



УДК [577.34:597] (285.2/3)

НАКОПИЧЕННЯ ^{90}Sr ПРЕДСТАВНИКАМИ „МИРНИХ” ВИДІВ РИБ У ВОДОЙМАХ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ТА ІНШИХ ВОДОЙМАХ УКРАЇНИ

**О. Є. Каглян¹, Д. І. Гудков¹, В. Г. Кленус¹, З. О. Широка¹,
А. П. Коробович¹, Н. А. Поморцева¹, Л. П. Яблонська¹, О. Б. Назаров²**

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

²Державне спеціалізоване науково-виробниче підприємство „Екоцентр”
МНС України, Чорнобиль

Представлено результати досліджень радіонуклідного забруднення органів і тканин риб різних екологічних груп водойм Чорнобильської зони відчуження, водних об'єктів Київського регіону та Покуття. Упродовж останніх років зареєстровано триваючий спад питомої активності ^{90}Sr у представників іхтіофауни всіх водойм України, за винятком „мирних” видів риб слабопроточних і замкнутих водойм Чорнобильської зони відчуження, в яких вміст ^{90}Sr утримується на одному високому рівні. Показано, що ^{90}Sr на теперішній час є основним дозоутворювальним радіонуклідом для риб більшості водойм Чорнобильської зони відчуження.

Ключові слова: ^{90}Sr , питома активність, радіонуклідне забруднення, риба, Чорнобильська зона відчуження, водойми, р. Дністер.

ВСТУП

Надходячи у водні екосистеми, радіонукліди включаються у біогеохімічні цикли і, рухаючись по трофічних ланцюгах, накопичуються рибою, яка є одним із об'єктів харчування людини. Особливої актуальності ці процеси набувають на території, що зазнала інтенсивного радіонуклідного забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС). Якщо до недавнього часу типовим для радіоекології риб вважалося домінування у дозовому навантаженні ^{137}Cs над ^{90}Sr , то протягом останнього десятиріччя у водоймах Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ), завдяки розчинності й високій біологічній доступності, ^{90}Sr почав відігравати основну дозоутворювальну роль. Тому основною метою нашої роботи було дослідження радіонуклідного забруднення риб і особливо „мирних” видів, у представниках яких накопичення ^{90}Sr відбувається інтенсивніше, ніж у рибах-іхтіофагах.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Озеро Азбучин розташоване на правому, а озера Глибоке, Далеке та Красненська стариця р. Прип'ять – на лівому березі р. Прип'ять на відстані 2–5 км від зруйнованого реактора. Під час досліджень були проаналізовані представники різних екологічних груп водойм ЧЗВ, Київського водосховища, Княжого Затону (Київ), ставки № 2 і 3 (м. Городенка Івано-Франківської обл.), р. Дністер (у межах Городенківського району), а саме: риби-бентофаги – карась сріблястий (*Carassius auratus gibelio* Bloch), віком 6–13 рр., карась звичайний чи золотий (*Carassius carassius* L.), віком 5–10 рр., лин (*Tinca tinca* L.), віком 5–8 рр., плітка звичайна (*Rutilus rutilus* L.), віком 2–5 рр., лящ звичайний (*Abramis brama* L.), віком 2–7 рр., марена дунайсько-дністровська (*Barbus petenyi* Heckel), віком 3–5 рр., клепець (*Abramis sapa* Pallas), віком 2–3 рр., рибець звичайний (*Vimba vimba* L.), віком 3–4 рр., зоопланктонофаг – синець (*Abramis ballerus* L.), віком 3–7 рр.; перифітонофаг – підуст звичайний (*Chondrostoma nasus* L.), віком 3–4 рр., та фітофаг – краснопірка звичайна (*Scardinius erythrophthalmus* L.), віком 1–9 рр., що домінують у даних водоймах. Визначення концентрації ^{90}Sr у рибі проводили радіохімічним методом, згідно з оксалатною методикою, шляхом вимірювання на установці малого фону УМФ-2000 дочірнього продукту ^{90}Y [6]. Біологічний аналіз риб проводили за загальноприйнятими в іхтіології методиками [1, 7]. Вміст (питома активність, концентрація) радіонуклідів у рибі подано в Бк/кг сирової (природної) маси.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХНЕ ОБГОВОРЕННЯ

