

УДК [577.34: (597:539.16)] 574

**ДОЗОВІ НАВАНТАЖЕННЯ НА РИБ ВІД ІНКОРПОРОВАНИХ РАДІОНУКЛІДІВ
У ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ**

**О. Каглян¹, Д. Гудков¹, В. Кленус¹, З. Широка¹, М. Кузьменко¹, Н. Поморцева¹,
В. Ткаченко¹, А. Коробович¹, Н. Шевцова¹, О. Назаров², Л. Яблонська¹, Л. Юрчук¹**

*¹Інститут гідробіології НАН України
пр. Героїв Сталінграда, 12, Київ 04210, Україна
e-mail: alex_kt983@mail.ru*

*²Державне спеціалізоване науково-виробниче
підприємство «Екоцентр» МНС України
вул. Шкільна, 6, Чорнобиль 07270, Україна*

Наведено результати радіоекологічних досліджень вмісту ⁹⁰Sr та ¹³⁷Cs у прісноводних рибах водойм Чорнобильської зони відчуження. Розраховано рівні дозових навантажень на риб від інкорпорованих радіонуклідів. Відзначено, що на сучасному етапі ⁹⁰Sr є основним дозоутворювальним радіонуклідом для риб більшості водойм Чорнобильської зони відчуження.

Ключові слова: водойми Чорнобильської зони відчуження, риба, інкорпоровані радіонукліди, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, дози внутрішнього опромінення.

Територія Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) надалі залишається відкритим джерелом радіонуклідного забруднення зі складною структурою розподілу і динамікою зміни фізико-хімічних форм, що впливають на міграцію і концентрування радіонуклідів компонентами водних екосистем. Особливого значення при цьому набули проблеми хронічного впливу різних рівнів іонізуючого випромінювання на біоту зони відчуження, в тому числі й на гідробіонтів. Надходячи у водні екосистеми, радіонукліди включаються у біогеохімічні цикли і, рухаючись по трофічних ланцюгах, накопичуються рибою, яка є одним із об'єктів харчування людини. Якщо до недавнього часу типовим для радіоекології гідробіонтів вважалося домінування вмісту ¹³⁷Cs над ⁹⁰Sr, то завдяки розчинності й високій біологічній доступності, ⁹⁰Sr почав відігравати домінуючу роль у водоймах зони відчуження ЧАЕС. Подібна динаміка питомої активності в органах і тканинах риб суттєво впливає на дозові навантаження, які відчувають представники іхтіофауни за рахунок інкорпорованих радіонуклідів.

Матеріали та методи

На території лівобережної заплави р. Прип'яті в межах ЧЗВ досліджували озера Глибоке, Далеке та Вершину (заболочене озеро), Красненську старицю, що була розділена до аварії на ЧАЕС польдерною дамбою на дві водойми, і які в подальшому отримали умовні назви «до дамби» (умовно непроточна водойма) і «після дамби» (слабопроточна водойма). На території правобережжя р. Прип'яті в межах ЧЗВ досліджували оз. Азбучин, Янівський затон (умовно непроточна водойма), водойму-охолоджувач (ВО) ЧАЕС (підвищений водообмін), Прип'ятський затон (відкрита водойма), затон «Щепочка» (відкрита водойма) та безпосередньо ділянку р. Прип'ять біля м. Чорнобиля, а також ріки Уж та Ілля. Для порівняння за межею ЧЗВ взято ділянку Київського водосховища в районі сіл

