

2. ЕКОЛОГІЯ

УДК 574.502.3/7.504

DOI <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2025.1.7>

ЗАКОНОМІРНОСТІ НАКОПИЧЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У РІЗНОВІКОВИХ ОСОБИН ПЛІТКИ ДНІПРОВСЬКОГО (ЗАПОРІЗЬКОГО) ВОДОСХОВИЩА

Ананьєва Таміла Володимирівна,

кандидатка біологічних наук, доцентка

Дніпровського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0000-0001-8798-6834

Scopus Author ID: 7003366001

Web of Science Researcher ID: X-9858-2018

Шарамок Тетяна Сергіївна,

кандидатка сільськогосподарських наук, доцентка

Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

ORCID ID: 0000-0003-3523-5283

Scopus Author ID: 57200548053

Web of Science Researcher ID: U-9232-2017

Визначали рівні вмісту і закономірності накопичення радіонуклідів у молоді (0+, 1+, 2+) та статевозрілих (3–4+) особин плітки звичайної (*Rutilus rutilus* L.), яка є поширеним об'єктом рибного промислу в Дніпровському водосховищі та може слугувати індикаторним видом. Вміст штучних (^{137}Cs , ^{90}Sr) і природних радіонуклідів (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) визначали на сцинтиляційному спектрометрі γ -випромінювання СЕГ-001 «АКП-С» та спектрометрі β -випромінювання СЕБ-01-150 (Україна) та виражали як питому радіоактивність у Бк/кг природної сиров'язи. Встановлено, що в нижній частині Дніпровського водосховища у молоді плітки рівні ^{137}Cs і ^{90}Sr рівномірно збільшувалися з віком на 39% і 85% відповідно; серед природних радіоізоотопів рівень ^{226}Ra зменшувався на 32,5%, а вміст ^{232}Th збільшувався на 42% у трьохліток (2+) плітки порівняно з цюголітками (0+). У Самарській затоці рівні ^{137}Cs і ^{90}Sr у трьохліток плітки збільшувалися з віком рівномірно і перевищували у 1,85 і 2,55 рази вміст відповідних радіонуклідів у цюголіток, коливання вмісту природних радіонуклідів у молоді плітки складали 12–26%, за винятком ^{232}Th , вміст якого у двохліток плітки збільшувався на 69%. За убуванням середнього значення коефіцієнтів накопичення у біологічних тканинах молоді плітки з нижньої частини Дніпровського водосховища природні і штучні радіонукліди можна розташувати у вигляді послідовного ряду: $^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th} > ^{90}\text{Sr} > ^{226}\text{Ra} > ^{40}\text{K}$. В Самарській затоці значення коефіцієнта накопичення ^{232}Th у тканинах молоді (0+ і 2+) плітки суттєво збільшувалося і ранговий ряд за здатністю радіоізоотопів до біоаккумуляції мав вигляд: $^{232}\text{Th} > ^{137}\text{Cs} > ^{90}\text{Sr} > ^{226}\text{Ra} > ^{40}\text{K}$. У статевозрілих особин плітки, вилученої з різних частин Дніпровського водосховища, за зменшенням значень коефіцієнту накопичення радіонуклідів у тканинах і органах можна побудувати наступний ранговий ряд: $^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th} > ^{226}\text{Ra} > ^{90}\text{Sr} > ^{40}\text{K}$. Збільшення рівнів штучних радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у статевозрілих особин порівняно з цюголітками складало відповідно 44,2 і 29,1% в нижній частині водосховища, тоді як у Самарській затоці накопичення обох радіонуклідів мало насичений характер, а їх вміст зростав у 1,8 раз. За значеннями питомої активності радіоізоотопів природного походження ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K у біологічних тканинах молоді і статевозрілих особин плітки не було виявлено їх значного накопичення зі збільшенням віку риби, різноспрямовані коливання їх вмісту складали від 10 до 40%.

Ключові слова: штучні радіонукліди, природна радіоактивність, плітка, молодь риб, Дніпровське водосховище.

Ananieva Tamila, Sharamok Tetiana. Patterns of radionuclides accumulation in various age individuals of roach in the Dnipro (Zaporizhzhya) Reservoir

It had been determined the content levels and patterns of radionuclide accumulation in juvenile (0+, 1+, 2+) and sexually mature (3–4+) individuals of roach (*Rutilus rutilus* L.), which is an object of fishing and can serve as an indicator species in the Dnipro Reservoir. The contents of artificial (^{137}Cs , ^{90}Sr) and natural radionuclides (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) were determined on a scintillation spectrometer γ -radiation SEG-001 "AKP-S" and a β -radiation spectrometer SEB-01-150 (Ukraine) and expressed as specific radioactivity in Bq/kg of natural wet weight. It was established that in the lower part of the Dnipro Reservoir in juvenile roach the levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr uniformly increased with age by 39% and 85%, respectively; among natural radioisotopes, the level of ^{226}Ra decreased by 32.5%, and the content of ^{232}Th increased by 42% in three-year-old (2+) roach compared to this year's (0+) one. In the Samara Bay, the levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr in three-year-old roach increased uniformly with age and exceeded the content of the corresponding radionuclides in this year's roach by 1.85 and 2.55 times, respectively. The fluctuations in the content of natural radionuclides in young roach were 12–26%, with the exception of ^{232}Th , the content of which in two-year-old roach increased by 69%. In descending order of the average value of the accumulation coefficients in biological tissues of young roach from the lower part of the Dnipro reservoir, natural and artificial radionuclides can be arranged in the form of a sequential series: $^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th} > ^{90}\text{Sr} > ^{226}\text{Ra} > ^{40}\text{K}$. In the Samara Bay, the value of the accumulation coefficient of ^{232}Th in the tissues of juvenile (0+ and 2+) roach increased significantly and the rank order according to the ability of radioisotopes to bioaccumulation was as follows: $^{232}\text{Th} > ^{137}\text{Cs} > ^{90}\text{Sr} > ^{226}\text{Ra} > ^{40}\text{K}$. In sexually mature individuals of bream taken from different parts of the Dnipro Reservoir, the following rank order can be constructed based on the decreasing values

