

О. Є. Каглян^{1*}, Д. І. Гудков¹, С. І. Кірсєв², **В. Г. Кленус¹**,
В. В. Беляєв¹, Л. П. Юрчук¹, В. В. Дроздов², О. О. Гупало¹

¹ Інститут гідробіології НАН України, Київ, Україна

² Державне спеціалізоване підприємство «Екоцентр» ДАЗВ України, Чорнобиль, Україна

*Відповідальний автор: alex_kt983@ukr.net

ДИНАМІКА ПИТОМОЇ АКТИВНОСТІ ⁹⁰Sr І ¹³⁷Cs У ПРЕДСТАВНИКІВ ІХТІОФАУНИ ВОДОЙМ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

Наведено результати оцінки рівнів радіонуклідного забруднення риб упродовж 2013 - 2019 рр. у водних об'єктах Чорнобильської зони відчуження: озерах Азбучин, Вершина, Глибоке, Далеке, Янівському затоні, водоймі-охолоджувачі ЧАЕС та р. Прип'ять. Установлено, що питома активність ¹³⁷Cs у представників іхтіофауни безстічних водойм у період досліджень продовжувала знижуватись, у той час як активність ⁹⁰Sr, за певними винятками, залишалась без змін або зростала. Вміст радіонуклідів у рибі досліджених водойм близько в 60 - 5000 разів за ⁹⁰Sr та в 3 - 200 разів за ¹³⁷Cs перевищував прийнятні в Україні допустимі рівні для рибної продукції.

Ключові слова: Чорнобильська зона відчуження, водойми, риби, радіонуклідне забруднення, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr.

1. Вступ

Радіонукліди, що надходять у водойми, залучаються до біогеохімічних процесів розподілу речовин між біотичними та абіотичними компонентами екосистем, а також до подальшої міграції по харчових ланцюгах, накопичуючись в організмах кінцевих ланок. Зазвичай верхні трофічні рівні у водоймах займають риби, які за хімічною подібністю до біологічно значущих елементів активно концентрують більшість штучних і природних радіонуклідів у різних органах і тканинах. У водоймах, що зазнали інтенсивного радіонуклідного забруднення внаслідок аварійних ситуацій на підприємствах ядерного паливного циклу, процес накопичення радіонуклідів рибами може відбуватися до біологічно небезпечних рівнів [1 - 11]. Тому дослідження, що охоплюють аналіз динаміки питомої активності радіонуклідів у рибі природних водойм, є важливим елементом стратегії збереження іхтіофауни як одного з найбільш радіаційно-чутливих компонентів водних екосистем, а також становлять необхідну інформаційну базу при розробці контрзаходів, які, у разі перевищення санітарно-гігієнічних нормативів вмісту радіонуклідів у продуктах харчування, забезпечують безпеку здоров'я людини при споживанні забрудненої радіонуклідами риби [12 - 18].

Аварія на ЧАЕС є наймасштабнішою катастрофою в історії атомної індустрії як за кількістю радіонуклідів, що надійшли до навколишнього середовища, так і за площею забруднених територій.

Унаслідок атмосферного і водного переносу широкого спектра радіонуклідів, що знаходились у четвертому енергоблоці під час аварії, величезні за площею водозбори та акваторії зазнали інтенсивного забруднення. У даний час у водоймах Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) головними дозоутворюючими радіонуклідами для біоти є ⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs [15, 18 - 25]. Міністерством охорони здоров'я України були затверджені Державні гігієнічні нормативи «Допустимі рівні вмісту ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr у продуктах харчування та питній воді», згідно з якими допустима питома активність цих радіонуклідів у рибі була встановлена на рівні 150 і 35 Бк/кг відповідно [13].

Головним завданням виконаних досліджень був аналіз сучасних рівнів та динаміки питомої активності ⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs у риб різних екологічних груп, які населяють водойми ЧЗВ з різним гідрологічним режимом та рівнем радіонуклідного забруднення.

2. Матеріал і методика досліджень

Дослідження виконували в період 2013 - 2019 рр. у найбільш забруднених радіонуклідами водоймах ЧЗВ – озерах Азбучин, Вершина, Глибоке, Далеке, Янівському затоні, водоймі-охолоджувачі (ВО) ЧАЕС, а також у р. Прип'ять у межах ЧЗВ. Іхтіологічний матеріал для досліджень відбирали в рамках регламенту радіоекологічного моніторингу водних біоценозів та у співпраці з ДСП «Екоцентр» ДАЗВ України.

Загалом було досліджено 15 видів риб – 5 хижих і 10 «мирних». Серед хижих риб аналізували

сома європейського *Silurus glanis* L. (віком від 4 до 15 років), щуку звичайну *Esox lucius* L. (1 - 11 років), судака звичайного *Sander lucioperca* L. (3 - 9 років), білизну європейську *Aspius aspius* L. (2 - 9 років) та окуня звичайного *Perca fluviatilis* L. (4 - 9 років). Серед «мирних» видів досліджували еврифагів, схильних до хижацтва, – головня європейського *Squalius cephalus* L. (4 - 10 років) і чехоню звичайну *Pelecus cultratus* L. (2 - 8 років); фітофагів – краснопірку звичайну *Scardinius erythrophthalmus* L. (2 - 9 років); пелагічних зоопланктонофагів та планктонофагів – верховодку звичайну *Alburnus alburnus* L. (2 - 6 років), верховку (вівсянку) звичайну *Leucaspis delineatus* Heckel (1 - 3 роки); бентофагів – карася сріблястого *Carassius gibelio* Bloch (1 - 12 років), лина звичайного *Tinca tinca* L. (7 - 9 років), ляща звичайного *Abramis brama* L. (2 - 9 років), коропа звичайного *Cyprinus carpio* L. (3 - 9 років) та плітку звичайну *Rutilus rutilus* L. (4 - 9 років). Класифікація риб наведена виходячи з переважаючого типу харчування для зазначених вікових груп відповідно до [26 - 27]. Загалом було проаналізовано понад 2000 екземплярів риб. Середня кількість риб у річній вибірці для кожного виду становила 15 екземплярів.

Вимірювання питомої активності ^{137}Cs в риби виконували на базі γ -спектрометричного комплексу у складі германій-літійового детектора ДГДК-100В, амплітудного аналізатора SBS-30 та програмного забезпечення «GreenStar» (РФ). Визначення вмісту ^{90}Sr виконували радіохімічними методами із застосуванням оксалатної методики з вимірюванням на установці малого фону УМФ-2000 («Доза», РФ) дочірнього продукту ^{90}Y [28]. Для деяких видів використовували методи визначення питомої активності радіонуклідів згідно з [29, 30]. Похибка вимірювань становила 15 - 25 %. Розраховане стандартне відхилення повною мірою характеризувало варіації вибірки [31]. Величини питомої активності радіонуклідів ^{90}Sr та ^{137}Cs наведено в цілому організмі риби у Бк/кг маси за природної вологості.

Певна особливість досліджень у ВО ЧАЕС і оз. Азбучин полягала в досить різкій зміні морфометрії, а також гідрологічного і гідробіологічного режимів цих водойм упродовж 2015 - 2019 рр., оскільки в рамках «Програми зняття з експлуатації ЧАЕС» з листопада 2014 р. після припинення водопостачання до ВО з р. Прип'ять почався процес природного зниження рівня води, переважно за рахунок фільтрації через тіло огорожувальної дамби. При цьому зменшення підпору ВО призвело до зниження рівня води в розташованих навколо водоймах, зокрема в оз. Азбучин.

Наведені для ВО дані відносяться до найбільш вивченої північно-західної частини акваторії, що є в даний час відокремленою водоймою.