У водній радіоекології традиційним стало те, що ^{137}Cs є одним із основних дозоутворювальних радіонуклідів в організмі риб. Така закономірність відзначена і при глобальних опадах під час випробування атомної зброї, і при різних локальних аваріях на підприємствах атомної енергетики. В цьому сенсі не були винятком і риби Київського водосховища, яке межує з ЧЗВ, Княжого Затону м. Києва, ставків м. Городенка (Івано-Франківська обл.) та р. Дністер (у межах Городенківського району). При цьому середнє співвідношення $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ не перевищувало 0,3. Інша картина спостерігається в замкнутих водоймах ЧЗВ, таких, як оз. Глибоке, оз. Азбучин, оз. Далеке, Красненська стариця р. Прип'ять [4, 5]. Так, якщо в 1999 р. співвідношення ^{90}Sr до ^{137}Cs у бентофагах дорівнювало 0,2, в 2000 р. – 0,6, то в 2001 р. вже 2, а у 2006–2007 рр. середній вміст ^{90}Sr перевищував вміст ^{137}Cs у 2–5 разів [2,8].

У разі збільшення за досліджуваний період до 2008 р. концентрації ^{90}Sr у воді удвічі вміст радіонукліду при цьому виріс у риб в 5–6 разів. Ймовірно, така динаміка у тканинах риб лівобережної заплави р. Прип'ять пов'язана зі зміною фізико-хімічних форм радіонукліду в ґрунтах водозбірної території. Лівобережну заплаву як одну з найбільш забруднених територій у 1992–1993 рр. було одамбовано, що змінило гідрологічний режим потоків і спричинило заболочування, що призвело до десорбції та вимивання радіонуклідів із ґрунтів прилеглих до водойм територій. ^{90}Sr утворює з фульвокислотами розчинні комплекси, що включаються в біотичний кругообіг водних екосистем. Це підтверджується і збільшенням до 2008 р. концентрацій ^{90}Sr у воді та у вищих водних рослинах озер Глибоке і Далеке. При цьому вміст радіонукліду в представниках „мирних” видів риб зберігається на дуже високому рівні, як це показано на прикладі *Scardinius erythrophthalmus* оз. Глибоке упродовж 2007–2010 рр. (рис. 1). Питома активність ^{90}Sr в рибах показано в табл. 1.

Таблиця 1. Межі питомої активності ^{90}Sr в рибах водойм ЧЗВ, Київського водосховища, Княжого Затону (м. Київ) упродовж 2006–2010 рр.Table 1. Ranges of ^{90}Sr concentration in fish of water basins within the Chornobyl exclusion zone, Kyiv water reservoir, Knyazhiy Crawl (Kyiv City) during 2006–2010

Риба	Водойма	Питома активність, Бк/кг
Карась золотий (<i>Carassius carassius</i> L.)	Азбучин	6 350–22 190
Лин (<i>Tinca tinca</i> L.)	Азбучин	3 300–5 670
Карась сріблястий (<i>Carassius auratus gibelio</i> Bloch)	Глибоке	12 973–15 879
Карась золотий (<i>Carassius carassius</i> L.)	Глибоке	11 900–23 040
Лин (<i>Tinca tinca</i> L.)	Глибоке	6 747–18 180
Плітка (<i>Rutilus rutilus</i> L.)	Глибоке	13 310–22 920
Краснопірка (<i>Scardinius erythrophthalmus</i> L.)	Глибоке	12 859–25 290
Лин (<i>Tinca tinca</i> L.)	Далеке	3 202–5 236
Плітка (<i>Rutilus rutilus</i> L.)	Далеке	6 660–8 550
Лящ (<i>Abramis brama</i> L.)	Далеке	3 100–3 950
Краснопірка (<i>Scardinius erythrophthalmus</i> L.)	Далеке	2 500–11 190
Карась сріблястий (<i>Carassius auratus gibelio</i> Bloch)	Красненська стариця р. Прип'ять	1 010–4 490
Лин (<i>Tinca tinca</i> L.)	Красненська стариця р. Прип'ять	1 320–1 640
Плітка (<i>Rutilus rutilus</i> L.)	Красненська стариця р. Прип'ять	1 870–6 500
Лящ (<i>Abramis brama</i> L.)	Красненська стариця р. Прип'ять	980–4 340
Краснопірка (<i>Scardinius erythrophthalmus</i> L.)	Красненська стариця р. Прип'ять	1 900–6 780
Синець (<i>Abramis ballerus</i> L.)	Красненська стариця р. Прип'ять	170–2 550
Карась сріблястий (<i>Carassius auratus gibelio</i> Bloch)	Київське водосховище	4,2–6,4
Лин (<i>Tinca tinca</i> L.)	Київське водосховище	3,0–4,4
Лящ (<i>Abramis brama</i> L.)	Київське водосховище	4,5–5,6
Рибець (<i>Vimba vimba</i> L.)	Київське водосховище	3,6–4,4
Клепець (<i>Abramis sapa</i> Pallas)	Київське водосховище	4,2–5,3
Синець (<i>Abramis ballerus</i> L.)	Київське водосховище	3,8–4,6
Лящ (<i>Abramis brama</i> L.)	Княжий Затон	4,1–5,2
Плітка (<i>Rutilus rutilus</i> L.)	Княжий Затон	3,4–3,8