of the accumulation coefficient of radionuclides in tissues and organs: $^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th} > ^{226}\text{Ra} > ^{90}\text{Sr} > ^{40}\text{K}$. The increase in the levels of artificial radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in sexually mature individuals compared to this year's individuals was 44.2% and 29.1%, respectively, in the lower part of the reservoir, while in the Samara Bay the accumulation of both radionuclides was saturated, and their content increased by 1.8 times. According to the values of the specific activity of natural radioisotopes ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K in the biological tissues of juvenile and sexually mature individuals of the roach, their significant accumulation with increasing age of the fish was not detected, and the multidirectional fluctuations of their content were from 10% to 40%.

Key words: artificial radionuclides, natural radioactivity, roach, juvenile fish, Dnipro Reservoir.

Вступ. Збільшення інтенсивності радіаційного фону, що супроводжує поширення ядерної енергетики і технологічних процесів первинного ядерно-паливного циклу, поряд зі зростанням загрози радіаційних аварій в сучасних умовах військових дій, вимагають всебічного дослідження закономірностей поведінки у навколишньому середовищі радіонуклідів і дії іонізуючих випромінювань на живі організми [1–4].

Дніпро та його притоки були забруднені радіонуклідами внаслідок аварії на ЧАЕС у 1986 році. Штучні радіонукліди представляють собою велику небезпеку для природних вод, оскільки вони навіть в незначних концентраціях впливають на водні організми, зокрема на рибу [5; 6]. Інтерес до проблем водної радіоекології визначається низкою причин. По-перше, у водойми надходять радіонукліди в результаті випадання з атмосфери, рідкого і твердого стоку з суші [7; 8]. По-друге, специфічні фізико-хімічні властивості водного середовища забезпечують винятково високе накопичення деяких радіонуклідів водною біотою і в цілому акумуляція радіоактивних речовин живою речовиною у водних екосистемах відносно середовища значно вища, ніж на суші [9]. По-третє, деякі види організмів у водному середовищі характеризуються достатньо високою радіочутливістю і можуть слугувати індикаторами радіоактивного забруднення [10; 11]. По-четверте, водне середовище є важливим джерелом харчових ресурсів людини, постачальником білків та інших цінних поживних речовин для людини [3; 4]. В умовах ризику радіоактивного забруднення водойм важливо вивчати специфічну поведінку та міграцію радіонуклідів у компонентах гідроєкосистем, акумуляцію в тканинах живого організму, особливо риби, яка є джерелом харчування людини [12].

Тому метою проведених досліджень стало визначення рівнів вмісту і закономірностей накопичення радіонуклідів у молоді та статевозрілих особин плітки звичайної (*Rutilus rutilus* L.), яка з одного боку є поши-

реним об'єктом рибного промислу, а з іншого – важливим елементом у біотичній складовій водної екосистеми, що може слугувати індикаторним видом [13].

Матеріал і методи. Збір та обробку іхтіологічних проб проводили класичними іхтіологічними методами на двох ділянках Дніпровського водосховища, які відрізняються за гідрологічним режимом і характеризуються різним ступенем антропогенного навантаження [14–16]. Матеріалом слугували риби – цьоголітки (0+), двохлітки (1+), трьохлітки (2+) та дорослі особини (3–4+), зібрані під час науково-дослідних обловів у весняний та літній період 2023 року.

Лов молоді проводили мальковою волокушею (довжина 1 м, вічко від 4 до 7 мм) в прибережній літоральній зоні на глибині до 1,7 м. Відбір проб здійснювався в період максимальної концентрації молоді – з 9 години ранку до 17 години вечора. Виллов дорослих особин здійснювали стандартним набором ставних сіток з вічком від 30 до 120 мм. Вилучення водних живих ресурсів проводилися згідно діючого законодавства та сучасних вимог і інструкцій до робіт по вивченню іхтіологічних комплексів [10; 17]. Первинну обробку проб риби проводили в лабораторних умовах.

Вміст штучних (^{137}Cs , ^{90}Sr) і природних радіонуклідів (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) визначали на сцинтиляційному спектрометрі γ -випромінювання СЕГ-001 «АКП-С» та спектрометрі β -випромінювання СЕБ-01-150 (Україна). Активність радіонуклідів виражена в Бк/кг природної сирови ваги [18–20].

Коефіцієнт накопичення радіонуклідів в тканинах визначали як відношення концентрації радіонуклідів у пробі (Бк/кг) до концентрації радіонуклідів у воді (Бк/кг). Статистичний аналіз даних проводили за допомогою стандартного пакету програм Microsoft Excel, 2010.

Результати дослідження. В результаті проведених досліджень були визначені рівні вмісту штучних та природних радіонуклідів у тканинах молоді плітки різного віку (табл. 1).