3. Результати досліджень та обговорення

Дослідження іхтіофауни ЧЗВ свідчать про значну гетерогенність питомої активності ^{90}Sr і ^{137}Cs та її співвідношення в організмі риб різних водойм, що визначається в першу чергу інтенсивністю та складом радіонуклідного забруднення водних об'єктів і прилеглих територій під час активної стадії аварії на ЧАЕС, подальшими процесами трансформації та вторинного надходження радіоактивних речовин у водойми, а також особливостями їхнього гідрохімічного режиму, що впливає на форми знаходження радіонуклідів і ступінь їхньої доступності для біоти. Важливим джерелом надходження радіонуклідів до організму риб, як безпосереднього (завдяки дифузійним процесам через зябра та шкірні покриви), так і опосередкованого (у результаті переходу по трофічних ланцюгах), є оточуюче водне середовище. Питому активність радіонуклідів та концентрації іонів K^+ і Ca^{2+} у воді досліджуваних водойм ЧЗВ наведено в табл. 1.

Найвищими значеннями питомої активності радіонуклідів характеризуються риби озерних екосистем, що розташовані на території західного та південно-західного слів аварійних викидів ЧАЕС. Серед таких водойм слід відзначити безстічне оз. Вершина, що розташоване в центральній частині одамбованої ділянки Красненської заплави і в якому зареєстровано найвищі рівні радіонуклідного забруднення представників іхтіофауни серед досліджених нами водойм у ЧЗВ. Значно меншими рівнями забруднення, але з певною відмінністю співвідношення питомої активності радіонуклідів у риби, характеризуються озера Азбучин і Глибоке, які є природними водоймами відповідно правобережної та лівобережної заплави р. Прип'ять і, вочевидь, мають незначний водообмін. Далі за ступенем радіонуклідного забруднення риб ідуть оз. Далеке (природна водойма лівобережної заплави), Янівський затон (відокремлений після аварії на ЧАЕС від руслової частини р. Прип'ять наливною дамбою), а також ВО ЧАЕС. Останні три водойми істотно відрізняються одна від одної за своїм походженням, гідрологічним режимом і особливостями радіонуклідного забруднення і були об'єднані нами в умовну групу лише за певною подібністю сумарних значень вмісту радіонуклідів у риби. Представники іхтіофауни руслової ділянки р. Прип'ять характери-

зуються найменшими значеннями вмісту радіонуклідів серед досліджених водних об'єктів ЧЗВ, але останніми роками привертає до себе увагу

тенденція до зростання вмісту ^{90}Sr до гігієнічно значимих рівнів.

Таблиця 1. Середньорічна питома активність радіонуклідів (Бк/л) у 2018 р. та усереднені концентрації іонів K^+ і Ca^{2+} (мг/л) за досліджуваний період у воді полігонних водойм ЧЗВ

Елемент	оз. Глибоке	оз. Вершина	оз. Азбучин	Янівський затон	ВО ЧАЕС
^{90}Sr	$58,1 \pm 20,9$	$229,8 \pm 59,3$	$27,1 \pm 6,8^*$ $212,0 \pm 56,6$	$8,4 \pm 1,7$	$0,9 \pm 0,1^*$ $2,9 \pm 0,2$
^{137}Cs	$4,8 \pm 1,1$	$2,4 \pm 0,8$	$5,4 \pm 2,2^*$ $3,4 \pm 1,0$	$0,9 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,2^*$ $1,0 \pm 0,2$
K^+	$1,0 \pm 0,3$	$23,8 \pm 4,7^{**}$	$2,9 \pm 1,1$	$6,6 \pm 2,8$	$16,8 \pm 4,8^*$ $10,7 \pm 3,1$
Ca^{2+}	$27,8 \pm 1,4$	$20,4 \pm 4,1$	$41,1 \pm 5,1$	$30,0 \pm 3,5$	$43,6 \pm 3,0^*$ $38,5 \pm 7,7$

* До зниження рівня води у ВО ЧАЕС (2013 - 2014 рр.).

** Сума іонів K^+ і Na^+ .

На рис. 1 наведено середні значення питомої активності радіонуклідів на прикладі видів риби, які домінували у виловах упродовж 2013 - 2019 рр. і є найбільш поширеними у водоймах ЧЗВ. У той же час такі види, як сом, судак, білизна, чехоня, головень, лящ і короп, були виявлені лише в Янівському затоні, ВО та р. Прип'ять. Середні значення питомої активності ^{90}Sr і ^{137}Cs у згаданих видах риби упродовж 2018 - 2019 рр. наведено в табл. 2.

Порівнюючи досліджені водойми, насамперед привертає увагу істотна відмінність у накопиченні рибою ^{90}Sr в порівнянні з ^{137}Cs . Так, якщо прийняти усереднену питому активність ^{137}Cs в рибі р. Прип'ять ($65,2$ Бк/кг) за умовну одиницю,

то спостерігається зростання вмісту радіонукліда у 21 раз починаючи з Янівського затону і закінчуючи зростанням у 77 разів для риби оз. Вершина. Проміжними є ВО ЧАЕС та озера Далеке, Глибоке і Азбучин з відповідними значеннями зростання питомої активності ^{137}Cs у 24, 33, 53 і 62 рази. Щодо ^{90}Sr , то, відповідно до усередненої питомої активності в рибі р. Прип'ять ($31,0$ Бк/кг), таке зростання відбувається набагато істотніше – з 27 разів у ВО, проміжних величин 63, 144, 396 і 459 разів відповідно для риби Янівського затону, озер Далеке, Глибоке, Азбучин і закінчуючи майже 2000-разовим збільшенням усередненої питомої активності радіонукліда в рибі оз. Вершина.

Таблиця 2. Середні значення питомої активності радіонуклідів у рибі, відібраних у Янівському затоні, ВО та р. Прип'ять упродовж 2018 - 2019 рр.

Вид	ВО		Янівський затон		р. Прип'ять	
	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs
Судак	261 ± 59	1626 ± 384	921 ± 259	2610 ± 671	12 ± 5	129 ± 35
Сом	203 ± 82	2826 ± 816	859 ± 325	1143 ± 62	13 ± 2	136 ± 43
Білизна	134 ± 36	2807 ± 540	800 ± 105	2097 ± 283	12 ± 5	84 ± 15
Чехоня	402 ± 37	1046 ± 108	860 ± 400	1250 ± 705	26 ± 9	13 ± 1
Головень	859 ± 122	1640 ± 165	–*	–	–	–
Короп	784 ± 121	621 ± 112	–	–	–	–
Лящ	183 ± 55	849 ± 217	945 ± 98	298 ± 84	18 ± 7	24 ± 9

* Відсутні у виловах.

Загалом для всіх досліджених риби оз. Вершина діапазони питомої активності радіонуклідів відзначено на рівні 32960 - 174080 (у середньому 78970 ± 23190) Бк/кг для ^{90}Sr та 3031 - 11607 (5911 ± 1531) Бк/кг для ^{137}Cs . В усередненій вибірці риби озер Глибоке, Далеке і Азбучин питома активність ^{90}Sr становила 2030 - 34704 (13398 ± 4283), а ^{137}Cs – 470 - 31859 (5239 ± 1631) Бк/кг. В Янівському затоні вміст ^{90}Sr і ^{137}Cs в рибі

становив 583 - 4884 (2079 ± 935) і 159 - 6035 (1446 ± 879) Бк/кг відповідно. На прикладі північно-західної частини ВО ЧАЕС виявлено, що питома активність ^{90}Sr і ^{137}Cs в рибі в період 2013 - 2014 рр. (до зниження рівня води) становила 40 - 359 (119 ± 42) і 540 - 11270 (2473 ± 1122) Бк/кг відповідно. Зниження рівня води у ВО спричинило збільшення вмісту ^{90}Sr в рибі, який досягнув у 2019 р. значень 184 - 2084