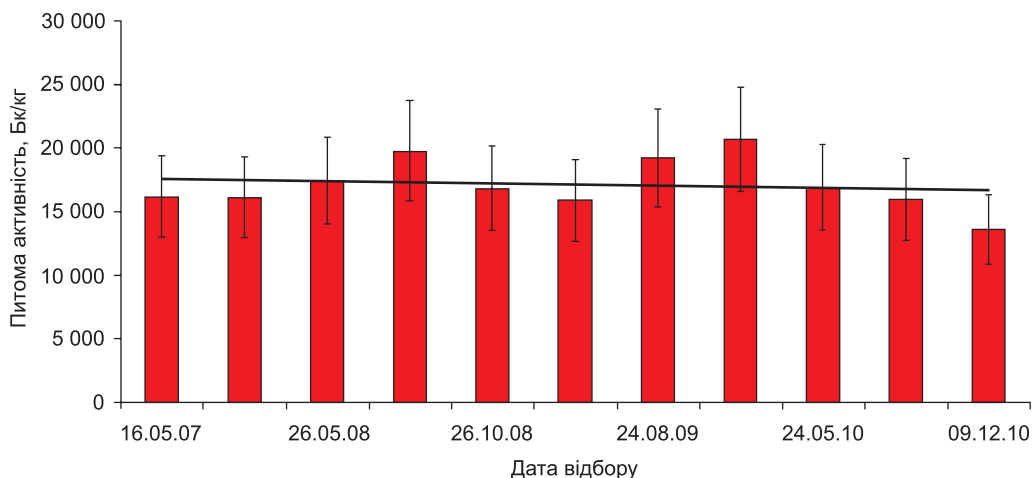


Рис. 1. Динаміка вмісту середніх значень ^{90}Sr у краснопірки звичайної (*Scardinius erythrophthalmus* L.) оз. Глибоке за 2007–2010 рр.

Fig. 1. Dynamics of ^{90}Sr average concentrations in the redeye (*Scardinius erythrophthalmus* L.) from Glyboke Lake during 2007–2010

Аналіз отриманих даних показав, що максимальну питому активність ^{90}Sr спостерігали в ребрах і плавцях представників іхтіофауни з оз. Глибоке. Коливалась вона відповідно: від 133 300 (лин) до 15 5670 Бк/кг (краснопірка) та від 60 772 (лин) до 89940 Бк/кг (краснопірка). Близька до них була концентрація радіонукліду в лусці риб. У карася вона коливалась від 33 750 до 89 950 Бк/кг (оз. Глибоке), 28 600–42 550 (оз. Азбучин), а у краснопірки (оз. Глибоке) – від 42 900 до 105 090 та у лина (оз. Глибоке) – 20 542–26 335 і лина (оз. Азбучин) – 13 994–19 038 та лина (оз. Далеке) – 8 964 – 13 726 Бк/кг сирової маси. На високому рівні питома активність радіонукліду була у кістках риб: у представників роду *Carassius* вона становила близько 36 000 (оз. Глибоке) та 22 500 Бк/кг (оз. Азбучин); у представників *Scardinius erythrophthalmus* концентрація ^{90}Sr була на рівні 50 000 Бк/кг. Порівняно невисокою питомою активністю ^{90}Sr відрізнялися м'язи риб – 303–1580 (карась, оз. Глибоке), 77–240 (карась, оз. Азбучин), 273–310 (лин, оз. Глибоке), 304–374 (лин, оз. Азбучин) та 349–505 Бк/кг (краснопірка, оз. Глибоке) [2, 4, 5].

