

О. Є. Каглян^{1,*}, Д. І. Гудков¹, В. В. Беляєв¹, С. І. Кіреєв²,
Л. П. Юрчук¹, М. О. Меньковська¹

¹ Інститут гідробіології НАН України, Київ, Україна

² Державне спеціалізоване підприємство «Екоцентр»

Державного агентства України з управління зоною відчуження, Чорнобиль, Україна

*Відповідальний автор: alex_kt983@ukr.net

ПОТУЖНІСТЬ ПОГЛИНЕНОЇ ДОЗИ ЗОВНІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ ПРЕДСТАВНИКІВ ІХТІОФАУНИ ОЗЕР У ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ^a

Наведено величини потужності зовнішньої дози опромінення риб з озер чорнобильської зони відчуження станом на 2021 р., а саме: озера Азбучин (4 - 33 мкГр/год), Вершина (3 - 26 мкГр/год), Глибоке (2 - 16 мкГр/год) і Плютовище (0,02 - 0,16 мкГр/год). Найвищу зовнішню дозу опромінення отримують придонні види – лин і карась сріблястий, а найменшу – риби, які водяться переважно у пелагічній зоні водойм. Встановлено, що ¹³⁷Cs формує до 62,8 - 98,7 % поглиненої дози зовнішнього опромінення риб з досліджуваних водойм. Показано, що сучасні рівні потужності поглиненої зовнішньої дози для багатьох досліджених риб озер перевищують скринінгову дозу у 2 мкГр/год і в шести випадках з 22 перевищують безпечний рівень у 10 мкГр/год, рекомендований у рамках проєкту Європейської комісії “PROTECT”.

Ключові слова: чорнобильська зона відчуження, радіонуклідне забруднення, риби, зовнішнє опромінення, потужність поглиненої дози, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs.

1. Вступ

Радіонукліди, що накопичуються в організмі риб, обумовлюють внутрішню дозу опромінення, яка разом із зовнішньою (переважно від води та донних відкладів) формує загальну потужність поглиненої дози опромінення [1 - 4]. У чорнобильській зоні відчуження (ЧЗВ) величина зовнішнього опромінення риб залежить переважно від радіонуклідного забруднення різних ділянок водойми (екологічних зон), в яких перебуває той чи інший вид протягом різних етапів життєвого циклу [5 - 9]. На даний час головними дозоутворюючими радіонуклідами для водної біоти у ЧЗВ залишаються ⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs [10 - 13].

Метою досліджень була оцінка потужності зовнішньої поглиненої дози для риб різних екологічних груп у найбільш забруднених радіонуклідами озерах ЧЗВ.

2. Матеріал і методика досліджень

Дослідження виконували впродовж 2021 р. у трьох озерах з найвищими рівнями радіонуклідного забруднення у ЧЗВ – Азбучин, Вершина та Глибоке, розташованих на відстані 2,3 - 6,5 км від ЧАЕС, а також в оз. Плютовище, в якості умовного контролю, яке розташоване на відстані 23,5 км від ЧАЕС і характеризується порівняно невисокими рівнями радіонуклідного забруднен-

ня представників іхтіофауни у ЧЗВ [5, 14 - 17]. Були досліджені бентофаги – карась сріблястий *Carassius gibelio* Bloch (віком 2 - 12 років), лин звичайний *Tinca tinca* L. (2 - 9 років), плітка звичайна *Rutilus rutilus* L. (2 - 9 років), фітофаги – краснопірка звичайна *Scardinius erythrophthalmus* L. (2 - 9 років), планктонофаги – верховка звичайна *Leucaspis delineatus* Heckel (1 - 3 роки), а також хижі види риб – окунь звичайний *Perca fluviatilis* L. (2 - 9 років) і щука звичайна *Esox lucius* L. (2 - 9 років). Проби іхтіологічного матеріалу відбирали переважно трьома - п'ятьма ставними сітками (в кожній водоймі) з вічками 25 - 30 мм та довжиною 30 м, а також аматорськими знаряддями лову. Залежно від рельєфу дна водойми та складу донних відкладів у місцях вилову риб, відбирали донні відклади в кількості від 1 до 3 проб за допомогою дночерпака СДЧ-100. У місцях, де дно було однорідне з однаковою глибиною вздовж сітки відбирали 1 раз у центральній частині. Якщо ж склад донних відкладів був неоднорідним (замулений пісок чи мул), відбирали 2 - 3 проби. Крім того, здійснювали відбір донних відкладів на мілководді, а також у місцях, де був помічений нерест риби (зокрема відкладання яєць на вищій рослинності) і на ямах. У разі перекривання сітками проток з різними глибинами, донні відклади відбирали по краях сітки та по центру.

© О. Є. Каглян, Д. І. Гудков, В. В. Беляєв, С. І. Кіреєв, Л. П. Юрчук, М. О. Меньковська, 2024

^a Представлено на XXX Щорічній науковій конференції Інституту ядерних досліджень НАН України, Київ, 25 - 29 вересня 2023 р.