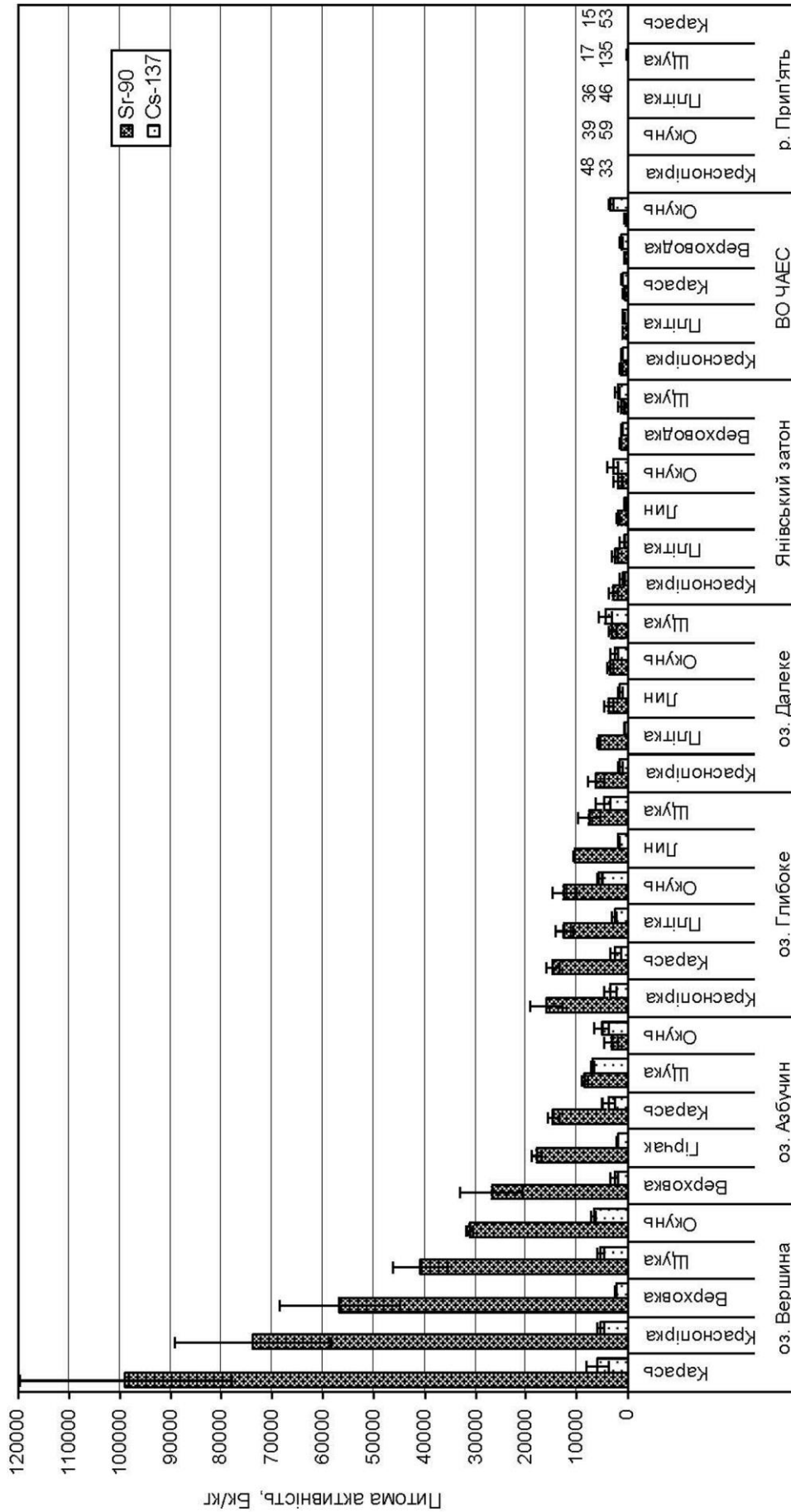


Рис. 1. Усереднені значення питомої активності ^{90}Sr і ^{137}Cs для найбільш поширених видів риби у водних об'єктах ЧЗВ упродовж 2013 - 2019 рр. Для риб р. Прип'ять значення питомої активності позначені цифрами і розташовані відповідно до легенди.

(775 ± 284) Бк/кг; питома активність ¹³⁷Cs при цьому була на рівні 522 - 4359 (1360 ± 384) Бк/кг. Найменший вміст радіонуклідів серед досліджених водних об'єктів відзначено для риб руслової частини р. Прип'ять у межах ЧЗВ: ⁹⁰Sr – 2 - 121 (33 ± 29) Бк/кг; ¹³⁷Cs – 5 - 293 (71 ± 65) Бк/кг.

Серед видів, яким притаманна висока здатність накопичувати ⁹⁰Sr, слід відзначити краснопірку звичайну, яка при наявності майже у всіх водоймах характеризується найвищими рівнями питомої активності радіонукліда. Незважаючи на припущення, що головним шляхом надходження ⁹⁰Sr в організм риби є зябра і шкірні покриви [3, 32, 33], досить високі рівні накопичення радіонукліда краснопіркою, імовірно, пов'язані з особливостями харчування, серед якого істотне місце займають водяні рослини і, зокрема, водорості [26, 27], які характеризуються вкрай високою здатністю накопичувати радіонукліди [4, 6, 34, 35].

До групи, яка інтенсивно накопичує ¹³⁷Cs, традиційно відносять хижих риб. У досліджених нами водоймах вони були представлені переважно окунем і щукою. Тільки в Янівському затоні, ВО та р. Прип'ять були відібрані такі рибихижаки, як сом, білізна та судак. Високі рівні накопичення ¹³⁷Cs у хижих риб є добре відомим у радіоекології явищем, яке пов'язане з ефектом трофічних рівнів при асиміляції радіонукліда з м'язових тканин риб-об'єктів харчування і його підвищенням накопиченням в організмі хижаків. ⁹⁰Sr у рибках міститься переважно в тканинах, що погано перетравлюються, – кістках і лусці, тому його накопичення хижими видами відбувається з меншою ефективністю у порівнянні з «мирними» видами [1 - 4, 7, 8, 15 - 19].

Питома активність радіонуклідів у рибі озер Глибоке, Вершина, Далеке і Азбучин за період

досліджень у всіх випадках багаторазово перевищувала допустимі рівні, згідно з прийнятими в Україні нормативами для рибної продукції [13] – у 58 - 4974 рази для ⁹⁰Sr і в 3 - 212 разів для ¹³⁷Cs. Найвищі значення питомої активності ⁹⁰Sr відмічено для карася і краснопірки оз. Вершина, відповідно 68484 - 174077 і 32960 - 120207 Бк/кг. У рибі руслових ділянок р. Прип'ять у межах ЧЗВ за час досліджень зареєстровано випадки перевищення допустимих рівнів ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr як для «мирних», так і для хижих видів риб. Цілком логічно припустити, що риба з водами р. Прип'ять може потрапляти до Київського водосховища, збільшуючи загрозу споживання місцевим населенням забрудненої радіонуклідами риби.

Попередні власні дослідження горішньої ділянки р. Дніпро та представників іхтіофауни Київського водосховища впродовж 1992 - 2013 рр. свідчать, що рівні забруднення риб ⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs знаходились у межах прийнятих в Україні допустимих рівнів для рибної продукції [8, 14, 22, 36, 37]. Поодинокі випадки перевищення питомої активності становили лише 5 - 7 % від допустимого рівня. Проте, враховуючи певну тенденцію збільшення вмісту ⁹⁰Sr в рибі р. Прип'ять у межах ЧЗВ, вважаємо, що радіоекологічний моніторинг риб Київського водосховища не втрачає своєї актуальності.

Аналіз даних, отриманих за досліджуваний період, свідчить, що питома активність ¹³⁷Cs у представників іхтіофауни більшості полігонних водойм ЧЗВ, з певними коливаннями в межах варіювання вмісту радіонукліда у вибірках за різні роки, продовжує знижуватись, проте для деяких водойм, зокрема для ВО ЧАЕС та оз. Азбучин, вона має недостовірний характер (рис. 2 - 4).