Таблиця 1

Рівні вмісту штучних і природних радіонуклідів у молоді плітки Дніпровського водосховища (М $\pm$ м)

Вік молоді плітки	Рівні вмісту радіонуклідів, Бк/кг сирови ваги				
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Нижня частина Дніпровського водосховища					
0+	5,27 $\pm$ 1,57	2,13 $\pm$ 0,22	39,57 $\pm$ 7,70	42,03 $\pm$ 3,48	96,63 $\pm$ 7,27
1+	5,73 $\pm$ 0,69	3,58 $\pm$ 0,67*	37,43 $\pm$ 0,44	39,80 $\pm$ 1,82	91,85 $\pm$ 1,82
2+	7,33 $\pm$ 0,46*	3,97 $\pm$ 0,49*	30,70 $\pm$ 2,25*	59,87 $\pm$ 8,60*	100,4 $\pm$ 5,63
Самарська затока					
0+	3,63 $\pm$ 1,63	1,57 $\pm$ 0,57	40,48 $\pm$ 0,92	40,62 $\pm$ 1,42	94,52 $\pm$ 2,12
1+	5,88 $\pm$ 0,32*	2,40 $\pm$ 0,51*	30,10 $\pm$ 2,53	49,58 $\pm$ 1,90*	87,60 $\pm$ 8,70
2+	6,65 $\pm$ 1,35*	4,00 $\pm$ 1,00*	41,95 $\pm$ 4,55	68,95 $\pm$ 1,95*	99,60 $\pm$ 3,40

* – достовірні зміни відносно рівнів вмісту радіонуклідів у молоді (0+).

Виявлено, що вміст ^{137}Cs зростав у тканинах різновікової молоді. У трюхліток він збільшився на 39% порівняно з цьоголітками в нижній частині водосховища, а в Самарській затоці виявлено його збільшення на 62% у двохліток та на 85% у трюхліток відносно цьоголіток. Вміст ^{90}Sr у двохліток і трюхліток плітки збільшувався відповідно на 67% і 85% відносно цьоголіток в нижній частині. В Самарській затоці вміст ^{90}Sr у двохліток збільшився на 53%, у трюхліток – у 2,5 рази відносно цьоголіток. Таким чином, простежується інтенсивне накопичення штучних радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у молоді плітки з віком.

Аналіз вмісту природних радіонуклідів у різновікових особин молоді плітки виявив зниження концентрації ^{226}Ra з часом. У трюхліток в нижній частині водосховища зменшення вмісту ^{226}Ra складало 32,5% відносно цьоголіток, проте рівні радіонукліду в тканинах двохліток і цьоголіток статистично не відрізнялися. В Самарській затоці вміст ^{226}Ra у двохліток плітки зменшувався на 26%, у трюхліток повертався до рівня цьоголіток.

Вміст ^{232}Th у трюхліток плітки був збільшений на 42% відносно цьоголіток, у двохліток майже не відрізнявся від вмісту в тканинах цьоголіток у нижній частині. В Самарській затоці вміст ^{232}Th рівномірно збільшувався у тканинах молоді плітки, відповідно на 22% і 69% у двохліток і трюхліток у порівнянні з цього-

літками. Таким чином, можна відмітити повільне накопичення ^{232}Th з часом.

Коливання вмісту ^{40}K складали 3–8% у різновікової молоді плітки на обох досліджуваних ділянках водосховища, що свідчить про рівноважний стан міграції радіоактивного ізотопу і відсутність біоаккумуляції. Також слід відмітити, що кількість ^{40}K у молоді плітки значно перевищує вміст інших, як природних так і штучних радіонуклідів.

За абсолютними показниками вмісту радіонуклідів у молоді плітки можна побудувати послідовний ряд за вибуванням, характерний для обох ділянок Дніпровського водосховища: $^{40}\text{K} > ^{232}\text{Th} > ^{226}\text{Ra} > ^{137}\text{Cs} > ^{90}\text{Sr}$.

Таким чином, у молоді плітки вміст радіонуклідів змінювався на обох ділянках відбору проб з однаковою тенденцією – спостерігалось накопичення ^{137}Cs , ^{90}Sr , та ^{232}Th з віком, проте вміст ^{226}Ra і ^{40}K переважно залишався на сталому рівні. Також можна відмітити незначне переважання абсолютних показників вмісту радіонуклідів у біологічних тканинах молоді плітки в Самарській затоці порівняно з нижньою частиною водосховища.

Швидкість накопичення природних та штучних радіонуклідів різновіковою молоддю плітки з води демонструють коефіцієнти накопичення (табл. 2).

Як видно з таблиці, найбільш високі коефіцієнти

Таблиця 2

**Коефіцієнти накопичення штучних і природних радіонуклідів у молоді плітки
Дніпровського водосховища**

Вік молоді плітки	Коефіцієнти накопичення				
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Нижня частина Дніпровського водосховища					
0+	131,67	30,47	37,68	89,43	19,75
1+	143,12	51,07	35,63	84,67	18,77
2+	183,33	56,66	29,23	127,37	20,53
Самарська затока					
0+	72,7	26,05	39,29	92,29	18,21
1+	117,5	39,95	29,20	112,65	16,87
2+	133,0	66,65	40,72	156,7	19,18

Таблиця 3

**Рівні вмісту штучних і природних радіонуклідів у тканинах і органах плітки в нижній частині
Дніпровського (Запорізького) водосховища ($M \pm m$)**