Вимірювання питомої активності ^{137}Cs у воді, донних відкладах та рибі виконували на базі гамма-спектрометричного комплексу у складі напівпровідникового коаксіального детектора GC4018-DET; свинцевого захисту LS06067 («Mirion Technologies – Canberra», Японія) цифрового аналізатора спектрів Lynx, базового програмного забезпечення S502C GENIE-2000. Визначення вмісту ^{90}Sr виконували радіохімічним методом із застосуванням оксалатної методики з вимірюванням дочірнього продукту ^{90}Y з використанням установки малого фону (УМФ-2000) [18]. Частину проб вимірювали без попередньої радіохімічної процедури з використанням спектрометра енергії бета-випромінювання (СЕБ-01-70). Величини питомої активності радіонуклідів наведено у цілому організмі риби в Бк/кг маси за природної вологості. Похибка вимірювань становила 15 - 5 %. Розраховане стандартне відхилення повною мірою характеризувало варіації вибірки згідно з [19].

Потужність зовнішньої дози опромінення визначали за допомогою модифікованої нами методики, описаної в роботі [20], на основі програмного забезпечення [21] з використанням особливостей сезонно-міграційної поведінки різних видів риби [22 - 25].

3. Результати досліджень та їх обговорення

Величини потужності поглиненої дози зовнішнього опромінення риби залежать не тільки від ступеня радіонуклідного забруднення донних відкладів, прилеглих до водного дзеркала берегів і води досліджених озер, а також і від розмірно-вагових характеристик риби. Тому розрахунки дози опромінення для всіх досліджуваних видів риби виконували для декількох вибірок, представники яких мали подібні розмірно-вагові характеристики. Усереднену потужність зовнішньої дози

для всіх досліджуваних видів риби розраховували як середнє арифметичне з величин середньорічної потужності поглиненої дози зовнішнього опромінення кожної з досліджених розмірно-вагових груп для окремих видів риби. Так, наприклад, усіх вилловлених за рік окунів з оз. Вершина розділили на три окремі групи за близькими розмірами та вагою: перша група 15 - 25, друга – 40 - 50 та третя – 100 - 150 г. Результати аналізу показали, що потужність середньорічної поглиненої дози зовнішнього опромінення для першої групи окунів становила 10,0, для другої – 9,7 та для третьої – 9,2 мкГр/год. У цілому, середнє значення потужності поглиненої дози зовнішнього опромінення всіх представників виду, враховуючи похибку вимірювання питомої активності риби, донних відкладів, а також стандартне відхилення, становило $9,6 \pm 3,3$ мкГр/год. Таким чином, зі зменшенням розмірно-вагових параметрів риби, спостерігали збільшення потужності поглиненої дози зовнішнього опромінення.

Для більшої наочності нами наведено значення питомої активності радіонуклідів у воді, донних відкладах (у місцях нересту, нагулу риби, а також у зимувальних ямах із зазначенням товщини донних відкладів) та рибі досліджених водойм (озера Азбучин, Вершина, Глибоке та Плютовище) станом на 2021 р. (табл. 1 - 4)

Таблиця 1. Середня питома активність радіонуклідів у воді досліджених водойм ЧЗВ у 2021 р., Бк/л

Водойма	^{90}Sr	^{137}Cs
Оз. Вершина	283 ± 53	$6,8 \pm 2,1$
Оз. Азбучин	410 ± 51	$6,4 \pm 1,1$
Оз. Глибоке	52 ± 18	$2,5 \pm 0,5$
Оз. Плютовище	$0,9 \pm 0,2$	$0,6 \pm 0,2$

Таблиця 2. Середня питома активність радіонуклідів в 0 - 35 см донних відкладів водойм, кБк/кг повітряно-сухої маси

Тип донних відкладів	Нерест		Нагул		Зимувальні ями	
	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs
Оз. Вершина						
Пісок*	$8,2 \pm 1,3$	$11,5 \pm 1,3$	x**	x**	x**	x**
Мул	$193,1 \pm 47,3$	$261,1 \pm 70,5$	$127,8 \pm 38,4$	$187,2 \pm 39,3$	$259,7 \pm 64,3$	$700,9 \pm 210,2$
Оз. Азбучин						
Пісок	$9,9 \pm 2,5$	$26,3 \pm 3,3$	x**	x**	x**	x**
Мул	$240,1 \pm 58,3$	$173,8 \pm 42,6$	$226,8 \pm 70,3$	$327,0 \pm 80,1$	$370,6 \pm 96,4$	$578,0 \pm 167,6$
Оз. Глибоке						
Пісок	$0,6 \pm 0,1$	$3,4 \pm 0,6$	x**	x**	x**	x**
Мул	$22,8 \pm 6,8$	$131,0 \pm 34,1$	$30,2 \pm 10,6$	$86,2 \pm 13,6$	$51,7 \pm 15,5$	$436,0 \pm 117,7$
Оз. Плютовище						
Пісок	$0,1 \pm 0,05$	$0,1 \pm 0,04$	x**	x**	x**	x**
Мул			$2,6 \pm 0,7$	$5,5 \pm 1,4$	$2,8 \pm 0,8$	$5,8 \pm 1,4$

Примітки. * Слабко-замулені піщані донні відклади; ** дослідження не проводили.