Страхолиця (правобережжя), Лебедівки (лівобережжя) та р. Дністер (у межах Городенківського р-ну). Для аналізу відбирали рибу в кількості 3–15 екз. кожного виду, особливу увагу приділяли краснопірці звичайній та окуню звичайному [9]. Під час досліджень були проаналізовані представники іхтіофауни різних екологічних груп водойм ЧЗВ, Київського водосховища, р. Дністер, а саме: риби-бентофаги – карась сріблястий (*Carassius auratus gibelio* (Bloch), віком 2–13 рр., карась звичайний, або золотий (*Carassius carassius* L.), віком 3–10 рр., лин (*Tinca tinca* L.), віком 5–8 рр., плітка звичайна (*Rutilus rutilus* L.), віком 2–5 рр., лящ звичайний (*Abramis brama* L.), віком 2–6 рр., клепець (*Abramis sapa* (Pallas), віком 2–3 рр., рибець звичайний (*Vimba vimba* L.), віком 3–4 рр., марена звичайна (*Barbus barbus* L.) віком 2–4 рр., зоопланктонофаг – синець (*Abramis ballerus* L.), віком 3–7 рр., фітофаги – підуст дніпровський (*Chondrostoma nasus nasus nation borysthenticum* (Berg), віком 3–4 рр. та краснопірка звичайна (*Scardinius erythrophthalmus* L.), віком 1–9 рр. та іхтіофаги (облігатні й факультативні) – сом європейський (*Silurus glanis* L.) віком 4–10 рр., щука звичайна (*Esox lucius* L.) віком 1–11 р., головень (*Leuciscus cephalus* L.) віком 7–10 рр., білизна (*Aspius aspius* L.) віком 8–9 рр., судак звичайний (*Stizostedion lucioperca* L.) віком 3–9 рр., окунь звичайний (*Perca fluviatilis* L.) віком 3–9 рр., чехоня (*Pelecus cultratus* L.) віком 3–9 р., що домінують у даних водоймах. Також в р. Дністер було відібрано на аналіз чопа (*Zingel zingel* L.) віком 3–5 р. Визначення питомої активності ^{137}Cs в рибі проводили гамма-спектрометричним і радіохімічним методами, а ^{90}Sr – радіохімічним (за оксалатною методикою) з вимірюванням на установці малого фону УМФ-2000 дочірнього продукту ^{90}Y [8]. Біологічний аналіз риб проводили за загальноприйнятою в іхтіології методикою [1]. Вміст (питома активність, концентрація) радіонуклідів у рибі наводиться в Бк/кг сирової (природної) маси. Дози опромінення розраховували згідно з методикою [10].

Результати і їхнє обговорення

У водній радіоекології традиційним стало те, що ^{137}Cs є одним з основних дозоутворювальних радіонуклідів в організмі риб. У цьому сенсі не були винятком і риби Київського водосховища, яке межує з зоною відчуження ЧАЕС, та р. Дністер (у межах Городенківського р-ну Ів.-Франківської обл). При цьому середнє співвідношення $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ не перевищувало 0,3. Інша картина спостерігається в замкнених водоймах ЧЗВ. Так, у 2006–2010 рр. середній вміст ^{90}Sr в рибях перевищував вміст ^{137}Cs в 2–5 разів [2, 5–7].

Аналіз даних, отриманих упродовж останніх років, свідчить, що питома активність ^{137}Cs і ^{90}Sr у представниках іхтіофауни практично всіх водойм ЧЗВ продовжує поступово зменшуватися, за винятком «мирних» видів, у яких вміст ^{90}Sr утримується на певному рівні. Основними чинниками, що визначають кількісний вміст ^{90}Sr і ^{137}Cs в рибі є рівень і склад радіонуклідного забруднення водойм і прилеглих територій, гідрологічний режим водойм і гідрохімічний склад води. Як свідчать власні дослідження, вміст ^{90}Sr в рибі умовно непроточних, напівпроточних і замкнутих водойм ЧЗВ перебуває в межах 100 (ВО) – 70 000 (оз. Вершина) Бк/кг, що перевищує допустимі рівні (ДР) по вмісту ^{90}Sr в 3–2000 разів. А вміст ^{90}Sr в окремих органах і тканинах риб, наприклад, у лусці дворічних карасів з оз. Вершина доходив до 274 500 Бк/кг. Питома активність ^{137}Cs у представників іхтіофауни усіх замкнутих і напівпроточних водойм ЧЗВ перевищує ДР у 4–200 разів (ДР для рибної продукції в Україні для ^{137}Cs = 150, для ^{90}Sr = 35 Бк/кг [4]). Також необхідно зазначити, що в проточних водоймах і водоймах з підвищеним водообміном (водойма-охолоджувач ЧАЕС (далі – ВО) загальний вміст ^{137}Cs в рибях значно перевищує цей показник для ^{90}Sr і відповідає традиційним уявленням про розподіл радіонуклідів у іхтіоценозах водойм, що лежать у зоні впливу аварії на ЧАЕС. Найбільш