Вид біологічної тканини	Вміст радіонуклідів, Бк/кг				
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Нижня частина Дніпровського водосховища					
М'язи	7,6 $\pm$ 1,27	2,75 $\pm$ 0,38	55,33 $\pm$ 7,01	58,25 $\pm$ 4,07	119,05 $\pm$ 17,27
Кістки	13,7 $\pm$ 3,35	5,25 $\pm$ 1,07	61,55 $\pm$ 6,61	53,7 $\pm$ 12,18	207,1 $\pm$ 11,82
Луска	5,7 $\pm$ 0,40	4,05 $\pm$ 1,36	34,9 $\pm$ 2,87	35,65 $\pm$ 8,60	112,05 $\pm$ 15,63
Зябра	1,80 $\pm$ 0,13	1,00 $\pm$ 0,08	44,60 $\pm$ 3,12	47,10 $\pm$ 3,29	75,80 $\pm$ 10,21
Печінка	10,20 $\pm$ 2,71	3,20 $\pm$ 0,22	45,40 $\pm$ 4,02	69,20 $\pm$ 10,50	97,90 $\pm$ 16,85
Самарська затока					
М'язи	6,7 $\pm$ 0,46	2,88 $\pm$ 0,36	32,98 $\pm$ 3,12*	43,68 $\pm$ 2,97*	130,53 $\pm$ 21,51
Кістки	9,93 $\pm$ 0,64*	4,8 $\pm$ 0,21	48,6 $\pm$ 2,39*	63,5 $\pm$ 7,36*	106,71 $\pm$ 12,71*
Луска	5,73 $\pm$ 0,85	2,26 $\pm$ 0,48*	35,7 $\pm$ 3,40	34,4 $\pm$ 6,40	97,37 $\pm$ 10,34
Зябра	2,35 $\pm$ 0,16	0,95 $\pm$ 0,07	36,6 $\pm$ 2,89	39,3 $\pm$ 4,85	76,2 $\pm$ 11,96
Печінка	7,75 $\pm$ 1,15*	3,25 $\pm$ 0,23	39,65 $\pm$ 5,20*	61,4 $\pm$ 5,19	94,1 $\pm$ 12,94

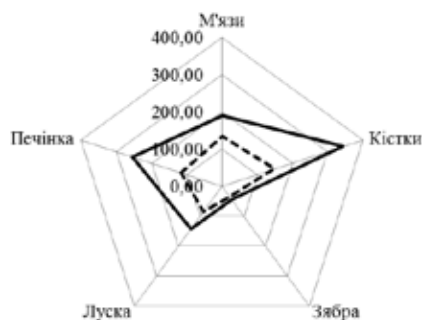
*– достовірні зміни відносно рівнів вмісту радіонуклідів у риб в нижній частині Дніпровського водосховища.

накопичення мають ^{137}Cs , ^{90}Sr і ^{232}Th , що свідчить про потужну щільність фіксації цих радіонуклідів біологічними тканинами. Встановлено збільшення значень коефіцієнтів накопичення в часі, відповідно до зростання молоді риби. Відсутність залежності коефіцієнтів накопичення від віку і розміру риб свідчить про слабку здатність до біоаккумуляції для ^{226}Ra і ^{40}K .

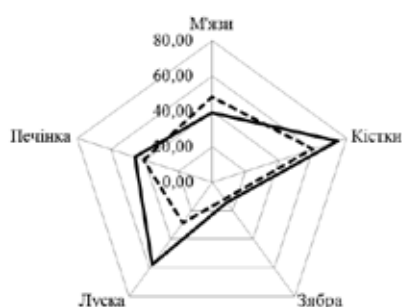
За показниками накопичення штучних і природних радіонуклідів молоддю плітки їх можна розташувати в послідовні ряди за вибуванням: $^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th} > ^{90}\text{Sr} > ^{226}\text{Ra} > ^{40}\text{K}$ – в нижній частині Дніпровського водосховища; $^{232}\text{Th} > ^{137}\text{Cs} > ^{90}\text{Sr} > ^{226}\text{Ra} > ^{40}\text{K}$ – в Самарській затоці.

Аналіз результатів дослідження вмісту радіонуклідів у статевозрілих особин плітки з Дніпровського водосховища дозволив визначити їх розподіл в окремих тканинах і органах риби (табл. 3).

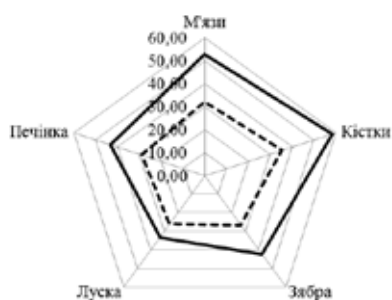
Найбільша кількість як штучних, так і природних радіонуклідів містилася в кістках риб, що викликано як специфічними властивостями радіоактивних елементів, так і морфо-функціональними особливостями тканини. Кісткова тканина має досить повільний фізіологічний обмін і депонує необхідні мікроелементи. Оскільки радіонукліди виступають хімічними аналогами деяких мікроелементів, вони зв'язуються в кістковій тканині на тривалий час. Таке зосередження радіоактивних елементів може чинити негативний вплив на організм, оскільки спричинює хронічне внутрішнє опромінення тканин і органів. Дещо менший вміст радіонуклідів був у м'язовій тканині та печінці, що зумовлено їх більш інтенсивним метаболізмом. До того ж печінка затримує радіонукліди як детоксикаційний орган. Нижчий рівень радіоіотопів спостерігали в лусці, що виконує захисну