Таблиця 3. Середня питома активність радіонуклідів у риб досліджених водойм ЧЗВ, кБк/кг сирі маси

Риба	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
Оз. Вершина		
Карась сріблястий	122 ± 12,1	1,9 ± 0,6
Краснопірка	137,7 ± 6,8	3,2 ± 1,1
Вівсянка	74,5 ± 3,2	3,7 ± 0,9
Окунь	60,3 ± 11,4	4,1 ± 0,8
Щука	50,0 ± 4,1	5,2 ± 0,5
Оз. Азбучин		
Карась сріблястий	22,6 ± 8,4	2,0 ± 0,4
Лин	17,4 ± 2,3	1,7 ± 0,3
Вівсянка	19,0 ± 0,9	2,1 ± 0,5
Щука	19,4 ± 6,0	3,3 ± 0,5
Оз. Глибоке		
Карась сріблястий	17,9 ± 4,8	1,8 ± 0,4
Лин	11,9 ± 2,8	1,5 ± 0,3
Краснопірка	18,2 ± 3,5	2,3 ± 0,9
Вівсянка	6,9 ± 0,5	1,1 ± 0,2
Окунь	9,0 ± 2,7	3,6 ± 0,7
Щука	8,6 ± 2,4	3,7 ± 0,6
Оз. Плютовище		
Карась сріблястий	0,4 ± 0,06	0,07 ± 0,02
Лин	0,3 ± 0,05	0,04 ± 0,01
Краснопірка	0,4 ± 0,09	0,08 ± 0,02
Окунь	0,2 ± 0,04	0,06 ± 0,02

Для піщаних донних відкладів коефіцієнт усушки (який ми наводимо в таблиці програми ERICA [21] для розрахунків дози опромінення риб) у різних водоймах відмічено у межах 66 - 87 %, а для мулів – 13,2 - 48 %. Донні відклади

відбирали товщиною до 35 см у місцях вилову риби в різні сезони.

Результати визначення питомої активності в досліджуваних видах риб наведено в табл. 3.

Таблиця 4. Ймовірне перебування риб упродовж різних періодів життєвого циклу у різних зонах досліджених водойм ЧЗВ (розраховано за даними [22 - 25])

Зона водойми	Карась	Лин	Щука	Окунь	Краснопірка	Верховка
Зимовий період						
Поверхня води	0	0	0	0	0	0
Товща води	0	0	0,4	0,4	0,7	0,8
Поверхня дна	0	0	0,6	0,6	0,3	0,2
Донні відклади	1	1	0	0	0	0
Нерестовий період						
Поверхня води	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Товща води	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Поверхня дна	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Донні відклади	0	0	0	0	0	0
Нагул риби						
Поверхня води	0	0	0,1	0	0,3	0,9
Товща води	0,2	0	0,4	0,4	0,6	0,1
Поверхня дна	0,7	0,8	0,5	0,6	0,1	0
Донні відклади	0,1	0,2	0	0	0	0

Для розрахунку з використанням програмного забезпечення “ERICA” необхідно було врахувати положення (відстань) риб над донними відкладами та відстань від риби до поверхні води. На основі літературних даних [22 - 25] та влас-

них спостережень [7, 10, 20] при вилові риби в різні сезони, нами були виконані розрахунки (табл. 4), де 1 – це 100 % знаходження риби протягом сезону у вказаному місці та табл. 5, в якій вказано ймовірний термін (добі) перебування

Таблиця 5. Ймовірні терміни зимівлі, нересту, нагулу та підготовки до зимівлі для різних видів риби, доби

Риба	Зимівля	Нерест	Нагул	Передзимовий період
Карась	90 ± 10	92 ± 10	122 ± 10	61 ± 5
Лин	120 ± 15	122 ± 15	92 ± 10	30 ± 5
Краснопірка	90 ± 10	92 ± 10	122 ± 10	61 ± 5
Верховка	90 ± 10	92 ± 10	122 ± 10	61 ± 5
Окунь	90 ± 10	92 ± 10	122 ± 10	61 ± 5
Щука	90 ± 10	92 ± 10	122 ± 10	61 ± 5

представників досліджуваних видів риби під час зимівлі, нересту тощо. Цілком зрозуміло, що під час відлиги міграційна поведінка різних видів риби та їхнє перебування у різних екологічних зонах водойм може змінюватися, тому представлені таблиці є досить наближеними і потребують доопрацювання. Також нами було зроблено припущення, що шар води до 20 см над донними відкладами вважається придонним шаром, а вище – водною товщею. Опроміненням від берегів озера ми можемо знехтувати, оскільки риби переважно більшість часу знаходяться на порівняно далекій відстані від берегів і водна товща у даному випадку є природним екраном.