виражена ця тенденція у риб ВО, який є єдиним серед досліджуваних водойм ЧЗВ, де питома активність ^{137}Cs у воді перевищує питому активність ^{90}Sr . Екосистеми рік мають підвищену здатність до самоочищення, тому вміст радіонуклідів у рибах р. Прип'ять на ділянці ЧЗВ тільки в окремих випадках перевищує ДР. Для переважної більшості водойм України, в тому числі і р. Дністер, вміст радіонуклідів у рибі в десятки разів менший за ДР ^{137}Cs і ^{90}Sr . На основі результатів досліджень 2009–2011 рр. проведено розрахунки, які показали, що діапазон потужності сумарної поглинутої дози від інкорпорованих ^{137}Cs і ^{90}Sr у риб замкнених водойм ЧЗВ становив 1,25–17,41, в умовно непроточних водойм ЧЗВ – 0,74–4,33, у ВО – 0,26–2,03, у відкритих затоках ЧЗВ – 0,038–0,271, р. Прип'ять – 0,01–0,04 і в рибі Київського водосховища – до 0,022 мкГр/год (табл. 1–3). А в оз. Вершина, де, за нашими даними, найбільш забруднена ^{90}Sr іхтіофауна, межі потужності сумарної поглинутої дози від інкорпорованих ^{137}Cs + ^{90}Sr тільки в дворічних карасях, наприклад, були 33,00–44,88 мкГр/год. Проте в переважній більшості водойм України, що розташовані за межею ЧЗВ, ця величина ледве сягає 0,01 мкГр/год. Згідно зі стандартом, запропонованим НКДАР ООН, і зі стандартами, які використовують МАГАТЕ, допустимою потужністю дози при хронічній дії гідробіонтів прийнято вважати 10 мГр/добу. У річному численні ця доза становить близько 3,7 Гр і вважається максимальною дозою опромінення водної біоти, при якій ще не реєструються радіаційні ефекти [3]. Наведений стандарт базується на радіаційних дослідженнях, основна частина яких виконана на гідробіонтах у лабораторних умовах при гострому зовнішньому опроміненні, ефективність якого істотно нижча, ніж хронічна дія інкорпорованих радіонуклідів при забрудненні природних водойм. У зв'язку з цим встановлена дозова межа є достатньо умовною, а її застосування може розглядатися лише на певному етапі формування стратегії радіаційного захисту водних екосистем, з подальшим корегуванням при отриманні повніших даних про чутливість гідробіонтів до хронічного радіаційного впливу.

Таблиця 1

Межі доз внутрішнього опромінення риб від інкорпорованих радіонуклідів водойм, мкГр/год

Водойми	^{137}Cs		^{90}Sr	
	“Мирні”види риб	Риби-іхтіофаги	“Мирні”види риб	Риби-іхтіофаги
Оз. Глибоке	0,395–5,097	1,045–3,527	4,643–14,437	4,249–9,818
Оз. Далеке	0,165–0,571	0,311–1,111	1,336–6,826	0,938–2,257
Оз. Азбучин	0,479–0,734	0,817–1,345	2,083–13,982	1,180–1,648
Красненська стариця на ділянці до дамби	0,072–0,522	0,270–0,857	2,792–3,961	1,295–2,419
Красненська стариця на ділянці після дамби	0,092–0,362	0,083–2,017	0,102–1,554	0,061–1,252
Янівський затон	0,083–0,169	0,266–0,567	1,235–2,074	0,421–1,012
ВО ЧАЕС	0,140–0,324	0,201–1,962	0,062–0,464	0,067–0,144
р. Прип'ять	0,011–0,014	0,007–0,028	0,009–0,010	0,004–0,010
Затон “Щепка”	0,007–0,014	0,024–0,028	0,031–0,257	0,040–0,042
р. Прип'ять				
Київське в-ще	0,001–0,008	0,005–0,019	0,002–0,005	0,001–0,008