Як видно з табл. 1, найбільш забрудненими ^{90}Sr є риби оз. Глибоке, а саме краснопірка (фітофаг) і карась (бентофаг). Це пов'язано зі способом живлення риби та високим радіонуклідним забрудненням озера. Менш забрудненими ^{90}Sr по відношенню до риб озер Глибоке, Азбучин і Далеке є риби з Красненської стариці р. Прип'яті, яка більш проточна. Питома активність ^{90}Sr в рибах досліджуваних водойм ЧЗВ зменшується в напрямі від риб-фітофагів до риб-бентофагів. Якщо порівнювати з Київським водосховищем, то, по мірі спадання вмісту ^{90}Sr , риби з водосховища можна розмістити в такій послідовності: лящ > карась сріблястий > плітка > лин, а концентрація ^{90}Sr у представниках цих видів набагато нижча від допустимих рівнів. Ще менші питомі активності радіонукліду фіксували у риб зі ставків Горodenки та р. Дністер (табл. 2).

Таблиця 2. Межі питомої активності ^{90}Sr в „мирних” видах риб деяких водойм Галичини (Покуття) упродовж 2009–2010 рр.

Table 2. Ranges of ^{90}Sr concentration in pray of some water basins of Galychyna (Pokuttya) during 2009–2010

Вид	Місце відбору	Дата відбору проби	Питома активність, Бк/кг
Марена (<i>Barbus petenyi</i> Heckel)	р. Дністер	18.06.2010	0,98–1,20
Підуст (<i>Chondrostoma nasus</i> L.)	р. Дністер	15.10.2009–18.06.2010	1,10–2,28
Рибець (<i>Vimba vimba</i> L.)	р. Дністер	18.06.2010	2,00–4,06
Плітка (<i>Rutilus rutilus</i> L.)	р. Дністер	18.06.2010	3,00–6,40
Карась сріблястий (<i>Carassius auratus gibelio</i> Bloch)	р. Дністер	18.06.2010	2,00–2,50
Краснопірка (<i>Scardinius erythrophthalmus</i> L.)	Ставки м. Городенки	23.02.2010–06.04.2010	3,31–6,00

Як видно з рис. 2, основними органами і тканинами, що накопичують ^{90}Sr у рибі, є луска, кістки, плавці та голова, тобто кальційвмісні органи. А оскільки стронцій є аналогом кальцію, то в цих органах і тканинах відбувається інтенсивне

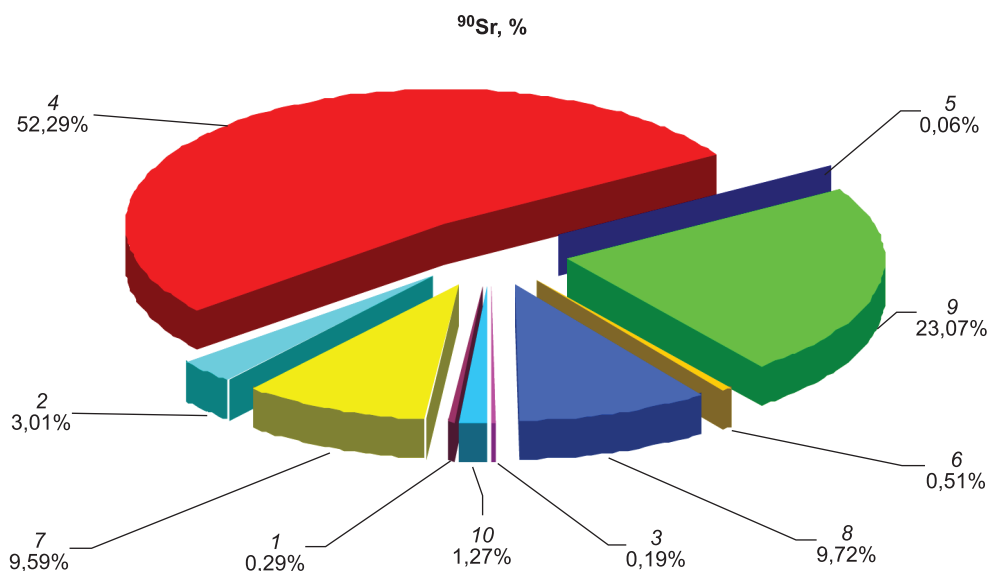


Рис. 2. Розподіл ^{90}Sr (%) по органах і тканинах плітки (*Rutilus rutilus* L.) з Красненської стариці (ділянка до дамби): 1 – внутрішні органи (серце, нирки, повітряний міхур, печінка, жовчний міхур, шлунково-кишковий тракт, селезінка); 2 – вміст шлунку; 3 – ікра; 4 – луска; 5 – шкіра; 6 – м'язи; 7 – плавці; 8 – кістки; 9 – голова; 10 – зябра