За бажанням дослідника, в табл. 4 і 5 можна комбінувати нерестовий та нагульний періоди, а також нагульний та зимовий періоди (як підготовка риби до зимівлі) відносно часу перебування риби, зменшуючи один чи збільшуючи в часі інший тощо. Зрозуміло, що нерест риби проходить короткочасно, але розтягується порційно, часто на тривалий час і все це врахувати неможливо. Результати досліджень представників найбільш поширених видів риби з досліджуваних озер представлено в табл. 6.

Таблиця 6. Величини усередненої потужності зовнішньої дози опромінення риби з озер ЧЗВ у 2021 р., мкГр/год

Вид	Оз. Азбучин	Оз. Вершина	Оз. Глибоке	Оз. Плютовище
Лин	33 ± 8	x*	16 ± 4	0,16 ± 0,03
Карась сріблястий	26 ± 7	26 ± 9	15 ± 4	0,13 ± 0,03
Окунь	x*	10 ± 3	6 ± 2	0,06 ± 0,01
Щука	10 ± 3	9 ± 3	5 ± 2	x*
Краснопірка	x*	4 ± 1	3 ± 1	0,02 ± 0,002
Верховка	4 ± 1	3 ± 0,9	2 ± 0,6	x*

Примітка. * Відсутні у виловках.

На рис. 1 наведено середню потужність поглиненої дози зовнішнього опромінення риби досліджуваних озер. Станом на 2021 р. усереднені величини потужності поглиненої дози зовнішнього опромінення риби озер Азбучин, Вершина, Глибоке та Плютовище знаходилися відповідно в межах: 4 - 33, 3 - 26, 2 - 16 та 0,02 - 0,16 мкГр/год. Найвищу зовнішню дозу опромінення отримують придонні види риби – лин і карась сріблястий, що занурюються майже на весь зимовий період у донні відклади, а найменшу – краснопірка та поверхневі види риби (верховка).

Як видно з рис. 1 і 2 частка дозового навантаження, яка обумовлена опроміненням ⁹⁰Sr, становить усього від 1,3 до 37,2 % зовнішньої дози опромінення риби. Отже, ¹³⁷Cs є радіонуклідом, що формує переважну частину поглиненої дози зовнішнього опромінення риби в озерах ЧЗВ.

На рис. 3 відображено частку зовнішнього та внутрішнього дозового навантаження на рибу у загальній дозі опромінення представників різних видів риби. Для обрахунків потужності зовнішньої та внутрішньої поглиненої дози опромінення, як зазначено вище, були взяті одні й ті ж вибірки риби для кожного виду. На відміну від зовнішньої, внутрішня поглинена доза опромінення риби для водойм зі стабільним гідрологічним режимом характеризується тим, що чим більші, в основному, розмірно-вагові показники риби, тим більша, до певної міри, питома активність інкорпорованих в організм риби радіонуклідів ⁹⁰Sr та ¹³⁷Cs, як це показано в наших дослідженнях [14, 16] і, відповідно, більша величина потужності поглиненої внутрішньої дози опромінення. Проте дане твердження не стосується водойм, в яких відбулася різка зміна гідрологічного режиму [10].