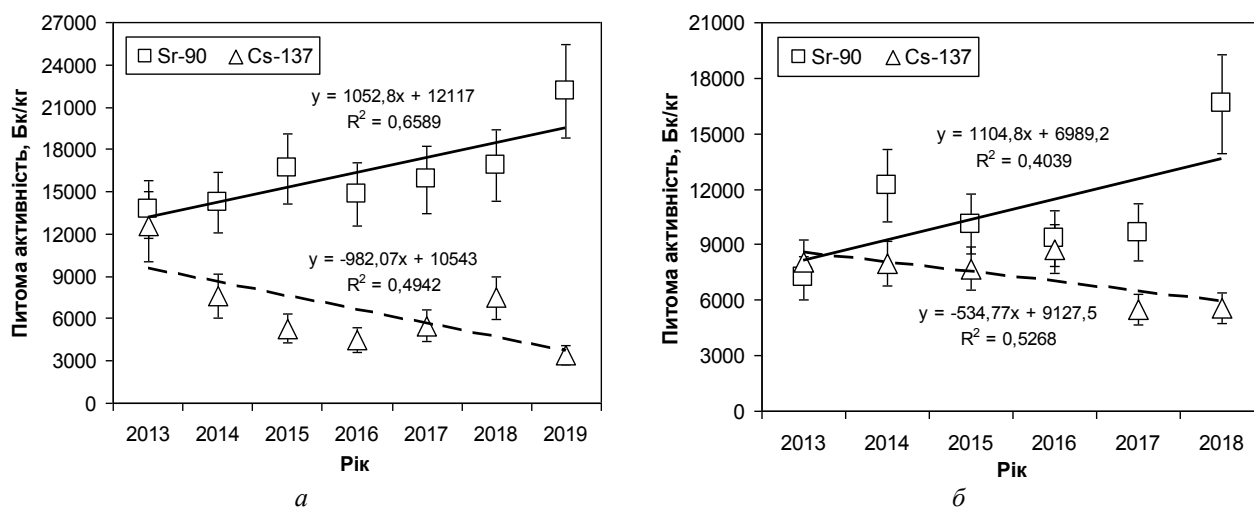


Рис. 2. Динаміка середньорічної питомої активності радіонуклідів у краснопірки (а) та окуня (б) оз. Глибоке.

Середній вміст ^{90}Sr у представників майже всіх видів риб досліджених непроточних озер має тенденцією до підвищення, як це показано на прикладі краснопірки та окуня з оз. Глибоке (рис. 2). У першу чергу це пов'язано зі збільшенням питомої активності ^{90}Sr у ґрунтових водах прилеглих територій і відповідно у воді досліджених озер ЧЗВ, яке почали спостерігати з кінця 1990-х років [38 - 40]. Найбільшої інтенсивності ці процеси набули в умовах перезволоження і заболочування територій лівобережжя р. Прип'ять, зокрема Красненської заплави, яка зазнала найбільш інтенсивного радіонуклідного забруднення в результаті аварії на ЧАЕС і де у 1993 р. був споруджений комплекс дамбових огорожень для уникнення залпового виносу радіонуклідів упродовж періоду повеней та паводків. У подальшому збільшення концентрацій ^{90}Sr було зареєстроване в наземних рослинах та гідробіонтах – вищих водяних рослинах, молюсках і рибі [39, 41, 42].

У рибі ВО і оз. Азбучин питома активність ^{90}Sr з певними коливаннями залишалась на одному рівні, але з 2016 р. почала зростати (рис. 3). Припускається, що це пов'язано з припиненням (з листопада 2014 р.) водопостачання до ВО, що

привело до зниження рівня води також і в розташованому на відстані близько 0,5 км оз. Азбучин, яке має гідравлічний зв'язок з ВО. Зниження рівня води у ВО і оз. Азбучин призвело до зміни гідрологічного та гідрохімічного режимів обох водойм, а також до ймовірної ремобілізації ^{90}Sr та його надходження з осушених донних відкладів. Унаслідок цих процесів відбулося збільшення питомої активності радіонукліда у воді ВО у 2 - 2,5 раза, а в оз. Азбучин – у 7 - 10 разів і відповідно до зростання вмісту радіонукліда в рибі. Так, наприклад, якщо впродовж 2013 - 2014 рр. середня питома активність ^{90}Sr у краснопірки становила 210 ± 59 , то у 2019 р. досягла в середньому 1320 ± 303 Бк/кг; у плітки звичайної відповідні значення становили 110 ± 27 і 984 ± 60 , карася сріблястого – 90 ± 25 і 800 ± 115 , коропа – 73 ± 15 і 647 ± 105 Бк/кг. Для хижих риб середня питома активність ^{90}Sr після виведення з експлуатації ВО відбувається значно повільніше: для окуня – з 115 ± 49 до 484 ± 68 Бк/кг, судака – з 65 ± 9 до 261 ± 59 Бк/кг і сома звичайного – з 159 ± 100 до 197 ± 62 Бк/кг, що пов'язано з описаними вище особливостями міграції ^{90}Sr по трофічних ланцюгах прісноводного іхтіоценозу.

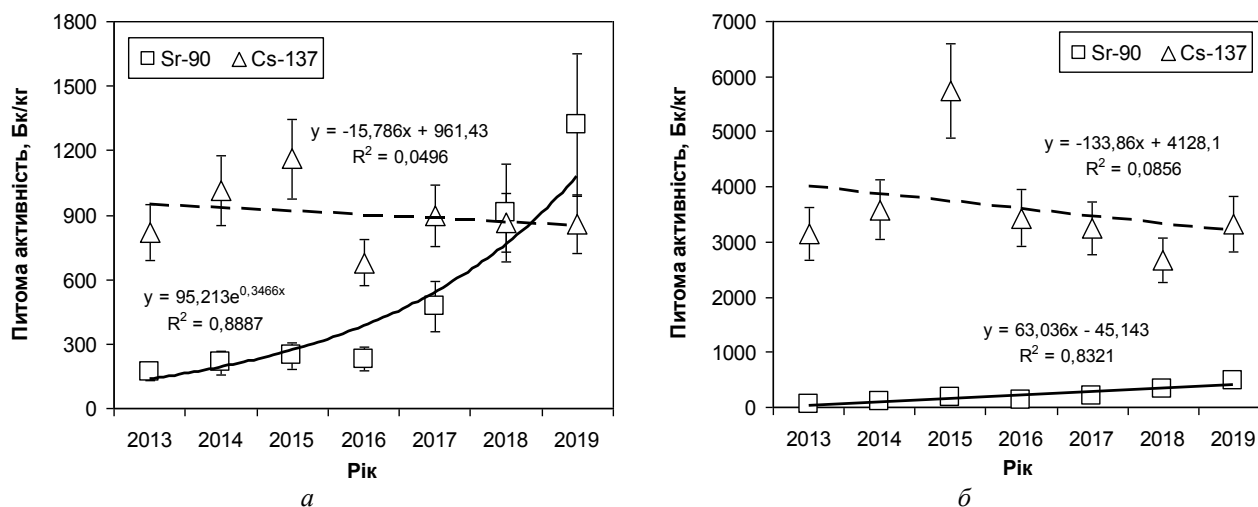
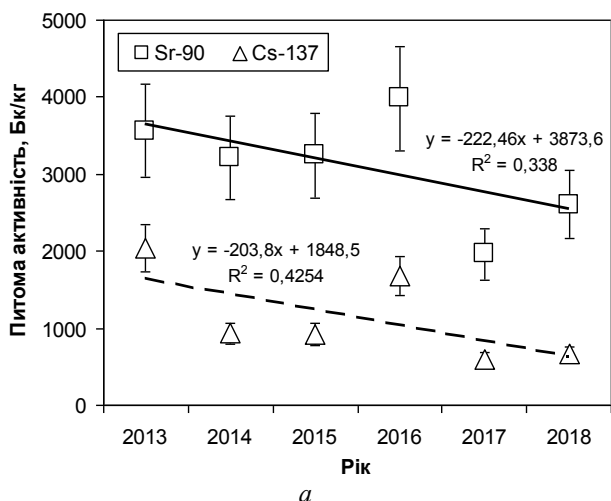


Рис. 3. Динаміка середньорічної питомої активності радіонуклідів у краснопірки (а) та окуня (б) ВО ЧАЕС.