Основним дозоутворювальним радіонуклідом для представників іхтіофауни замкнених і умовно непроточних водойм ЧЗВ на теперішній час є ^{90}Sr , на частку якого припадає 61–81% (для хижих риб) та 90–93% (для представників «мирних» видів) потужності поглинутої дози опромінення. У проточних і напівпроточних водоймах ЧЗВ внесок ^{90}Sr у внутрішню дозу опромінення становить від 26 до 87%, а для ВО, де постійно відбувається водообмін за рахунок підкачування води з р. Прип'ять, – від 9 до 41%. За межею ЧЗВ, на-

приклад, у Київському водосховищі, внесок ^{90}Sr у потужність поглинутої дози від інкорпорованих радіонуклідів становить від 16 до 50%, в р. Дністер – 16–25% (табл. 2). Треба відзначити, що середні значення дозового навантаження на представників “мирних” видів риб від інкорпорованих радіонуклідів у замкнутих (за винятком ВО) і умовно непроточних водоймах зони відчуження в 1,47–2,47 разу перевищують дозові навантаження внутрішнього опромінення іхтіофагів. Це пов’язано з тим, що питома активність ^{90}Sr в організмі “мирних” видів риб більша за питому активність ^{137}Cs в них, а в хижих видах співвідношення питомої активності ^{90}Sr в організмі риб до ^{137}Cs є менше або рівне 1. А оскільки відносна біологічна ефективність ^{90}Sr вища від ^{137}Cs , то і дозові навантаження від інкорпорованого ^{90}Sr більші, ніж від ^{137}Cs . Таким чином, середні значення доз опромінення від інкорпорованих $^{137}\text{Cs} + ^{90}\text{Sr}$ в організмі «мирних» видів риб замкнутих та умовно непроточних водойм ЧЗВ більші ніж середні значення доз для хижаків. У ВО, проточних водоймах і ріках (де вміст ^{137}Cs в рибі більший за вміст ^{90}Sr) середні значення дозового навантаження хижих риб від інкорпорованих $^{137}\text{Cs} + ^{90}\text{Sr}$ дорівнюють або перевищують дозові навантаження “мирних” риб із цих же водойм ЧЗВ (табл. 3).

Таблиця 2

Усереднені дози внутрішнього опромінення риб (мкГр/год) і вклад ^{90}Sr та ^{137}Cs в них (%)

Водойми	^{137}Cs				^{90}Sr			
	“Мирні” види риб	%	Риби- іхтіофаги	%	“Мирні” види риб	%	Риби- іхтіофаги	%
Оз. Глибоке	0,951	8,3	2,149	25,4	10,094	91,7	6,301	74,6
Оз. Далеке	0,339	8,8	0,730	32,7	3,510	91,2	1,505	67,3
Оз. Азбучин	0,609	10,1	1,030	42,2	5,411	89,9	1,409	57,8
Красненська стариця на ділянці до дамби	0,302	8,6	0,428	18,9	3,194	91,4	1,832	81,1
Красненська стариця на ділянці після дамби	0,167	12,5	0,764	54,2	1,159	87,5	0,645	45,8
Янівський затон	0,112	6,4	0,411	38,8	1,599	93,6	0,649	61,2
Затон “Щепка” р. Прип’ять	0,011	15,7	0,024	37,5	0,059	84,3	0,040	62,5
ВО ЧАЕС	0,248	58,6	0,976	90,9	0,175	41,4	0,097	9,1
Р. Прип’ять	0,011	55,0	0,020	74,1	0,009	45,0	0,007	25,9
Київське в-ще	0,003	50,0	0,010	83,3	0,003	50,0	0,002	16,7
Р. Дністер	0,003	75,0	0,005	83,3	0,001	25,0	0,001	16,7