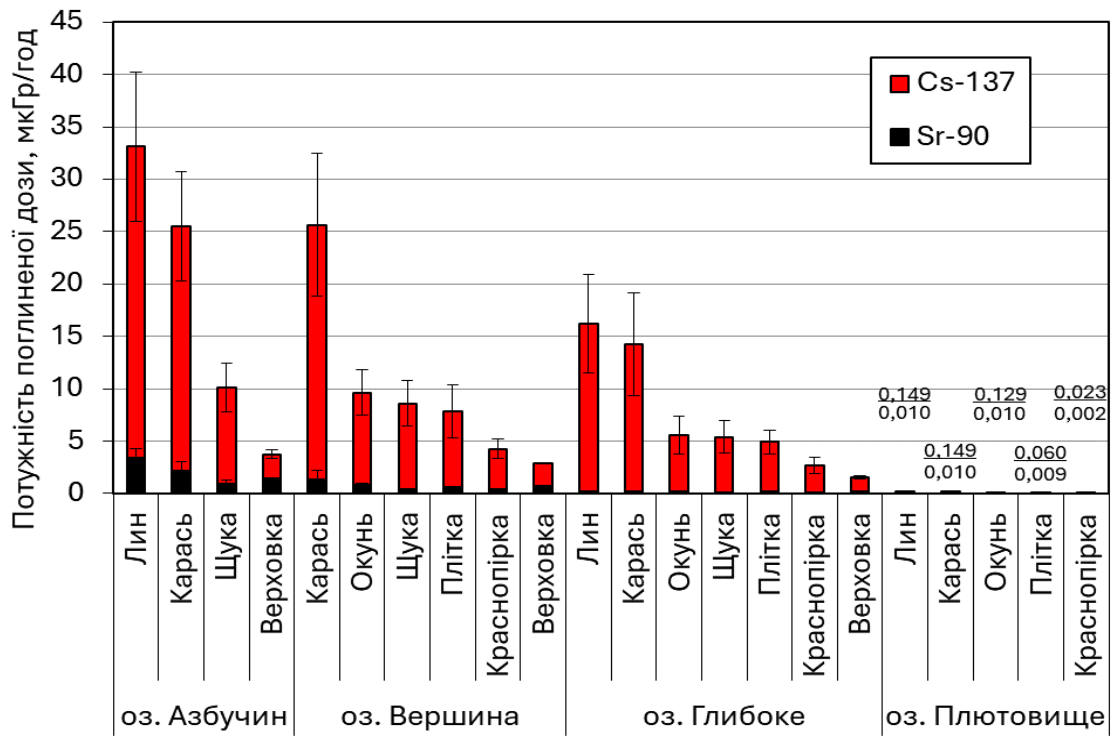


Рис. 1. Усереднена потужність поглиненої дози зовнішнього опромінення риб ЧЗВ (для риб оз. Плітковище вказано цифрові значення дози), мкГр/год. (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

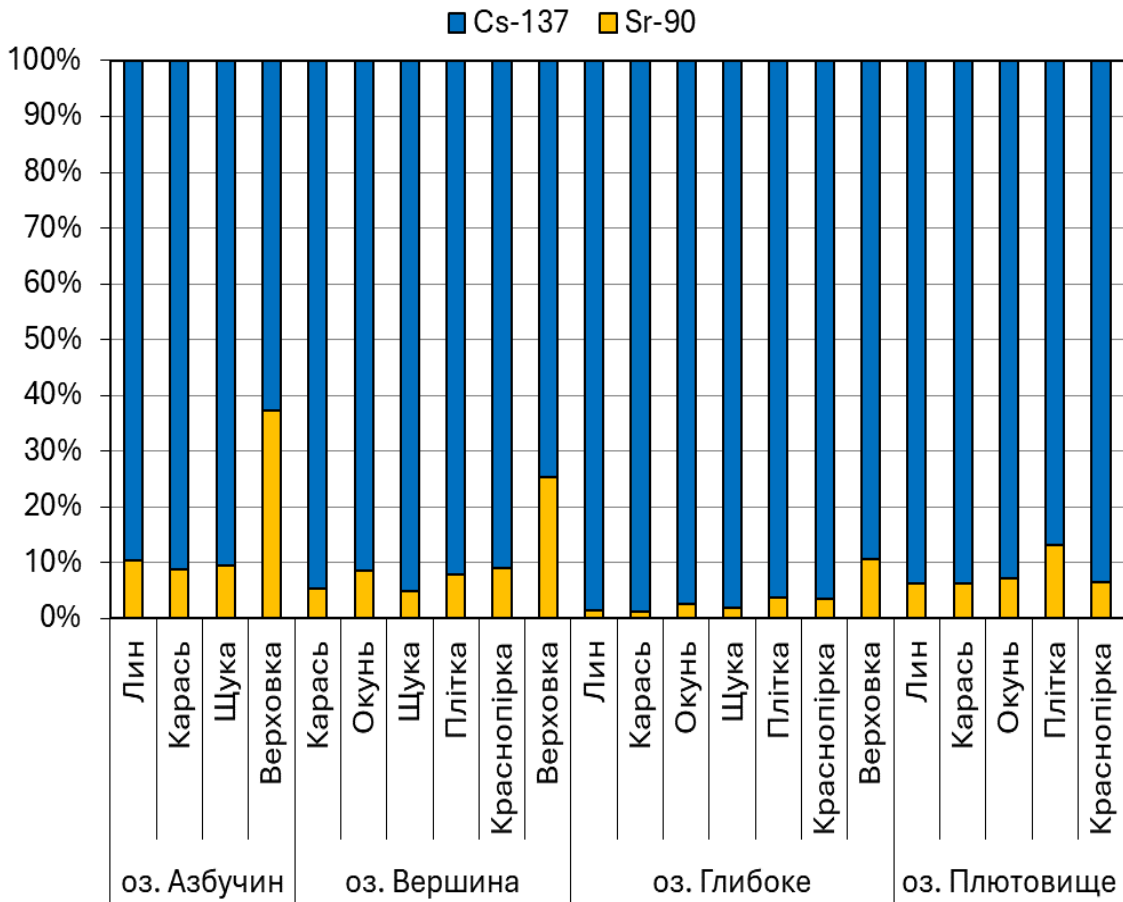


Рис. 2. Внесок радіонуклідів у формуванні зовнішньої дози опромінення риб озер ЧЗВ, %. (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