З 2018 р. питома активність ^{90}Sr у представників деяких «мирних» видів риб ВО стала перевищувати вміст ^{137}Cs , як це видно на прикладі краснопірки (див. рис. 3, а). Проте станом на 2019 р. для риб-хижаків та більшості «мирних» видів риб ВО співвідношення вмісту $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в організмі риб було менше одиниці, але продовжувало зростати. Вірогідної динаміки питомої активності ^{137}Cs майже для всіх видів риб ВО протягом зниження рівня води спуску водойми не спостерігалось. Зокрема, середня питома

активність ^{137}Cs у краснопірки впродовж 2013 - 2014 рр. становила 1030 ± 360 , а в 2019 рр. – 859 ± 114 Бк/кг, плітки звичайної – 1059 ± 229 і 820 ± 67 , карася сріблястого – 1559 ± 29 і 1107 ± 189 , коропа – 1100 ± 200 і 643 ± 117 , сома європейського – 2100 ± 337 і 2826 ± 716 Бк/кг відповідно. Деяко незвичайне виключення становили хижі види, харчовий раціон яких складається переважно з молоді риб. Так, середня питома активність ^{137}Cs в окуня наприкінці зниження рівня води у ВО у 2019 р. знизилась з 6650 ± 826 до 3332 ± 697 ,

а в судака – з 5860 ± 2700 до 2626 ± 383 Бк/кг. Таке суттєве зменшення вмісту ^{137}Cs у риб-іхтіофагів, імовірно, пов'язане з осушенням нерестовищ фіто- і літофільних видів риб (зарості очерету та кам'яне накидання огорожувальної та струменерозподільчої дамби), молодь яких є важливими об'єктами харчування окуня і судака. За браком корму ці види змушені або голодувати, або переходити на альтернативні джерела харчування, що загалом зумовило зниження ^{137}Cs в організмі.



Динаміка середньорічної питомої активності ^{90}Sr і ^{137}Cs для представників іхтіофауни Янівського затоку, відділеного після аварії на ЧАЕС від р. Прип'ять наливною дамбою, на прикладі краснопірки та окуня впродовж 2013 - 2018 рр. демонструє тенденцію до зниження вмісту обох радіонуклідів (рис. 4). При цьому рівні величин питомої активності радіонуклідів у риб Янівського затоку є істотно нижчими від аналогічних показників для досліджених озер ЧЗВ.

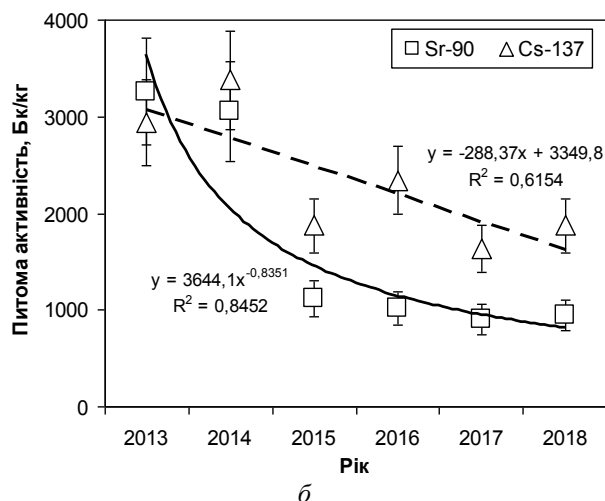


Рис. 4. Динаміка середньорічної питомої активності радіонуклідів у краснопірки (а) та окуня (б) Янівського затоку.

Припускається, що така динаміка (особливо це стосується ^{90}Sr) пов'язана з існуючим певним водообміном Янівського затоку з р. Прип'ять через тіло дамбового перекриття. На це вказують, з одного боку, у край високі рівні забруднення донних відкладів Янівського затоку, а з іншого – порівняно невисокі значення об'ємної активності радіонуклідів у воді [8, 15]. Проте спеціальні дослідження, пов'язані з водообміном Янівського затоку, авторам невідомі.

Риби досліджених водойм істотно відрізняються не тільки загальною питомою активністю радіонуклідів, але й співвідношенням їх в організмі. На даний час вміст ^{90}Sr у «мирних» видів досліджених водойм у середньому перевищує вміст ^{137}Cs у 2 - 15 разів, а в окремих випадках досягає 60 і більше разів. Для хижих видів цей показник не перевищує значення в 3 рази, а в деяких випадках становить менше одиниці. Винятком є риби ВО ЧАЕС і р. Прип'ять, а також хижі риби Янівського затоку, в яких упродовж післяаварійних років питома активність ^{137}Cs традиційно перевищувала ^{90}Sr . Проте останніми роками ця ситуація почала дещо змінюватися щодо риб залишкових водойм, що утворилися на колишній акваторії ВО. Як було зазначено вище, зниження рівня води у ВО спричинило збільшення концентрації ^{90}Sr у воді та підвищення

питомої активності радіонукліда практично у представників усіх видів (зокрема, у риб північно-західної частини ВО) при повільному зменшенні ^{137}Cs , що і призвело до істотного збільшення співвідношення $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в рибі.

На прикладі краснопірки і окуня оз. Глибоке впродовж періоду досліджень спостерігали зростання співвідношення $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ для обох видів, що пов'язано в першу чергу зі збільшенням питомої активності ^{90}Sr у тканинах риб (рис. 5).

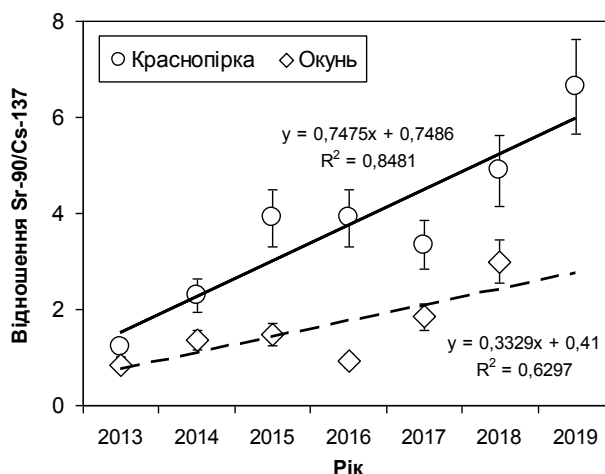


Рис. 5. Динаміка співвідношення середньорічної питомої активності $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ у краснопірки та окуня оз. Глибоке.

Співвідношення вмісту $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в рибі ВО після зниження рівня води має тенденцію до зростання, що пов'язано з підвищенням об'ємної активності ^{90}Sr у воді і відповідним зростанням вмісту радіонукліда в рибі, особливо в «мирних» видах (рис. 6).

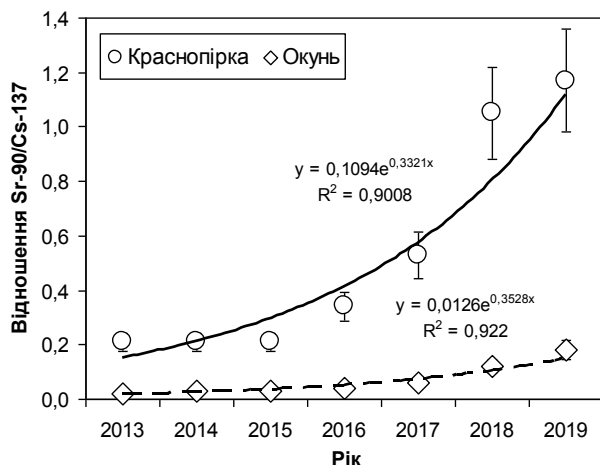


Рис. 6. Динаміка співвідношення середньорічної питомої активності $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ у краснопірки та окуня ВО ЧАЕС.

Величини питомої активності радіонуклідів у рибі ВО і Янівського затону на даний час є дещо подібними, хоча в середньому вміст ^{90}Sr в рибі ВО є меншим. На рис. 7 наведено динаміку співвідношення середньорічної питомої активності $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ у рибі Янівського затону на прикладі краснопірки та окуня. Хоча середньорічний вміст радіонуклідів у рибі затону впродовж 2013 - 2018 рр. зменшується (див. рис. 4), співвідношення $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в представників «мирних» видів риб зростає (як у випадку риб безстічних озер), а в риб-хижаків повільно спадає.