Таблиця 3

Межі та середні значення доз опромінення риб від інкорпорованих $^{137}\text{Cs} + ^{90}\text{Sr}$ (мкГр/год)

Водойми	“Мирні” види риб		Риби-іхтіофаги	
	Межі дозового навантаження	Середнє значення дозового навантаження	Межі дозового навантаження	Середнє значення дозового навантаження
Оз. Глибоке	5,038–17,413	12,495	5,386–13,345	8,472
Оз. Далеке	1,551–7,397	3,849	1,249–3,368	2,235
Оз. Азбучин	2,876–14,511	6,019	1,997–2,993	2,439
Красненська стариця на ділянці до дамби	2,917–4,331	3,589	1,565–3,276	2,260
Красненська стариця на ділянці після дамби	0,194–2,077	1,336	0,144–3,269	1,408
Янівський затон	1,321–2,157	1,711	0,741–1,579	1,028
Затон “Щепка” р. Прип’ять	0,038–0,271	0,069	0,062–0,064	0,064
ВО ЧАЕС	0,261–0,788	0,423	0,293–2,029	1,073
Р. Прип’ять	0,010–0,020	0,020	0,011–0,038	0,025
Київське в-ще	0,004–0,011	0,007	0,006–0,022	0,013
Р. Дністер	0,004–0,010	0,006	0,004–0,010	0,006

Отже, у водоймах ЧЗВ питома активність радіонуклідів у риб різних екологічних груп перебуває на високому рівні та багаторазово перевищує діючі в Україні ДР для рибної продукції. У всіх представників «мирних» видів риб водних об'єктів ЧЗВ вміст ^{90}Sr в організмі набагато вищий ніж вміст ^{137}Cs (за винятком риб ВО та річкових екосистем). Діапазон потужності сумарної поглинутої дози від інкорпорованих ^{137}Cs і ^{90}Sr у риб замкнутих водойм ЧЗВ становив 1,25–44,88, в умовно непроточних водойм ЧЗВ – 0,74–4,33, у ВО – 0,26–2,03, у відкритих затоках ЧЗВ – 0,038–0,271, р. Прип'ять – 0,01–0,04 і в рибі Київського водосховища – до 0,022 мкГр/год. У переважній більшості водойм України, що розташовані за межею ЧЗВ, це значення ледве сягає 0,01 мкГр/год. Для риб замкнутих, умовно непроточних водойм і затонів ЧЗВ на частку ^{90}Sr припадає 61–93% потужності поглиненої дози від інкорпорованих радіонуклідів, а середній вміст ^{90}Sr в рибах перевищує, в основному, вміст ^{137}Cs в 1,5–13 разів. Тому ^{90}Sr на теперішній час є основним дозоутворювальним радіонуклідом для риб більшості водойм ЧЗВ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Брюзгин В. Л. Методы изучения роста рыб по чешуе, костям и отолитам. К: Наук. думка, 1969. 187 с.
2. Гудков Д. И., Каглян А. Е., Назаров А. Б. и др. Динамика содержания и распределение основных дозообразующих радионуклидов у рыб зоны отчуждения Чернобыльской АЭС // Гидробиол. журн. 2008. Т. 44. № 3. С. 95–113.
3. Гудков І. М., Гайченко В. А., Каспаров В. О. та ін. Радіоекологія. К.: НОВОград, 2011. 368 с.
4. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді (ДР-97). К.: Міністерство охорони здоров'я України; Комітет з питань гігієнічного регулювання; НКРЗУ, 1997. 38 с.
5. Каглян О. Є., Гудков Д. І., Кленус В. Г. та ін. Радіонуклідне забруднення представників іхтіофауни водойм Чорнобильської зони відчуження // Наук. записки Тернопіль. пед. ун-ту. Сер. біол. Спец. вип.: Гідроекологія. 2010. Т. 43. № 2. С. 219–222.
6. Каглян О., Гудков Д., Кленус В. та ін. Радіонуклідне забруднення риб прісних водойм України після аварії на ЧАЕС // Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього: Міжнар. конф. Зб. доп., висновки і рекомендації. (Київ, 20–22 квітня 2011 р.). К.: КіМ, 2011. Ч. 2. С. 301–306.
7. Кузьменко М. І., Гудков Д. І., Кіреєв С. І. та ін. Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах. К: Наук. думка, 2010. 263 с.
8. Лаврухина А. К., Малышева Т. В., Павлоцкая Ф. И. Радиохимический анализ. М.: АН СССР, 1963. 220 с.
9. Патент №95746. Україна, МПК G01T №1/169. Спосіб визначення ступеня максимального радіонуклідного забруднення іхтіофауни прісноводних водойм / Каглян О.Є., Гудков Д.І., Кленус В.Г. та ін. (Україна). 3 с.; Опубл. 2011 р., Промислова власність, № 16.
10. Handbook for assessment of the exposure of biota to ionizing radiation from radionuclides in the environment / (Eds.) J. Brown, P. Strand, A. Hosseini. – Project within the EC 5th Framework Programme, Contract № FIGE-CT-2000-00102. Stockholm, Framework for Assessment of Environmental Impact, 2003. 395 p.