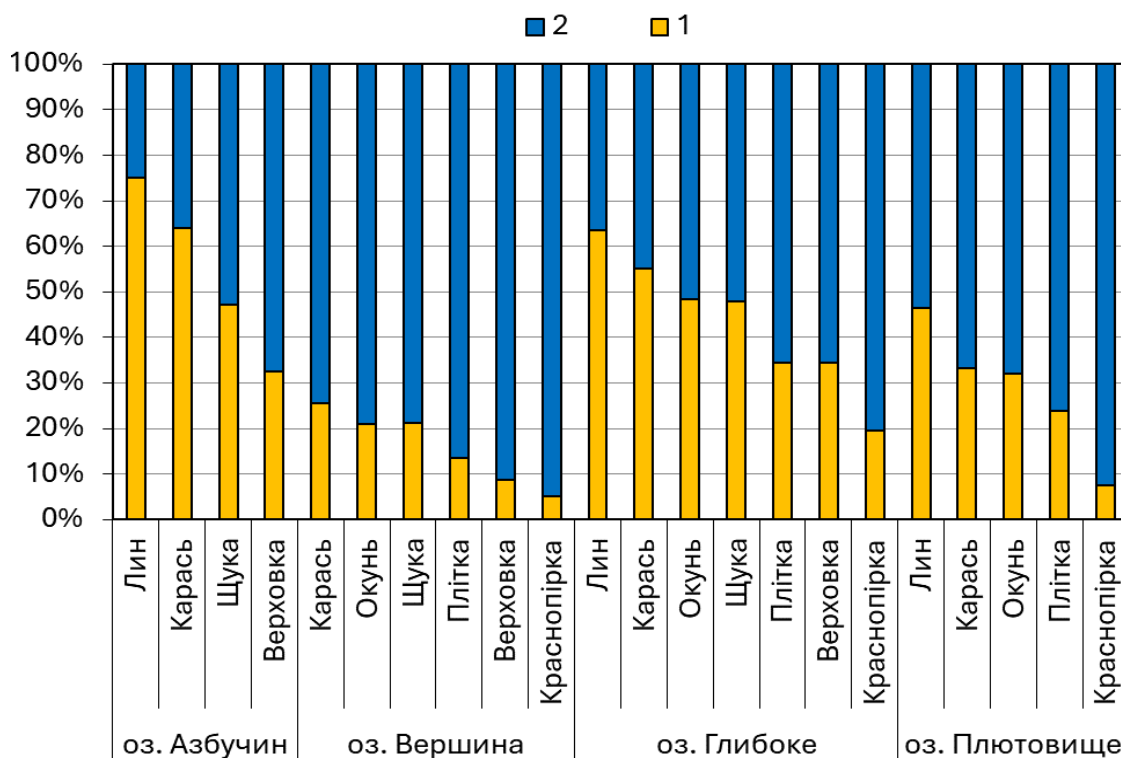


Рис. 3. Співвідношення зовнішнього (1) та внутрішнього (2) опромінення риб ЧЗВ. (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

Максимальна частка, що припадає на зовнішнє опромінення риб у загальному дозовому навантаженні, відмічена для лина та карася сріблястого з оз. Азбучин (64 - 75 %), оз. Глибоке (54 - 62 %) та оз. Плютовище (32 - 47 %). У зв'язку з аномально високою питомою активністю ^{90}Sr в рибі оз. Вершина та пов'язаною з цим максимальною внутрішньою дозою опромінення від інкорпорованого ^{90}Sr , частка зовнішнього опромінення в загальному навантаженні є мінімальною (5 - 26 %) для всіх риб в озері. Таким чином, тільки у чотирьох випадках з 22 досліджених видів риб з різних озер частка зовнішнього дозового навантаження перевищувала потужність поглиненої дози внутрішнього опромінення. Зареєстровані сучасні рівні усередненої потужності поглиненої зовнішньої дози для багатьох досліджених риб озер перевищують скринінгову дозу у 2 мкГр/год і для шести видів перевищують безпечний рівень у 10 мкГр/год (усього перевищення середньорічної потужності у 10 мкГр/год зовнішньої дози мало місце у 18 випадках із 101 досліджених екземплярів риб), рекомендований у рамках проекту Європейської комісії "PROTECT" [26, 27].

4. Висновки

Найвищу зовнішню дозу опромінення в озерах ЧЗВ отримують такі придонні види риб,

як лин і карась сріблястий, а найменшу – краснопірка та приповерхнева верховка.

У формуванні зовнішньої потужності поглиненої дози риб в озерах ЧЗВ визначальну роль відіграє ^{137}Cs , який депонований у донних відкладах водойм, і на внесок якого припадає від 63 до 99 % зовнішнього опромінення.

Станом на 2021 р. частка зовнішнього дозового навантаження на риб в озерах ЧЗВ в основному не перевищувала потужність поглиненої дози внутрішнього опромінення.

Зареєстровані рівні середньорічної потужності поглиненої зовнішньої дози для багатьох досліджених риб перевищують скринінгову дозу у 2 мкГр/год і для шести випадків перевищують безпечний рівень у 10 мкГр/год, рекомендований у рамках проекту Європейської комісії "PROTECT".