Fig. 2. ^{90}Sr distribution (%) in organs and tissues of the roach (*Rutilus rutilus* L.) from Krasnensky former riverbed (the site before the dam): 1 – internal organs (heart, kidneys, air bladder, liver, gall bladder, alimentary canal (stomach-intestinal tract), spleen); 2 – gastric contents; 3 – oocytes; 4 – scale; 5 – skin; 6 – muscles; 7 – fins; 8 – bones; 9 – head; 10 – gills

накопичення ^{90}Sr , на відміну від інших органів і тканин (м'язи, шкіра, внутрішні органи, ікра тощо), в яких кальцію набагато менше і, відповідно, питома активність радіонукліду є незначною. Результати досліджень показують, що по мірі спадання питомої активності ^{90}Sr представники бентофагів водойм ЧЗВ такі, як *Carassius*, накопичують радіонуклід так: луска (34,0–49,9%) > кістки (19,7–24,2%) > голова (20,7–28,0%), а у представників фітофагів (краснопірка) – луска (38,5–55,2%) > голова (18,2–25,4%) > кістки (10,2–16,8%).

Нами вперше було проведено ряд експериментів з вивчення форм існування радіонуклідів в організмі риб ЧЗВ. У результаті досліджень, за попередніми даними, виявлено, що на водорозчинну фракцію припадає 0,2–1,0% ^{90}Sr (тобто та кількість радіонукліду, котра легко вимивається дистильованою водою з поверхні риби) та 38,2–47,4% – на сорбований ^{90}Sr . На внутрішньоклітинну та вбудовану в кристалічну структуру фракцію радіонукліду припадає 51,10–60,80%.

Оскільки луска риби є одним із найбільших накопичувачів ^{90}Sr в організмі риб, також було досліджено форми існування радіонукліду в цій тканині різних представників видів риб. Велике значення для існування радіонуклідів у тій чи іншій формі в лусці мають її розмір, структура. За результатами аналізу легкодоступні (водорозчинна та сорбована) форми ^{90}Sr на лусці “мирних” видів становлять від 12,86 до 27,14% загального вмісту радіонукліду в даній тканині. Так, на луску, кістки, голову та плавці, які становлять 23–37% від ваги тіла, припадає 92–97% загального ^{90}Sr в організмі риб водойм ЧЗВ. Причому в м'язах бентофагів і фітофагів ^{90}Sr міститься лише 0,4–3,7%, що було нами пояснено вище. Ще менший вклад даного радіонукліду спостерігається у внутрішніх органах риби (серце, нирки, повітряний міхур, печінка, жовчний міхур, шлунково-кишковий тракт, селезінка) (рис. 2).

ВИСНОВОК

У водоймах ЧЗВ питома активність ^{90}Sr у риб різних екологічних груп у десятки і сотні разів перевищує діючі в Україні допустимі рівні для рибної продукції. На сучасному етапі ^{90}Sr є основним чинником внутрішньої дози опромінення для риб більшості водойм ЧЗВ. У той час як концентрація радіонукліду у воді та вищих водних рослинах даних водойм спадає, питома активність ^{90}Sr в представниках “мирних” видів риб з умовно непроточних і замкнутих водойм ЧЗВ утримується на одному дуже високому рівні. На луску, кістки, голову та плавці, які становлять 23–37% від ваги тіла, припадає 92–97% загального ^{90}Sr в організмі риб. Оскільки луска риби є одним із найбільших накопичувачів ^{90}Sr в організмі, то легкодоступні (водорозчинна та сорбована) форми ^{90}Sr на лусці “мирних” видів становлять тільки від 12,9 до 27,1% загального вмісту радіонукліду в даній тканині. Для переважної більшості прісноводних водойм України, розташованих за межами ЧЗВ, рівні вмісту ^{90}Sr у рибах не перевищують допустимих рівнів, які діють в Україні після аварії на ЧАЕС.