Стаття: надійшла до редакції 21.09.11

доопрацьована 16.11.11

прийнята до друку 29.11.11

**DOSE RATE ON FISH DUE TO INCORPORATED RADIONUCLIDES
IN CHORNOBYL' EXCLUSION ZONE**

**O. Kaglyan¹, D. Gudkov¹, V. Klenus¹, Z. Shyroka¹, M. Kuz'menko¹, N. Pomortseva¹,
V. Tkachenko¹, A. Korobovych¹, N. Shevtsova¹, O. Nazarov², L. Yablonska¹, L. Yurchuk¹**

*¹Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine
12, Heroes of Stalingrad Ave., Kyiv UA- 04210, Ukraine
e-mail: alex_kt983@mail.ru*

*²"Chornobyl Radioecological Centre"
of the Ministry of Emergency Situation of Ukraine
6, Shkilna St., Chornobyl UA-07270, Ukraine*

The results of researches of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs content in freshwater fish in water bodies within the Chornobyl exclusion zone are presented. The ranges of the absorbed dose rate for fish from incorporated radionuclides are calculated. It is shown, that ⁹⁰Sr for present time is the main dose-formed radionuclide for fish of the majority of water bodies within the Chornobyl exclusion zone.

Keywords: the water bodies in the Chornobyl exclusion zone, fish, incorporated radionuclides, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, internal dose.

**ДОЗОВЫЕ НАГРУЗКИ НА РЫБ ОТ ИНКОРПОРИРОВАННЫХ
РАДИОНУКЛИДОВ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ**

**А. Каглян¹, Д. Гудков¹, В. Кленус¹, З. Широкая*, М. Кузьменко¹, Н. Поморцева¹,
В. Ткаченко¹, А. Коробович¹, Н. Шевцова¹, А. Назаров², Л. Яблонская¹, Л. Юрчук¹**

*¹Институт гидробиологии НАН Украины
пр. Героев Сталинграда, 12, Киев 04210, Украина
e-mail: alex_kt983@mail.ru*

*²Государственное специализированное научно-производственное
предприятие "Экоцентр" МЧС Украины
ул. Школьная, 6, Чернобыль 07270, Украина*

Приведены результаты радиоэкологических исследований содержания ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в пресноводных рыбах из водоёмов Чернобыльской зоны отчуждения. Показаны уровни дозовых нагрузок на рыб от инкорпорированных радионуклидов. Отмечено, что на современном этапе ⁹⁰Sr является основным дозообразующим радионуклидом для рыб из большинства водоёмов Чернобыльской зоны отчуждения.

Ключевые слова: водоёмы Чернобыльской зоны отчуждения, рыба, инкорпорированные радионуклиды, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, дозы внутреннего излучения.