Роботу виконано за підтримки Національного фонду досліджень України (проект № 2020.02/0264), Національної академії наук України, а також у співробітництві з Державним спеціалізованим підприємством «Екоцентр» Державного агентства України з управління зоною відчуження та Чорнобильським радіаційно-екологічним біосферним заповідником.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- I.I. Kryshev, T.G. Sazykina. Assessment of radiation doses to aquatic organism's in the Chernobyl contaminated area. *Journal of Environmental Radioactivity* 28(1) (1995) 91.
- D.I. Gudkov et al. Aquatic plants and animals in the Chernobyl exclusion zone: effects of long-term radiation exposure on different levels of biological organization. In: V. Korogodina, C. Mothersill, S. Inge-Vechtomov, C. Seymour (Eds.) *Genetics, Evolution and Radiation* (Springer, Cham, 2016) p. 287.
- V.V. Belyaev et al. Radiation dose reconstruction for higher aquatic plants and fish in Glyboke Lake during the early phase of the Chernobyl accident. *Journal of Environmental Radioactivity* 263 (2023) 107169.
- Ye.N. Volkova et al. Radiation dose formation in freshwater fishes at the embryonic stage of their development. *Hydrobiological Journal* 50(1) (2014) 72.
- О.Є. Каглян та ін. Динаміка питомої активності ^{90}Sr та ^{137}Cs в представниках іхтіофауни водойм Чорнобильської зони відчуження. *Ядерна фізика та енергетика* 22 (2021) 62. / A.Ye. Kaglyan et al. Dynamics of specific activity of ^{90}Sr and ^{137}Cs in representatives of ichthyofauna of Chornobyl Exclusion Zone. *Nucl. Phys. At. Energy* 22 (2021) 62. (Ukr)
- D.I. Gudkov et al. Radionuclides in components of aquatic ecosystems of the Chernobyl accident restriction zone. In: *20 Years After the Chernobyl Accident: Past, Present and Future*. E.B. Burlakova, V.I. Naidich (Eds.) (New York: Nova Science Publishers, Inc., 2006) p. 265.
- A.E. Kaglyan et al. Levels of radionuclide contamination of fish of Vershyna Lake in the Chornobyl Exclusion Zone. In: *Energy and Clean Technologies. Proc. of the 22nd Int. Multidisciplinary Scientific GeoConf. (SGEM 2022)*. O. Trofymchuk, B. Rivza (Eds.). Vol. 22, Iss. 4.2, Vienna, Austria, December 6 - 8, 2022 (Vienna, 2022) p. 473.
- М.І. Кузьменко та ін. *Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах* (Київ: Наук. думка, 2010) 262 с. / M.I. Kuzmenko et al. *Man-Made Radionuclides in Freshwater Ecosystems* (Kyiv: Naukova Dumka, 2010) 262 p. (Ukr)
- D.I. Gudkov et al. Radioecological problems of aquatic ecosystems of the Chernobyl exclusion zone. *Biophysics* 55 (2010) 332.
- O.Ye. Kaglyan et al. Changes in radiation exposure rate of fish of the cooling pond of the Chernobyl NPS and Lake Azbuchyn after water level lowering. *Hydrobiological Journal* 59(2) (2023) 96.
- R. Bezhenar et al. 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* 15(8) (2023) 1504.
- I. Mironyuk et al. Investigation of the chemical and radiation stability of titanium dioxide with surface arsenate groups during ^{90}Sr adsorption. *Journal of Environmental Radioactivity* 251-252 (2022) 106974.
- O. Kashparova et al. Clean feed as countermeasure to reduce the ^{90}Sr and ^{137}Cs levels in fish from contaminated lakes. *Journal of Environmental Radioactivity* 258 (2023) 107091.
- А.Е. Каглян и др. Радионуклиды в аборигенных видах рыб Чернобыльской зоны отчуждения. *Ядерна фізика та енергетика* 13(3) (2012) 306. / O.Ye. Kaglyan et al. Radionuclides in the indigenous fish species of the Chernobyl exclusion zone. *Nucl. Phys. At. Energy* 13(3) (2012) 306. (Rus)
- О.Л. Зарубин и др. Удельная активность ^{137}Cs у рыб Украины. Современное состояние. *Ядерна фізика та енергетика* 14(2) (2013) 177. / O.L. Zarubin et al. Specific activity ^{137}Cs at fishes of Ukraine. Current state. *Nucl. Phys. At. Energy* 14(2) (2013) 177. (Rus)
- A.Ye. Kaglyan et al. Radionuclides in fish of the Chernobyl exclusion zone: species-specificity, seasonality, size- and age-dependent features of accumulation. In: *Radiation and Application in Various Fields of Research. Proc. of the 3rd Int. Conf. G. Ristić (Ed.), Slovenska Plaza, Budva, Montenegro, June 8 - 12, 2015 (Serbia, Niš: Rad Association, 2015) p. 249.*
- P. Pavlenko et al. Prussian Blue to reduce radiocesium accumulation in fish in lakes affected by the Chornobyl accident. *Journal of Environmental Radioactivity* 270 (2023) 107282.
- Практикум по ветеринарной радиобиологии*. Под ред. А.Д. Белова (Москва: Агропромиздат, 1988) с. 236. / *Practicum on Veterinary Radiobiology*. A.D. Belov (Ed.) (Moskva: Agropromizdat, 1988) p. 236. (Rus)
- П.Ф. Рокицкий. *Биологическая статистика* (Минск: Высшейш. шк., 1973) 320 с. / P.F. Rokitsky. *Biological Statistics* (Minsk: Vyshejshaya Shkola, 1973) 320 p. (Rus)
- A.Ye. Kaglyan et al. Fish of the Chernobyl exclusion zone: modern levels of radionuclide contamination and radiation doses. *Hydrobiological Journal* 55(5) (2019) 81.
- ERICA Assessment Tool 1.0. The integrated approach seeks to combine exposure/dose/effect assessment with risk characterization and managerial considerations.
- Ю.В. Мовчан. *Риби України* (Київ: Золоті ворота, 2011) 420 с. / Yu.V. Movchan. *Fish of Ukraine* (Kyiv: Zoloti Vorota, 2011) 420 p. (Ukr)
- Ю.В. Мовчан, А.І. Смірнов. Риби. Коропові. У кн.: *Фауна України. У сорока томах*. Том 8, вип. 2, част. 2 (Київ: Наук. думка, 1983) с. 354. / Yu.V. Movchan, A.I. Smirnov. Fishes. Carp. In: *Fauna of Ukraine*. In forty volumes. Vol. 8, iss. 2, part 2 (Kyiv: Naukova Dumka, 1983) p. 354. (Ukr)
- А.Я. Щербуха. Риби. Окунеподібні. У кн.: *Фауна України. У сорока томах*. Том 8, вип. 4 (Київ: Наук. думка, 1982) с. 384. / A.Ya. Shcherbukha. Fishes. Piscivorous. In: *Fauna of Ukraine*. In forty volumes. Vol. 8, iss. 4 (Kyiv: Naukova Dumka, 1983) p. 384. (Ukr)