Автори щиро вдячні адміністрації та працівникам Державного спеціалізованого науково-виробничого підприємства “Чорнобильській радіоекологічний центр” МНС України, старшому науковому співробітникові Інституту зоології НАН України к.б.н. В. В. Ткаченку, молодшому науковому співробітникові Інституту гідробіології НАН України Л. П. Юрчук, а також жителю м. Городенка С. І. Дога і жителю Києва І. В. Педченку за сприяння в отриманні й обробці матеріалів досліджень.

1. Брюзгин В.Л. **Методы изучения роста рыб по чешуе, костям и отолидам**. Киев: 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. **Гидробиологич. журнал**, 2008; 44 (3): 95–113.
3. **Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді (ДР-97)**. Київ, 1997. 38 с.
4. Каглян О., Кленус В., Гудков Д. та ін. Забруднення радіонуклідами представників іхтіофауни озера Азбучин та інших водойм зони відчуження Чорнобильської АЕС. **Наук. вісн. Чернів. ун-ту. Сер. біол.**, 2008; 416: 88–93.
5. Кузьменко М.І., Гудков Д.І., Кіреєв та ін. **Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах**. Київ: Наук. думка, 2010. 263 с.
6. Лаврухина А.К., Малышева Т.В., Павлоцкая Ф.И. **Радиохимический анализ**. Москва: АН СССР, 1963. 220 с.
7. Правдин И.Ф. **Руководство по изучению рыб**. Москва: Пищевая пром-сть, 1966. 376 с.
8. Kaglyan O.Ye., Gudkov D. I., Klenus V.G. Strontium-90 in fish from the lakes of the Chernobyl Exclusion Zone. **Radioprotection**, 2009; 44(5): 945–949.

ACCUMULATION OF ^{90}Sr BY THE REPRESENTATIVES OF PRAY FISH IN WATER BASINS OF CHORNOBYL EXCLUSION ZONE AND OTHER WATER BASINS OF UKRAINE

**O. Ye. Kaglyan¹, D. I. Gudkov¹, V. G. Klenus¹, Z. O. Shyroka¹,
A. P. Korobovych¹, N. A. Pomortseva¹, L. I. Yablonska¹, O. B. Nazarov²**

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

²*"Chornobyl' Radioecological Centre" of the Ministry of Emergency Situation of Ukraine,
Chornobyl, Ukraine*

The results of studies of radioactive contamination of fishes' organs and tissues of different ecological groups in water basins within the Chornobyl exclusion zone and other water basins of Kyiv region & Pokuttya have presented. During last years a continuing decrease of ^{90}Sr specific activity in ichthyofauna representatives of all Ukrainian water basins was registered. The exception are the pray fish species of closed water basins of the Chornobyl exclusion zone where the ^{90}Sr content remains at a certain high level. It is shown, that ^{90}Sr for present time is the main dose-formed radionuclide for fish of the majority of water bodies within the Chornobyl exclusion zone.

Key words: ^{90}Sr , specific activity, radioactive contamination, fish, Chornobyl exclusion zone, water basins, Dnister River.

НАКОПЛЕНИЕ ^{90}Sr ПРЕДСТАВИТЕЛЯМИ „МИРНЫХ” ВИДОВ РЫБ В ВОДОЁМАХ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ И ДРУГИХ ВОДОЁМАХ УКРАИНЫ

**А. Е. Каглян¹, Д. И. Гудков¹, В. Г. Кленус¹, З. О. Широкая¹,
А. П. Коробович¹, Н. А. Поморцева¹, Л. П. Яблонская¹, А. Б. Назаров²**

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

²Государственное специализированное научно-производственное предприятие
"Чернобыльский радиэкологический центр" МЧС Украины, Чернобыль

Представлены результаты исследований радионуклидного загрязнения органов и тканей рыб различных экологических групп водоёмов Чернобыльской зоны отчуждения, водных объектов Киевского региона и Покутья. В течение последних лет зарегистрировано уменьшение удельной активности ^{90}Sr в представителях ихтиофауны всех водоёмов Украины, за исключением «мирных» видов рыб малопроточных и замкнутых водоёмов Чернобыльской зоны отчуждения, в которых содержание ^{90}Sr удерживается на одном высоком уровне. Показано, что ^{90}Sr на современном этапе является основным дозообразующим радионуклидом для рыб большинства водоёмов Чернобыльской зоны отчуждения.

Ключевые слова: ^{90}Sr , удельная активность, радионуклидное загрязнение, рыба, Чернобыльская зона отчуждения, водоёмы, р. Днестр.

Одержано: 07.06.2011