determination of the rate of ^{90}Sr and ^{137}Cs influx into the organism of freshwater fishes. Hydrobiological Journal, 47, 6, pp. 112–120.
24. Bezhenar, R., Zheleznyak, M., Kanivets, V. (2023). Modelling of the fate of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the

Chornobyl nuclear power plant cooling pond before and after the water level drawdown. *Water*. Vol. 15, no. 8, 1504 p.

25. Cooley, J. K. (1984). The War over Water. *Foreign Policy*. Vol. 54, pp. 3–26. DOI:10.2307/1148352.

26. Francis, R. A. (2011). The Impacts of Modern Warfare on Freshwater Ecosystems. *Environ. Manag.* Vol. 48, pp. 985–999.

27. Gudkov, D. I., Kaglyan, A. E., Kireev, S. I. (2008). The main radionuclides and dose formation in fish of the Chernobyl NPP exclusion zone. *Radiatsionnaia biologiiia, radioecologiiia*. Vol. 48, no. 1, pp. 48–58.

28. Gudkov, D. I., Kaglyan, A. Ye., Nazarov, A. B. (2008). Dynamics of the content and distribution of the main dose forming radionuclides in fishes of the exclusion zone of the Chernobyl NPS. *Hydrobiol. J.*, Vol. 44, no. 5, pp. 87–104.

29. Kaglyan, A. Ye., Gudkov, D. I., Kireyev, S. I. (2019). Fish of the Chernobyl exclusion zone: Modern levels of radionuclide contamination and radiation doses. *Ibid.* Vol. 55, no. 5, pp. 86–104.

30. Kaglyan, A. Ye., Gudkov, D. I., Kireev, S. I. (2021). Dynamics of specific activity of ^{90}Sr and ^{137}Cs in representatives of ichthyofauna of Chornobyl exclusion zone. *Nuclear Physics and Atomic Energy*. Vol. 22, no. 1, pp. 62–73.

31. Kaglyan, O. Ye., Gudkov, D. I., Belyaev, V. V. (2023). Changes in radiation exposure rate of fish of the cooling pond of the Chornobyl NPS and Lake Azburchyn after water level lowering. *Hydrobiol. J.*, Vol. 59, no. 2, pp. 96–109.

32. Romanenko, V. D., Gudkov, D. I., Klenus, V. G. (2006). Hydroecological lessons of the disaster at the Chernobyl nuclear power plant. *Hydrobiol. J.*, Vol. 42, no. 6, pp. 3–34.

33. Romanenko, V. D., Gudkov, D. I., Volkova, Ye. N., Kuzmenko, M. I. (2011). Radioecological problems of aquatic ecosystems: 25 years after the accident at the Chernobyl nuclear powerstation. *Ibid.* Vol. 47, no. 4, pp. 3–23.

34. Shevchuk, S. A., Vyshnevskiy, V. I., Bilous, O. P. (2022). The use of remote sensing data for investigation of environmental consequences of Russia-Ukraine war. *J. Landscape Ecology*, Vol. 15, no. 3, pp. 36–53.

35. Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A. (2023). Impact of the Russia-Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*. DOI:10.1038/s41893-023-01068-x

36. The Environmental Impact of the Conflict in Ukraine. A Preliminary Review /United Nations Environment Program. Job number: EO/2466/NA. 2022, 45 p. Available at: https://we-ocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/40746/environmental_impact_Ukraine_conflict.pdf?sequence=3&isAllowed=y

37. Volkova, O., Belyaev, V., Pryshlyak, S., Skyba, V. (2021). Parameters of ^{137}Cs specific activity changes in the fish from the Kiev water reservoir: international conference on radiation in various fields of research (rad 2021) 14–18.06.2021. DOI:10.21175/rad.abstr.book.2021.34.2

38. Yeganeh, Y., Bakhshandeh, E. (2022). Iran's Model of Water Diplomacy to Promote Coopera-

tion and Prevent Conflict Over Transboundary Rivers in Southwest Asia. *World Affairs*. Vol. 185, no. 2, pp. 331–358.

39. Zarubin, O. L., Kostyuk, V. A., Zalisskiy, A. A. (2012). Dynamics of ^{137}Cs distribution over the organs and tissues of fishes of various ecological groups in the cooling pond of the Chernobyl nuclear power station. *Hydrobiol. J.*, Vol. 48, no. 3, pp. 99–105.

40. Zarubin, O. L., Laktionov, V. A., Moshna, B. O. (2011). Technogenic radionuclides in freshwater fishes of Ukraine after the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *Nuclear Physics and Atomic Energy*. Vol. 12, no. 2, pp. 192–197.