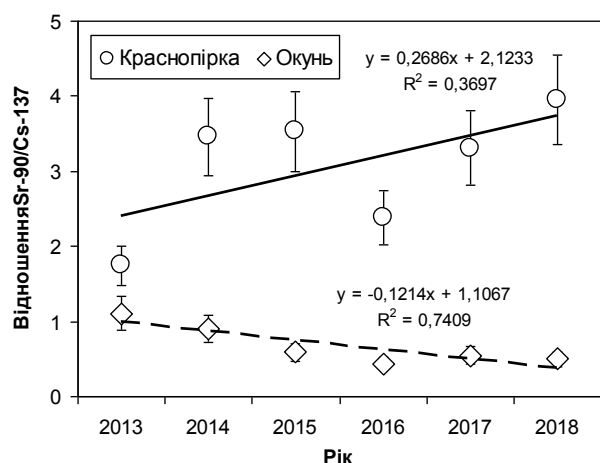


Рис. 7. Динаміка співвідношення середньорічної питомої активності $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ у краснопірки та окуня Янівського затону.

Це можна пояснити різним співвідношенням $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в представників «мирних» видів риб

Янівського затону в порівнянні з хижими видами, яке становило 1,1 - 5,5 та 0,2 - 1,6 відповідно. Крім того, ^{90}Sr міститься переважно в кісткових тканинах риб і виводиться з організму значно повільніше за ^{137}Cs . Оскільки величина співвідношення швидкості виведення ^{90}Sr до швидкості виведення ^{137}Cs з організму «мирних» видів риб з кожним роком зменшується, це приводить до зростання величини співвідношення вмісту $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ навіть при загальному середньорічному зменшенні питомої активності ^{90}Sr в рибі.

4. Висновки

Виконаними дослідженнями іхтіофауни водойм ЧЗВ з різним рівнем радіонуклідного забруднення і гідрологічним режимом за період 2013 - 2019 рр. встановлено:

1. Вміст радіонуклідів у рибі озер Вершина, Глибоке, Далеке і Азбучин упродовж досліджень багаторазово перевищував допустимі рівні згідно з прийнятими в Україні нормативами для рибної продукції у 58 - 4974 (у середньому в 956) разів за ^{90}Sr і в 3 - 212 (у середньому у 27) разів за ^{137}Cs . Перевищення допустимих рівнів у рибі Янівського затону за ^{90}Sr спостерігали в 16 - 140 (у середньому в 46) разів і ^{137}Cs – в 1,1 - 40 (у середньому в 8) разів, а в представників іхтіофауни ВО (станом на 2019 р.) за ^{90}Sr і ^{137}Cs – у 5,2 - 59,5 (у середньому у 18) і 4 - 29 (у середньому в 9) разів відповідно. У рибі руслової ділянки р. Прип'ять у межах ЧЗВ зареєстровано окремі випадки перевищення допустимих рівнів ^{137}Cs в 1,2 - 2,0 (у середньому в 1,4) рази, а ^{90}Sr – в 1,1 - 3,5 (у середньому в 1,9) рази як для «мирних», так і хижих видів.

2. Питома активність ^{90}Sr в «мирних» видах риб умовно непроточних водойм ЧЗВ була в 1,1 - 1,6 рази вища, ніж у хижих, у той час як ^{137}Cs – у 2,5 - 6,7 рази нижче. Вміст ^{90}Sr в «мирних» видах риб ВО станом на 2019 р. знаходився в діапазоні 438 - 2084 (у середньому 872), а риб-хижаків – у межах 184 - 530 (384) Бк/кг, тоді як питома активність ^{137}Cs в «мирних» та хижих видах риб становила 522 - 1559 (1059) та 984 - 4141 (2290) Бк/кг відповідно. Серед досліджених риб ЧЗВ найбільший вміст ^{90}Sr відзначено для краснопірки і карася сріблястого. Різні види риб за зниженням середньої питомої активності ^{90}Sr у водоймах ЧЗВ формують такий ряд: краснопірка > карась > плітка > головень > короп > верховодка > лин > лящ > окунь > чехоня > щука > судак > сом > білізна >, а за ^{137}Cs – окунь > судак > щука > сом > білізна > головень > чехоня > верховодка > карась > краснопірка > плітка > короп > лящ.

3. Питома активність ^{137}Cs в рибі практично всіх водойм ЧЗВ в період досліджень продовжувала закономірно знижуватися з коливаннями в межах варіювання для різних вибірок. Рівень вмісту ^{90}Sr у представників іхтіофауни озер залишався практично на одному рівні або зростав. У рибі гідравлічно-зв'язаних ВО ЧАЕС і оз. Азбучин питома активність ^{90}Sr має тенденцію до збільшення, що обумовлено, насамперед, зростанням активності радіонукліда у воді цих водойм у результаті припинення підживлення ВО та зниження рівня води.

4. Припускається, що процеси мобілізації ^{90}Sr та його перехід у водорозчинний стан у ґрунтах водозбірних територій та, імовірно, у донних відкладах водойм ЧЗВ тривають. У результаті відбувається підвищення питомої активності біологічно доступних форм радіонукліда у воді непроточних водних об'єктів, а також збільшення інтенсивності концентрування радіонукліда біотою, включаючи представників іхтіофауни. Також з поверхневими і ґрунтовими водами здійснюється надходження ^{90}Sr у р. Прип'ять та інтен-

сифікація його накопичення водними організмами, про що свідчить підвищення питомої активності радіонукліда в рибі річкових екосистем в останні роки до гігієнічно значимих рівнів.

Дослідження виконано за підтримки Національної академії наук України та Державного агентства України з управління зоною відчуження. Частково роботи було виконано за підтримки проекту TREE (Transfer-Exposure-Effects) у рамках програми RATE (Radioactivity and the Environment), що фінансувалась Дослідницькою радою з охорони довкілля (Natural Environment Research Council) Великої Британії (NERC grant NE/L000393/1), а також проекту "Strengthening of the environmental radiation control and legislative basis for the environmental remediation of radioactively contaminated sites", що фінансується програмою SATREPS (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development, Японія). Автори висловлюють вдячність співробітникам державних спеціалізованих підприємств «Екоцентр» та «Чорнобильська АЕС» за сприяння у проведенні досліджень на водоймах ЧЗВ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. D.I. Gudkov et al. Dynamics of the Content and Distribution of the Main Dose Forming Radionuclides in Fishes of the Exclusion Zone of the Chernobyl NPS. *Hydrobiological Journal* 44(5) (2008) 87.
2. Т.А. Зотина и др. Накопление радионуклидов в трофических цепях р. Енисей после остановки реакторного производства на горно-химическом комбинате. *Радиационная Биология. Радиоэкология* 54(4) (2014) 405.
3. И.Н. Рябов. *Радиоэкология рыб водоемов в зоне влияния аварии на Чернобыльской АЭС* (Москва: Тов-во науч. изд. КМК, 2004) 416 с.
4. D.I. Gudkov et al. Peculiarities of radionuclides distribution in the main components of aquatic ecosystems within the Chernobyl accident exclusion zone. In: *Aquatic Ecosystem Research Trends*. G.N. Nairne (ed.) (New York: Nova Science Publishers, Inc., 2009) p. 383.
5. D.I. Gudkov et al. Radiation-induced cytogenetic and hematologic effects on aquatic biota within the Chernobyl exclusion zone. *Journal of Environmental Radioactivity* 151 (2016) 438.
6. 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: *Genetics, Evolution and Radiation*. V. Korogodina, C. Mothersill, S. Inge-Vechtomov, C. Seymour (eds.) (Cham: Springer International Publishing AG, 2016) p. 287.
7. A. Lerebours et al. Impact of environmental radiation on the health and reproductive status of fish from Chernobyl. *Environmental Science & Technology* 52(16) (2018) 9442.
8. М.І. Кузьменко та ін. *Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах* (К.: Наук. думка, 2010) 262 с.
9. I.I. Kryshev, T.G. Sazykina. Assessment of radiation doses to aquatic organisms in the Chernobyl contaminated area. *Journal of Environmental Radioactivity* 28(1) (1995) 91.
10. Е.А. Пряхин и др. Оценка уровня патологии эритроцитов в периферической крови у плотвы (*Rutilus rutilus* L.) из водоемов с разным уровнем радиоактивного загрязнения. *Радиационная биология. Радиоэкология* 52(6) (2012) 616.
11. А.И. Смагин, Н.В. Лугаськова, Т.Б. Менших. Цитогенетическое исследование рыб из водоема-хранилища отходов ПО «МАЯК». *Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин* 7 (2005) 97.
12. О.Є. Каглян та ін. Спосіб очищення карася сріблястого (*Carassius gibelio* Bloch) від радіонукліду ^{137}Cs до гігієнічних радіаційно-безпечних рівнів. Патент UA № 132603. Опубліковано 25.09.2018, бюл. № 18/2018.
13. *Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді (ДР-97)* (К., 1997) 38 с.