25. П.Й. Павлов. Риби. Щукові. У кн.. *Фауна України*. У сорока томах. Том 8, вип. 1 (Київ: Наук. думка, 1980) с. 352. / P.I. Pavlov. Fishes. Pike. In: *Fauna of Ukraine*. In forty volumes. Vol. 8, iss. 1 (Kyiv: Naukova Dumka, 1983) p. 384. (Ukr)
26. P. Andersson et al. Protection of the environment from ionising radiation in a regulatory context (protect): proposed numerical benchmark values. *Journal of Environmental Radioactivity* 100 (2009) 1100.
27. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II. Effects. Annex E. Effect of ionizing radiation on non-human biota (New York: United Nations, 2011) p. 221.

**A. Ye. Kaglyan^{1,*}, D. I. Gudkov¹, V. V. Belyaev¹, S. I. Kireev²,
L. P. Yurchuk¹, M. O. Men'kovska¹**

¹ *Institute of Hydrobiology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

² *State Specialized Enterprise "Ecocentre",*

State Agency of Ukraine on Exclusion Zone Management, Chornobyl, Ukraine

*Corresponding author: alex_kt983@ukr.net

THE ABSORBED DOSE RATE OF EXTERNAL EXPOSURE TO REPRESENTATIVES OF ICHTHYOFAUNA OF LAKES IN THE CHORNOBYL EXCLUSION ZONE

The limits of the average value of the average annual external radiation dose rate of fishes from four lakes (with different degrees of radionuclide pollution of ichthyofauna representatives) of the Chornobyl Exclusion Zone as of 2021 are given, namely: Azbuchyn Lake (4 - 33 $\mu\text{Gy/h}$), Vershyna Lake (3 - 26 $\mu\text{Gy/h}$), Glyboke Lake (2 - 15 $\mu\text{Gy/h}$) and Plyutovyshche Lake (0.02 - 0.16 $\mu\text{Gy/h}$). Bottom-dwelling fish species such as tench and Prussian carp receive the highest external radiation dose, and rudd and surface fish species receive the lowest. It has been proven that the radionuclide ^{137}Cs forms from 62.8 to 98.7 % of the absorbed dose of external irradiation of fishes from the studied water bodies. It is clearly shown that the current levels of the average annual absorbed external dose rate for many of the studied fishes of the lakes exceed the screening dose of 2 $\mu\text{Gy/h}$ and in 6 cases out of 22 exceed the safe level of 10 $\mu\text{Gy/h}$ recommended by the European Commission project "PROTECT".

Keywords: Chornobyl Exclusion Zone, Azbuchyn Lake, Vershyna Lake, Hlyboke Lake, Plyutovyshche Lake, fish, absorbed irradiation dose rate, ^{90}Sr , ^{137}Cs .

Надійшла / Received 09.11.2023