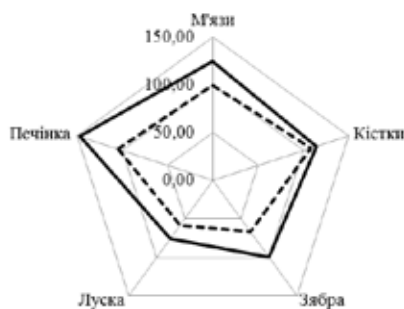
I



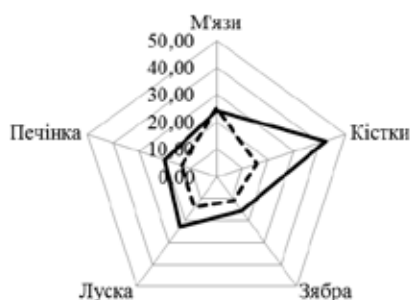
II



III



IV



— Нижня частина водосховища
- - - Самарська затока

V

Рис. 1. Коефіцієнти накопичення штучних і природних радіонуклідів у біологічних тканинах плітки Дніпровського (Запорізького) водосховища: I – ^{137}Cs , II – ^{90}Sr , III – ^{226}Ra , IV – ^{232}Th , V – ^{40}K

пограничну та механічно-захисну функції і характеризуються низьким процесом обміну речовин. Слиз, що виділяється на поверхню луски риб, зв'язує токсичні та радіоактивні речовини, захищаючи організм. Найменший вміст радіонуклідів був у зябрах, тканини яких мають швидкий метаболізм і прямий обмін речовинами з водою.

Порівнюючи рівні вмісту радіонуклідів в органах та тканинах дорослих особин плітки з обох досліджуваних ділянок Дніпровського водосховища, можна сказати, що більшість показників переважали в його нижній частині. Так, у Самарській затоці порівняно з нижньою частиною Дніпровського водосховища рівень ^{137}Cs у м'язах риб був нижчий на 11,8%, в кістках – на 27,5%, в печінці – на 24,0%. Показник вмісту ^{90}Sr у внутрішніх тканинах риб майже не змінювався в обох ділянках водосховища, але його вміст в лусці риб з Самарської затоки був нижчим на 44,1%. Еквітропний радіонуклід ^{90}Sr потрапляє до луски риб, головним чином, з води, чим і пояснюється коливання його рівнів [21].

Показники ^{226}Ra в м'язах, кістках і печінці риб з Самарської затоки були нижчим на 40,4%, 21,0%, та 12,7% відповідно. Концентрація ^{232}Th в м'язах риб з Самарської затоки була нижче на 25,0% чим у риб з нижньої частини Дніпровського водосховища, проте в кістках вміст ^{232}Th переважав на 18,2%.

Відмічені значні коливання вмісту ^{40}K в кістковій тканині риб з Самарської затоки порівняно з нижньою частиною Дніпровського водосховища. Для інших тканин показники були сталими, не відрізнялися статистично.

Порівнюючи показники вмісту радіонуклідів в тканинах різновікових особин плітки, виявили, що збільшення рівнів штучних радіоізотопів ^{137}Cs і ^{90}Sr у статевозрілих особин порівняно з цьоголітками складало відповідно 44,2 і 29,1% в нижній частині водосховища, тоді як у Самарській затоці накопичення обох радіонуклідів мало насичений характер, а їх вміст зростав у 1,8 раз. За значеннями питомої активності радіоізотопів природного походження ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K у біологічних тканинах молоді і статевозрілих особин плітки не було виявлено їх значного накопичення зі збільшенням віку риби, різноспрямовані коливання їх вмісту складали від 10 до 40%.

У статевозрілих особин плітки, вилученої з різних частин Дніпровського водосховища, за зменшенням значень коефіцієнтів накопичення радіонуклідів у тканинах і органах можна побудувати наступний ранговий ряд:

$$^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th} > ^{226}\text{Ra} > ^{90}\text{Sr} > ^{40}\text{K}.$$

Аналіз коефіцієнтів накопичення радіонуклідів у статевозрілих особин плітки, відібраних в двох ділянках Дніпровського водосховища, показав, що їх значення були нижчими майже для всіх радіоактивних елементів у Самарській затоці (рис. 1), що свідчить про меншу швидкість їх нагромадження в біологічних тканинах риб.

Можна припустити, що на процеси міграції радіонуклідів значною мірою впливали гідрологічні умови Самарської затоки – ступінь евтрофікації водойми внаслідок слабкої проточності та висока мінералізація води в порівнянні з нижньою частиною водосховища.

Крім того, отримані дані підтверджують, що накопичення радіонуклідів в організмі плітки відбувається переважно за рахунок їх надходження з кормовими об'єктами і залежить від первинного потрапляння до водного середовища (рис. 1) [22].

Висновки. На підставі результатів проведених досліджень можна стверджувати, що промислові риби є перспективним об'єктом для вивчення радіонуклідного забруднення гідроекосистем, яке впливає на організми гідробіонтів, їх чисельність і на стан довкілля в цілому. Визначення вмісту радіонуклідів у рибах дає об'єктивну оцінку рівнів радіоактивного забруднення водного середовища, оскільки риби виступають ефективними біоіндикаторами.

Вміст досліджуваних радіонуклідів у рибах Дніпровського (Запорізького) водосховища не перевищував встановлені в Україні допустимі рівні питомої радіоактивності для риби як харчового продукту. Таким чином, можна стверджувати, що в умовах існуючого забруднення водосховища важливе значення має подальше всебічне вивчення акумуляції радіоактивності рибами, постійний контроль вмісту радіонуклідів в екосистемах, що є необхідним заходом для оцінки їх надходження в організм людини з рибною продукцією.