14. V.V. Belyaev, Ye.N. Volkova. Mechanisms of forming of seasonal variations of ^{90}Sr and ^{137}Cs content in freshwater fishes. *Hydrobiological Journal* 49(5) (2013) 81.
15. 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.
16. V. Kashparov et al. Environmental behavior of radioactive particles from Chernobyl. *Journal of Environmental Radioactivity* 208-209 (2019) 106025.
17. O.Ye. Kaglyan et al. Strontium-90 in fish from the lakes of the Chernobyl Exclusion Zone. *Radioprotection* 44(5) (2009) 945.
18. A.Ye. Kaglyan et al. Radionuclides in fish of the Chernobyl exclusion zone: species-specificity, seasonality, size- and age-dependent features of accumulation. RAD Proc. of the third Inter. Conf. on "Radiation and Application in Various Fields of Research". Goran Ristic (ed.). Slovenska Plaza, Budva, Montenegro, June 8 - 12, 2015 (Nis: Rad Association, 2015) p. 249.
19. А.Е. Каглян и др. Радионуклиды в аборигенных видах рыб Чернобыльской зоны отчуждения. *Ядерная физика та енергетика* 13(3) (2012) 306.
20. Е.В. Кашпарова и др. Динамика выведения ^{137}Cs из организма серебряного карася (*Carassius gibelio*) при разной температуре воды. *Ядерная физика та енергетика* 20(4) (2019) 411.
21. Е.В. Кашпарова и др. Динамика поступления ^{137}Cs из воды в организм серебряного карася (*Carassius gibelio*). *Ядерная физика та енергетика* 21(1) (2020) 64.
22. О.Л. Зарубини др. Удельная активность ^{137}Cs у рыб Украины. Современное состояние *Ядерная физика та енергетика* 14(2) (2013) 177.
23. O.L. Zarubin et al. 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). *Hydrobiological Journal* 50(3) (2014) 95.
24. T.A. Zotina, E.A. Trofimova, D.V. Dementyev. Time-dependent trends of artificial radionuclides in biota of the Yenisei River (Siberia, Russia). *Journal of Environmental Radioactivity* 208-209 (2019) 106028.
25. Ye.N. Volkova et al. Radiation dose formation in freshwater fishes at the embryonic stage of their development. *Hydrobiological Journal* 50(1) (2014) 72.
26. Ю.В. Мовчан. *Риби України* (К.: Золоті ворота, 2011) 420 с.
27. Ю.В. Мовчан, А.І. Смірнов. Риби. Коропові. У кн.: Фауна України. Вип. 2. Т. 8, Ч. 2 (К.: Наук. думка, 1983) с. 354.
28. А.Д. Белов (ред.) *Практикум по ветеринарной радиобиологии* (Москва: Агропромиздат, 1988) 236 с.
29. О.Є. Каглян, Д.І. Гудков. Спосіб визначення питомої активності радіонуклідів в органах та тканинах риб за їх вмістом у лусці. Патент UA № 106547. Опубліковано 10.09.2014, бюл. № 17/2014.
30. О.Є. Каглян та ін. Спосіб визначення питомої активності радіонуклідів в органах і тканинах хижих риб (родина окуневих та щукових) за їх вмістом у плавцях. Патент UA № 107604. Опубліковано 26.01.2015, бюл. № 2/2015.
31. П.Ф. Рокицкий. *Биологическая статистика* (Минск: Вышэйшая школа, 1973) 320 с.
32. Г.Д. Лебедева. Накопление и выведение радиоактивного стронция у пресноводных рыб при разных условиях. Тр. Моск. об-ва испытателей природы 30 (1968) 170.
33. Д.И. Ильин, Ю.И. Москалев. О распределении, выведении и коэффициентах накопления стронция-90, цезия-137 и фосфора-32 у рыб. В кн.: Распределение, биологическое действие и миграция радиоактивных изотопов (Москва: Медгиз, 1961) с. 322.
34. T.N. Dyachenko, A.Ye. Kaglyan. Dynamics of macrophytes of the cooling pond of the Chernobyl NPP before its removing from service. *Hydrobiological Journal* 54(2) (2018) 43.
35. P.D. Klochenko et al. ^{137}Cs and ^{90}Sr accumulation by higher aquatic plants and phytoplankton in water bodies of urban territories. *Hydrobiological Journal* 44(1) (2008) 48.
36. А.Є. Каглян. Radionuclides in the fish fauna of the upper section of the Kiev reservoir. *Hydrobiological Journal* 44(1) (2008) 86.
37. А.У. Каглян et al. Radioecological investigations of the upper Dnieper ecosystem. *Hydrobiological Journal* 28(7) (1992) 9.
38. В.О. Кашпаров. Забруднення ^{90}Sr території зони відчуження. Бюл. екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення 12 (1998) 41.
39. Ю.О. Иванов. Динаміка перерозподілу радіонуклідів в ґрунтах і рослинності. В кн.: Чорнобиль – Зона відчуження. В.Г. Бар'яхтар (ред.) (К.: Наук. думка, 2001) 47.
40. Э.В. Соболевич и др. *Геохимия техногенных радионуклидов* (К.: Наук. думка, 2002) 332 с.
41. D.I. Gudkov, A.B. Nazarov, A.E. Kaglyan. Change of radionuclide bioavailability in conditions of swamping territories within the Chernobyl accident Exclusion Zone. *Radioprotection* 44(5) (2009) 951.
42. V.D. Romanenko et al. Radioecological problems of aquatic ecosystems: 25 years after the accident at the Chernobyl nuclear power station. *Hydrobiological Journal* 47(4) (2011) 3.

A. Ye. Kaglyan^{1,*}, D. I. Gudkov¹, S. I. Kireev², V. G. Klenus¹,
V. V. Belyaev¹, L. P. Yurchuk¹, V. V. Drozdov², O. O. Hupalo¹

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

² State Specialized Enterprise "Ecocenter" of the SAEZ of Ukraine, Chornobyl, Ukraine

*Corresponding author: alex_kt983@ukr.net

DYNAMICS OF SPECIFIC ACTIVITY OF ⁹⁰Sr AND ¹³⁷Cs IN REPRESENTATIVES OF ICHTHYOFAUNA OF CHORNOBYL EXCLUSION ZONE

The results of the assessment of levels of radionuclide contamination of fish during 2013 - 2019 in the reservoirs of the Chornobyl Exclusion Zone (lakes Azbuchyn, Vershyna, Hlyboke, Daleke, Yanivsky Backwater, Chornobyl NPP cooling pond) are presented. It was found that the concentration of ¹³⁷Cs in representatives of ichthyofauna of water bodies during the study period continued to decrease, while the concentration of ⁹⁰Sr, with some exceptions, remained unchanged or increased. The concentration of radionuclides in fish of the studied reservoirs was about 60 - 5000 times for ⁹⁰Sr and in 3 - 200 times for ¹³⁷Cs higher than the permissible levels for fish products accepted in Ukraine.

Keywords: Chornobyl Exclusion Zone, reservoirs, fish, radioactive contamination, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr.