41. Zarubin, O. L., Zarubina, N. Ye., Zalisskiy, A. A. (2014). Dynamics of ^{137}Cs specific activity in fishes differing in the type of their nutrition in the cooling pond of the Chernobyl NPS (1986–2013). *Ibid.* Vol. 50, no. 3, pp. 95–106.

Radioecological monitoring of ^{90}Sr and ^{137}Cs accumulation in fish organisms in certain water bodies of the forest-steppe zone of Ukraine

Skyba V.

The study aims to determine the radionuclide contamination formation patterns in ichthyofauna representatives of some Forest Steppe of Ukraine water bodies and to establish reference values for the specific activity of ^{90}Sr and ^{137}Cs in the fish body as of 2021.

To determine the radionuclide pollution levels in the industrial ichthyofauna representatives in the water areas of the Kaniv Reservoir, the Kosivskiy, the Bila Tserkva Middle, and the Bohuslav Reservoirs on the Ros River and in the unregulated sections of the Ros River (above the city of Bila Tserkva) and Hnylyi Tikych (the village of Stavyshe) as of 2021, the following fish species were selected: red snapper - *Rutilus rutilus* L., flatfish - *Blissa bjoerkna* L., common bream - *Abramis brama* L., silver crucian carp - *Carassius gibelio* (Bloch), bream - *Alburnus alburnus* L.; pike - *Esox lucius* L. (peaceful species); pike perch - *Stizostedion lucioperca* L.; European-Asian river perch - *Perca fluviatilis fluviatilis* L. (predatory species).

The specific activity of ^{90}Sr and ^{137}Cs was determined in the entire fish body by generally accepted radiochemical and gamma spectrometric methods.

In 2021, the registered average specific activity of ^{90}Sr in fish of various species of the Kaniv Reservoir ranged from 0.6 to 1.3; ^{137}Cs - from 2.4 to 13.2 Bq/kg. The average specific activity of ^{90}Sr in fish of different species of the Kosiv Reservoir ranged from 0.1 to 0.5, that of ^{137}Cs - from 0.2 to 2.1 Bq/kg, Bila Tserkva Middle ranged, respectively, from 0.2 to 0.8 and from 0.8 to 4.0, Bohuslav - from 0.1 to 0.5 and from 0.5 (bream) to 3.1 Bq/kg. The average content of ^{90}Sr and ^{137}Cs in the body of fish fished in unregulated sections of the Ros and Hnylyi Tikych rivers was 0.1–0.5 and 0.5–2.0 Bq/kg, respectively.

The specific activity of ^{90}Sr in peaceful and predatory fish of most of the studied reservoirs probably did not differ, and we can note only the tendency to the formation of higher levels of accumulation of the

radionuclide by peaceful species. However, the values of the specific activity of ^{137}Cs of predatory species exceeded the corresponding values that were registered in peaceful fish.

The levels of fish radionuclide contamination in all the studied reservoirs, except for the Kaniv Reservoir, did not differ reliably. The increased content of radionuclides in the Kaniv Reservoir fish compared to other reservoirs of the Forest Steppe can be explained by the constant influx of radionuclides from the ecosystem of the Kyiv Reservoir through the Kyiv HPP dam.

During the research period, 58–74% of the total activity of peaceful fish in forest-steppe reservoirs was formed by ^{137}Cs , that of predatory species made 82–93%.

The research results made it possible to determine reference and screening values in the specif-

ic activity of radionuclides in the fish of the forest-steppe reservoirs as of 2021. For peaceful fish, the value of the reference ^{90}Sr activity in the studied reservoirs of the Forest Steppe is 1.0, the screening activity - 3.0, predatory fish - 0.5 and 2.0 Bq/kg, respectively. For 2021, the reference value of the specific activity of ^{137}Cs in the body of peaceful fish of the Kaniv Reservoir makes 3.2, the screening value - 10.0, the Kosiv, Bila Tserkva Middle, Bohuslav reservoirs, the Ros and Hnylii Tikych rivers are 2.0 and 6.0 Bq/kg, respectively; that of predatory fish of the Kaniv Reservoir - 12 and 36, respectively, Kosiv, Bila Tserkva Middle, Bohuslav Reservoirs, the Ros and Hnylii Tikych rivers - 3.0 and 10.0 Bq/kg, respectively.

Key words: water bodies of the Forest Steppe, fish, radionuclides.



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



ORCID iD:

Скиба В.В.

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