Література:

1. Гречанюк М. О., Кашпарова О. В., Павленко П. М., Левчук С. Є., Маскін В. І., Кашпаров В. О. Радіоактивне забруднення і дози внутрішнього опромінення риби в озері Глибоке Чорнобильської зони відчуження. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2022, 3(97). DOI: <https://doi.org/dopovidi2022.03.003>
2. Гречанюк М. О., Кашпарова О. В., Павленко П. М., Левчук С. Є., Маскін В. І., Кашпаров В. О. Гранично допустимі концентрації радіонуклідів у водоймах. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2022, 5(99). DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2022.05.002>
3. Lee S. H., Oh J. S., Lee K. B., Lee J. M., Hwang S. H., Lee M. K., Kwon E. H., Kim C. S., Choi I. H., Yeo I. Y., Yoon J. Y., Im, J. M. Evaluation of abundance of artificial radionuclides in food products in South Korea and sources. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2018, 184–185. P. 46–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.01.008>
4. Романчук Л. Д., Вербельчук С. П., Вербельчук Т. В. Особливості формування дози внутрішнього опромінення населення за споживання риби з водойм Полісся України. *Агроєкологічний журнал*. 2016, 1. С. 127–131.
5. Гудков Д. І., Каглян А. Є., Нанба К., Вада Т., Киреев С. І., Беляев В. В., Юрчук Л. П. Вплив зміни гідрологічного режиму на динаміку питомої активності радіонуклідів у рибі водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС. *Матеріали Наукової конференції Інституту ядерних досліджень НАНУ* (21–25 вересня 2020 р.). Київ, 2020. С. 300–301. DOI: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/51/124/51124743.pdf
6. Каглян О. Є., Гудков Д. І., Киреев С. І., Кленус В. Г., Беляев В. В., Юрчук Л. П., Дроздов В. В., Гупало О. О. Динаміка питомої активності ^{90}Sr і ^{137}Cs у представників іхтіофауни водойм Чорнобильської зони відчуження. *Ядерна фізика та енергетика*. 2021, 22. С. 62–73. DOI: <https://doi.org/10.15407/jnpae2021.01.062>

7. Pepin, S., Dehandschutter, B., Claes, J., Biermans, G., Nootens, S., Sombré, L., Poffijn, A., Escourrou, C., Bietlot, E., Loo, M. Enhanced natural radioactivity in leachate and groundwater of Belgian landfills. *Radioprotection*. 2021, 56(4). P. 309–318. DOI: <https://doi.org/10.1051/radiopro/2021015>
8. Дворецький А. І., Сапронова В. О., Байдак Л. А., Маренков О. М., Білоконь Г. С., Просяник Ю. І., Зайченко О. Ю. Радіоекологія водойм Придніпров'я. *Вісник Житомирського НАЕУ*. 2016, № 1 (55):3. С. 283–290.
9. Metian M., Pouil S., Fowler S. W. Radiocesium accumulation in aquatic organisms: A global synthesis from an experimentalist's perspective. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019, 198. P. 147–158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.11.013>.
10. Маренков О.М., Корженевська П. О., Нестеренко О. С. Радіоекологічні моніторингові дослідження іхтіофауни Першотравенського водосховища. *Екологічні науки*. 2022, 6(45). С. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.6>
11. Пількевич Ю. Г., Розорінов Г. М., Ткаченко Т. М. Радіоактивне забруднення риб і вимірювання малих інтенсивностей іонізуючих випромінювань. *Молодий вчений*. 2021, 5(93). С. 14–19. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-5-93-3>
12. Hubanova, N., Horchanok, A., Novitskii, R., Sapronova, V., Kuzmenko, O., Grynevych, N., Priszajhnjuk, N., Lieshchova, M., Slobodeniuk, O., Demyanyuk, O. Accumulation of radionuclides in Dnipro reservoir fish. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019, 9(2). P. 227–231.
13. Каглян О. Є., Гудков Д. І. Спосіб визначення питомої активності ^{90}Sr у представників іхтіоценозу прісноводних екосистем за його вмістом у плітці звичайній (*Rutilus rutilus* L.). *Патент на корисну модель*. UA137116U, 19, 10.10.2019.
14. Шарамок Т. С., Федоненко О. В., Курченко В. О., Ніколенко Ю. В. Гідроекологічна оцінка Запорізького водосховища. *Питання біоіндикації та екології*. 2019, 24(2). С. 147–161. DOI: <http://dx.doi.org/10.26661/2312-2056/2019-24/2-12>
15. Єсіпова Н., Гудим Н. Гідроекологічний моніторинг Запорізького (Дніпровського) водосховища. *Scientific Collection «InterConf»*, 2023, 149. P. 271–275. DOI: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/2925>
16. Fedonenko O., Yakovenko V., Ananieva T., Sharamok T., Yesipova N., Marenkov O. Fishery and environmental situation assessment of water bodies in the Dnipropetrovsk region of Ukraine. *World Scientific News*. 2018, 92(1). P. 1–138.
17. Маренков О. М., Корженевська П. О., Голуб І. В. Накопичення радіонуклідів природного та штучного походження рибами Першотравенського водосховища (Дніпропетровська область, Україна). *Екологічні науки*. 2022, 3(42). С. 43–48. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.7>
18. Сінченко В.Г. Спектрометричний контроль за вмістом радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у морепродуктах та сільськогосподарській їхарчовій продукції: метрологічний аспект випробувань неконцентрованих зразків. *Наукові праці. Сер.: Техногенна безпека. Радіобіологія*. 2017, 277(289). С. 91–100.
19. Сінченко В. Г. Спектрометричне визначення вмісту ^{137}Cs і ^{90}Sr у поверхневих водах суші в контексті оцінки їх якості за екологічними критеріями. *Науково-технічний журнал*. 2020, 1(21). С. 57–69. DOI: [http://dx.doi.org/10.31471/2415-3184-2020-1\(21\)-57-69](http://dx.doi.org/10.31471/2415-3184-2020-1(21)-57-69)
20. Ананьєва Т. В., Федоненко О. В., Шаповаленко З. В. Міграція радіонуклідів у молоді плітки звичайної на акваторії Запорізького водосховища. *Питання біоіндикації та екології*. 2016, 21(1-2). С. 110–121.
21. Zalewska T., Saniewski M., Suplińska M., Rubel B. ^{90}Sr in fish from the southern Baltic Sea, coastal lagoons and freshwater lake. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016, 158–159. P. 38–46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.03.024>
22. Kashparova O., Teien H. C., Pavlenko P., Salbu B., Eide D. M., Levchuk S., Jensen K. A., Protsak V., Hrechaniuk M., Kashparov V. Clean feed as countermeasure to reduce the ^{90}Sr and ^{137}Cs levels in fish from contaminated lakes. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2023, 258. P. 107091. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.107091>.