REFERENCES

1. D.I. Gudkov et al. Dynamics of the Content and Distribution of the Main Dose Forming Radionuclides in Fishes of the Exclusion Zone of the Chernobyl NPS. *Hydrobiological Journal* 44(5) (2008) 87.
2. T.A. Zotina et al. Accumulation of radionuclides in the trophic chains of the r. Yenisei after stopping reactor production at a mining and chemical plant. *Radiatsionnaya Biologiya. Radioekologiya* 54(4) (2014) 405. (Rus)
3. I.N. Ryabov. *Radioecology of Fish in Water Bodies in the Zone of Influence of the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident* (Moskva: Scientific Publishing Association KMK, 2004) 416 p. (Rus)
4. D.I. Gudkov et al. Peculiarities of radionuclides distribution in the main components of aquatic ecosystems within the Chernobyl accident exclusion zone. In: *Aquatic Ecosystem Research Trends*. G.N. Nairne (ed.) (New York: Nova Science Publishers, Inc., 2009) p. 383.
5. D.I. Gudkov et al. Radiation-induced cytogenetic and hematologic effects on aquatic biota within the Chernobyl exclusion zone. *Journal of Environmental Radioactivity* 151 (2016) 438.
6. 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: *Genetics, Evolution and Radiation*. V. Korogodina, C. Mothersill, S. Inge-Vechtomov, C. Seymour (eds.) (Cham: Springer International Publishing AG, 2016) p. 287.
7. A. Lerebours et al. Impact of environmental radiation on the health and reproductive status of fish from Chernobyl. *Environmental Science & Technology* 52(16) (2018) 9442.
8. M.I. Kuzmenko et al. *Technogenic Radionuclides in Freshwater Ecosystems* (Kyiv: Naukova Dumka, 2010) 262 p. (Ukr)
9. I.I. Kryshev, T.G. Sazykina. Assessment of radiation doses to aquatic organisms in the Chernobyl contaminated area. *Journal of Environmental Radioactivity* 28(1) (1995) 91.
10. E.A. Pryakhin et al. Assessment of the level of erythrocyte pathology in peripheral blood in roach (*Rutilus rutilus* L.) from reservoirs with different levels of radioactive contamination. *Radiatsionnaya Biologiya. Radioekologiya* 52(6) (2012) 616. (Rus)
11. A.I. Smagin, N.V. Lugaskova, T.B. Menshikh. Cytogenetic study of fish from the waste storage pond of PA "MAYAK". *Problemy Radioekologii i Pogranichnykh Distiplin* 7 (2005) 97. (Rus)
12. O.E. Kaglyan et al. Method of cleaning silver carp (*Carassius gibelio* Bloch) from ¹³⁷Cs radionuclide to hygienic radiation-safe levels. Patent UA No. 132603. Published on Sept. 25, 2018, bull. No. 18/2018. (Ukr)
13. *Permissible levels of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr radionuclides in food and drinking water (PL-97)* (Kyiv, 1997) 38 p. (Ukr)
14. V.V. Belyaev, Ye.N. Volkova. Mechanisms of forming of seasonal variations of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs content in freshwater fishes. *Hydrobiological Journal* 49(5) (2013) 81.
15. 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.
16. V. Kashparov et al. Environmental behavior of radioactive particles from Chernobyl. *Journal of Environmental Radioactivity* 208-209 (2019) 106025.
17. O.Ye. Kaglyan et al. Strontium-90 in fish from the lakes of the Chernobyl Exclusion Zone. *Radioprotection* 44(5) (2009) 945.
18. A.Ye. Kaglyan et al. Radionuclides in fish of the Chernobyl exclusion zone: species-specificity, seasonality, size- and age-dependent features of accumulation. RAD Proc. of the third Inter. Conf. on "Radiation and Application in Various Fields of Research". Goran Ristic (ed.). Slovenska Plaza, Budva, Montenegro, June 8 - 12, 2015 (Nis: Rad Association, 2015) p. 249.
19. O.Ye. Kaglyan et al. Radionuclides in the indigenous fish species of the Chernobyl exclusion zone. *Yaderna Fyzyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 13(3) (2012) 306. (Rus)

20. O.V. Kashparova et al. Dynamics of ^{137}Cs excretion from Prussian carp (*Carassius gibelio*) at different water temperatures. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 20(4) (2019) 411. (Rus)
21. O.V. Kashparova et al. Dynamics of ^{137}Cs uptake from water to Prussian carp (*Carassius gibelio*). *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 21(1) (2020) 64. (Rus)
22. O.L. Zarubin et al. Specific activity of ^{137}Cs at fishes of Ukraine. Current state. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 14(2) (2013) 177. (Rus)
23. O.L. Zarubin et al. 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). *Hydrobiological Journal* 50(3) (2014) 95.
24. T.A. Zotina, E.A. Trofimova, D.V. Dementyev. Time-dependent trends of artificial radionuclides in biota of the Yenisei River (Siberia, Russia). *Journal of Environmental Radioactivity* 208-209 (2019) 106028.
25. Ye.N. Volkova et al. Radiation dose formation in freshwater fishes at the embryonic stage of their development. *Hydrobiological Journal* 50(1) (2014) 72.
26. Yu.V. Movchan. *Fish of Ukraine* (Kyiv: Zoloti Vorota, 2011) 420 p. (Ukr)
27. Yu.V. Movchan, A.I. Smirnov. Fish. Carp. In: Fauna of Ukraine. Issue 2. Vol. 8, Ch. 2 (Kyiv: Naukova Dumka, 1983) p. 354. (Ukr)
28. A.D. Belov (ed.) *Workshop on Veterinary Radiobiology* (Moskva: Agropromizdat, 1988) 236 p. (Rus)
29. O.Ye. Kaglyan, D.I. Gudkov. The method of determining the specific activity of radionuclides in the organs and tissues of fish by their content in the scales. Patent UA No. 106547. Published Sept. 10, 2014, bull. No. 17/2014. (Ukr)
30. O.Ye. Kaglyan et al. Method for determining specific activity of radionuclides in organs and tissues of predatory fish (perch and pike families) by their content in fins. Patent UA No. 107604. Published on January 26, 2015, bull. No. 2/2015. (Ukr)
31. P.F. Rokitsky. *Biological statistics* (Minsk: Vysheyschaya shkola, 1973) 320 p. (Rus)
32. G.D. Lebedeva. Accumulation and elimination of radioactive strontium in freshwater fish under different conditions. Proc. of the Moscow Society of Naturalists 30 (1968) 170. (Rus)
33. D.I. Ilyin, Yu.I. Moskalev. On distribution, elimination, and accumulation coefficients of strontium-90, cesium-137 and phosphorus-32 in fish. In: Distribution, biological action, and migration of radioactive isotopes (Moskva: Medgiz, 1961) p. 322. (Rus)
34. T.N. Dyachenko, A.Ye. Kaglyan. Dynamics of macrophytes of the cooling pond of the Chernobyl NPP before its removing from service. *Hydrobiological Journal* 54(2) (2018) 43.
35. P.D. Klochenko et al. ^{137}Cs and ^{90}Sr accumulation by higher aquatic plants and phytoepiphyton in water bodies of urban territories. *Hydrobiological Journal* 44(1) (2008) 48.
36. A.Ye. Kaglyan. Radionuclides in the fish fauna of the upper section of the Kiev reservoir. *Hydrobiological Journal* 44(1) (2008) 86.
37. A.Y. Kaglyan et al. Radioecological investigations of the upper Dnieper ecosystem. *Hydrobiological Journal* 28(7) (1992) 9.
38. V.O. Kashparov. Contamination of ^{90}Sr in the exclusion zone. Byulleten Ekolohichnoho Stanu Zony Vidchuzhennya ta Zony Bezumovnoho (Obovyazkovoho) Vidselelnya 12 (1998) 41. (Ukr)
39. Yu.O. Ivanov. Dynamics of radionuclide redistribution in soils and vegetation. In: Chernobyl – Exclusion Zone. V.G. Baryhtar (ed.) (Kyiv: Naukova Dumka, 2001) 47. (Ukr)
40. E.V. Sobotovich et al. *Geochemistry of Technogenic Radionuclides* (Kyiv: Naukova Dumka, 2002) 332 p. (Rus)
41. D.I. Gudkov, A.B. Nazarov, A.E. Kaglyan. Change of radionuclide bioavailability in conditions of swamping territories within the Chernobyl accident Exclusion Zone. *Radioprotection* 44(5) (2009) 951.
42. V.D. Romanenko et al. Radioecological problems of aquatic ecosystems: 25 years after the accident at the Chernobyl nuclear power station. *Hydrobiological Journal* 47(4) (2011) 3.

Надійшла/Received 07.08.2020