References:

1. Hrechaniuk, M. O., Kashparova, O. V., Pavlenko, P. M., Levchuk, S. Ye., Maksin, V. I., Kashparov, V. O. (2022). Radioaktyvne zabrudnennia i dozy vnutrishnoho oprominennia ryby v ozeri Hlyboke Chornobylskoi zony vidchuzhennia [Radioactive contamination and doses of internal irradiation of fish in the Deep Lake of the Chornobyl exclusion zone]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy*, 3 (97) [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/dopovidi2022.03.003>
2. Hrechaniuk, M. O., Kashparova, O. V., Pavlenko, P. M., Levchuk, S. Ye., Maksin, V. I., Kashparov, V. O. (2022). Hranychno dopustymi kontsentratsii radionuklidiv u vodoimakh [Threshold limit values of radionuclides in the waterbodies]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy*, 5(99) [in Ukrainian]. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2022.05.002>
3. Lee, S. H., Oh, J. S., Lee, K. B., Lee, J. M., Hwang, S. H., Lee, M. K., Kwon, E. H., Kim, C. S., Choi, I. H., Yeo, I. Y., Yoon, J. Y., Im, J. M. (2018). Evaluation of abundance of artificial radionuclides in food products in South Korea and sources. *Journal of Environmental Radioactivity*, 184–185, 46–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.01.008>.
4. Romanchuk, L. D., Verbelchuk, S. P., Verbelchuk, T. V. (2016). Osoblyvosti formuvannia dozy vnutrishnoho oprominennia naseleennia za spozhyvannia ryby z vodoim Polissia Ukrainy [Peculiarities of the formation of the internal radiation dose of the population due to the consumption of fish from the reservoirs of Polissya, Ukraine]. *Ahroekologichnyi zhurnal*, 1, 127–131 [in Ukrainian].
5. Hudkov, D. I., Kahlia, A. Ye., Nanba, K., Vada, T., Kyrieiev, S. I., Beliaiev, V. V., Yurchuk, L. P. (2020). Vplyv zminy hidrolozhichnoho rezhymu na dynamiku pytomoi aktyvnosti radionuklidiv u rybi vodoimy-okholodzhuvacha Chornobylskoi AES [Influence of changes of hydrological regime on dynamics of specific activity of radionuclides in fish of the

- Chernobyl NPP Cooling Pond]. *Materialy Naukovoi konferentsii Instytutu yadernykh doslidzhen NANU* (September 21–25, 2020, Kyiv, 300–301 [in Ukrainian]. DOI: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/51/124/51124743.pdf
6. Kahlian, O. Ye., Hudkov, D. I., Kirieiev, S. I., Klenus, V. H., Bieliaiev, V. V., Yurchuk, L. P., Drozdov, V. V., Hupalo, O. O. (2021). Dynamika pytomoi aktyvnosti ^{90}Sr i ^{137}Cs u predstavnykiv ikhtiofauny vodoim Chornobylskoi zony vidchuzhennia [Dynamics of specific activity of ^{90}Sr and ^{137}Cs in representatives of ichthyofauna of water bodies of the Chernobyl Exclusion Zone]. *Nuclear Physics and Energy*, 22, 62–73 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.15407/jnpae2021.01.062>
 7. Pepin, S., Dehandschutter, B., Claes, J., Biermans, G., Nootens, S., Sombré, L., Poffijn, A., Escourrou, C., Bietlot, E., Loo, M. (2021). Enhanced natural radioactivity in leachate and groundwater of Belgian landfills. *Radioprotection*, 56(4), 309–318. DOI: <https://doi.org/10.1051/radiopro/2021015>
 8. Dvoretzkyi, A. I., Sapronova, V. O., Baidak, L. A., Marenkov, O. M., Bilokon, H. S., Prosianyk, Yu. I., Zaichenko, O. Yu. (2016). Radioekolohiia vodoim Prydniprovia. [Radioecology of water bodies of the Dnieper region]. *Visnyk ZhNAEU*, № 1(55):3, 283–290 [in Ukrainian].
 9. Metian, M., Pouil, S., Fowler, S. W. (2019). Radiocesium accumulation in aquatic organisms: A global synthesis from an experimentalist's perspective. *Journal of Environmental Radioactivity*, 198, 147–158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.11.013>
 10. Marenkov, O. M., Korzhenevska, P. O., Nesterenko, O. S. (2022). Radioekolohichni monitorynhovi doslidzhennia ikhtiofauny Pershotravenskoho vodoskhovyshcha. [Radioecological monitoring studies of the ichthyofauna of the Pershotravensk Reservoir]. *Ekolohichni nauky*, 6(45), 35–41 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.6>
 11. Pilkevych, Yu. H., Rozorinov, H. M., Tkachenko, T. M. (2021). Radioaktyvne zabrudnennia ryb i vymyruvannia malykh intensyvnopei ionizuiuchykh vyprominiuvan [Radioactive contamination of fish and measurement of low intensities of ionizing radiation]. *Molodyi vchenyi*, 5(93), 14–19 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-5-93-3>
 12. Hubanova, N., Horchanok, A., Novitskii, R., Sapronova, V., Kuzmenko, O., Grynevych, N., Prisjajhnjuk, N., Lieshchova, M., Slobodeniuk, O., Demyanyuk, O. (2019). Accumulation of radionuclides in Dnipro reservoir fish. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(2), 227–231.
 13. Kahlian, O. Ye., Hudkov, D. I. (2019). Sposib vyznachennia pytomoi aktyvnosti ^{90}Sr u predstavnykiv ikhtiotseozu prysnovodnykh ekosystem za yoho vmistom u plittsi zvychainii (*Rutilus rutilus* L.) [Method for determining the specific activity of ^{90}Sr in representatives of ichthyocenosis of freshwater ecosystems based on its content in common rudd (*Rutilus rutilus* L.)]. *Patent for a utility model UA137116U*, 19, 10.10.2019 [in Ukrainian].
 14. Sharamok T. S., Fedonenko O. V., Kurchenko V. O., Nikolenko Yu. V. (2019). Hidroekolohichna otsinka Zaporizkoho vodoskhovyshcha [Hydroecological assessment of the Zaporizhzhia Reservoir]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii*, 24(2), 147–161 [in Ukrainian]. DOI: <http://dx.doi.org/10.26661/2312-2056/2019-24/2-12>
 15. Yesipova, N., Hudym N. (2023). Hidroekolohichni monitorynh Zaporizkoho (Dniprovskoho) vodoskhovyshcha [Hydroecological monitoring of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir]. *Scientific Collection «InterConf»*, (149), 271–275 [in Ukrainian]. DOI: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/2925>
 16. Fedonenko, O., Yakovenko, V., Ananieva, T., Sharamok, T., Yesipova, N., Marenkov, O. (2018). Fishery and environmental situation assessment of water bodies in the Dnipropetrovsk region of Ukraine. *World Scientific News*, 92(1), 1–138.
 17. Marenkov, O. M., Korzhenevska, P. O., Holub, I. V. (2022). Nakopychennia radionuklidiv pryrodnoho ta shtuchnoho pokhodzhennia rybamy Pershotravenskoho vodoskhovyshcha (Dnipropetrovska oblast, Ukraina). [Accumulation of radionuclides of natural and artificial origin by fish of the Pershotravensk Reservoir (Dnipropetrovsk region, Ukraine)]. *Ekolohichni nauky*, 3(42), 43–48 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.7>
 18. Sinchenko, V. H. (2017). Spektrometrychnyi kontrol za vmistom radionuklidiv ^{137}Cs i ^{90}Sr u moreproduktakh ta silskohospodarskii i kharchovii produktsii: metrolohichni aspekt vyprobuvan nekontsentrovanykh zrazkiv [Spectrometric control of the content of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in seafood and agricultural and food products: metrological aspect of testing non-concentrated samples]. *Naukovi pratsi. Ser.: Tekhnohenna bezpeka. Radiobiolohiia*, 277(289), 91–100 (in Ukrainian).
 19. Sinchenko, V. H. (2020). Spektrometrychne vyznachennia vmistu ^{137}Cs i ^{90}Sr u poverkhnevyykh prisnykh vodakh sushi v konteksti otsinky yikh yakosti za ekolohichnymy kryteriiamy [Spectrometric determination of ^{137}Cs and ^{90}Sr content in surface freshwaters of land in the context of assessing their quality according to ecological criteria]. *Naukovo-tekhnichnyi zhurnal*, 1(21), 57–69 [in Ukrainian]. DOI: [http://dx.doi.org/10.31471/2415-3184-2020-1\(21\)-57-69](http://dx.doi.org/10.31471/2415-3184-2020-1(21)-57-69)
 20. Ananieva, T. V., Fedonenko, O. V., Shapovalenko, Z. V. (2016). Mihratsiia radionuklidiv u molodi plitky zvychainoi na akvatorii Zaporizkoho vodoskhovyshcha [The radionuclide migration in juvenile roach in the Zaporozhian reservoir]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii*, 21(1-2), 110–121 [in Ukrainian].
 21. Zalewska, T., Saniewski, M., Suplińska, M., Rubel, B. (2016). ^{90}Sr in fish from the southern Baltic Sea, coastal lagoons and freshwater lake. *Journal of Environmental Radioactivity*, 158–159, 38–46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.03.024>
 22. Kashparova, O., Teien, H. C., Pavlenko, P., Salbu, B., Eide, D. M., Levchuk, S., Jensen, K. A., Protsak, V., Hrechaniuk, M., Kashparov, V. (2023). Clean feed as countermeasure to reduce the ^{90}Sr and ^{137}Cs levels in fish from contaminated lakes. *Journal of Environmental Radioactivity*, 258, 107091. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.107091>