ВІСНИК ЛЬВІВ. УН-ТУ *VISNYK OF LVIV UNIV.*
Серія біологічна. 2010. Вип. 53. С. 114-119 *Biology series. 2010. Is. 53. P. 114-119*

УДК [577.34:597.08] (477)

РЕТРОСПЕКТИВНА ТА ПРОГНОЗНА ОЦІНКА РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ РИБ ПРІСНОВОДНИХ ВОДОЙМ УКРАЇНИ

О. Волкова, В. Беляєв, В. Карапиш

Інститут гідробіології НАН України
пр. Героїв Сталінграда, 12, Київ 04210, Україна
e-mail: volkovaen@rambler.ru; belyaevvv@rambler.ru

На основі багаторічних даних щодо питомої активності ^{137}Cs у рибах найбільш досліджених водойм України, що були забруднені радіонуклідами внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, визначено параметри зменшення вмісту радіонукліда в організмі риб. Проведено ретроспективний аналіз і прогнозну оцінку питомої активності ^{137}Cs у рибах водойм різного типу.

Ключові слова: радіонукліди, ^{137}Cs, водойми, риби.

Унаслідок аварії на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС) переважна більшість території України зазнала забруднення продуктами поділу урану [1]. Забруднення техногенними радіонуклідами стало постійно діючим чинником впливу на життєдіяльність біосистем різних рівнів організації та формування якості природних вод. За час, що минув після Чорнобильської катастрофи, були виконані радіоекологічні дослідження, які переважно розкривають кількісні характеристики радіонуклідного забруднення територій, фізико-хімічний стан радіонуклідів, процеси їхнього транспорту й міграції у ґрунтах і водоймах. Значно менше у літературних джерелах наведено відомостей щодо радіонуклідного забруднення гідробіонтів, при цьому дослідження закономірностей формування рівнів вмісту радіонуклідів у водних організмах, як правило, були вибірковими. Це стосується численних водойм на забруднених радіонуклідами територіях України, навіть тих, що розташовані у зонах обов'язкового та гарантованого відселення. Так, дослідження вмісту радіонуклідів у гідробіонтах риборозплідних ставів Київської та Чернігівської областей проведено у 1995–1996 рр., Житомирської та Рівненської – у 1998–1999 р., водойм у зоні обов'язкового відселення Житомирської області – у 1995 та 1999–2002 рр., озер на території Волинської та Рівненської областей – у 1996-2006 р. До останнього часу в науковій літературі відсутні ґрунтовний аналіз, узагальнення та формалізація процесів динаміки вмісту техногенних радіонуклідів у гідробіонтах у віддалений від часу аварії період. У зв'язку з цим гострої актуальності набули питання, пов'язані з побудовою математичних моделей, які відображатимуть динаміку накопичення та виведення радіонуклідів з організму гідробіонтів. Застосування таких моделей забезпечує ретроспективний аналіз і прогнозну оцінку радіонуклідного забруднення біотичних компонентів водних екосистем. З урахуванням того, що після розпаду короткоіснуючих продуктів поділу радіонуклідне забруднення іхтіофауни більшості досліджених водойм формувалося за рахунок ^{137}Cs, мета роботи – визначити особливості динаміки вмісту ^{137}Cs у рибах і провести ретроспективну та прогнозну оцінку питомої активності радіонукліда у представниках іхтіофауни водойм різного типу.

У роботі використані власні та літературні відомості про вміст ^{137}Cs у рибах Дніпровських водосховищ, річок, ставів і озер Київської, Житомирської, Рівненської та Волинської областей за період 1986–2006 рр. Об'єктами дослідження були риби з різним типом живлення: бентофаги – лящ звичайний, карась сріблястий, плітка звичайна, плоскирка;

© Волкова О., Беляєв В., Карапиш В., 2010

хижі – окунь річковий, щука, судак звичайний, білизна. Питома активність ^{137}Cs у рибах наведена у Бк/кг природної маси. Математичні моделі динаміки вмісту ^{137}Cs у рибах побудовані на основі розробок [12, 14] власної модифікації [7]. Коли виведення значно перевищує надходження радіонукліда в організм риби на проміжках часу більше 1 року, зміна питомої активності добре описується однокомпонентною експоненціальною моделлю:

$$A_f(t) = A_0 \exp(-p(t-t_0))$$
$$p = \ln 2/T_{1/2},$$

де $A_f(t)$ – радіоактивність організму в момент часу t, Бк/кг;
A_0 – радіоактивність організму в момент часу t_0, Бк/кг;
p – швидкість зменшення питомої активності, t^{-1};
$T_{1/2}$ – період зниження активності радіонукліда вдвічі, t.

Величини t/T_i та pt – безрозмірні.

З перших місяців після аварії на ЧАЕС Дніпровські водосховища були об'єктом пильної уваги радіоекологів, зокрема, отримані численні результати щодо радіонуклідного забруднення риб. На основі багаторічних досліджень вмісту ^{137}Cs у рибах Київського та Канівського водосховищ ми визначили параметри математичної моделі, яка відображає динаміку зменшення питомої активності ^{137}Cs у представників промислової іхтіофауни. Для визначення швидкості зменшення вмісту ^{137}Cs в організмі риб обрано часові інтервали, упродовж яких зниження концентрації ^{137}Cs у воді водойм від року до року були меншими, ніж середньорічна величина концентрації. Для розрахунків були використані літературні [10, 13, 16] та власні [5, 6, 9, 15] дані про вміст ^{137}Cs у воді та рибах. Встановлено, що упродовж 1990 – 2005 рр. швидкість зниження вмісту ^{137}Cs у риб-бентофагів Київського водосховища становила 0,13±0,013, у риб хижих видів – 0,17±0,014 рік$^{-1}$ (рис. 1). Таким чином, ефективний період напіввиведення ^{137}Cs бентофагами дорівнював 5,3±0,6, рибами хижих видів – 4,0±0,3 роки. Швидкість зниження вмісту ^{137}Cs у бентофагів і хижих видів риб Канівського водосховища вірогідно не відрізнялася та становила 0,12 ±0,02 рік$^{-1}$, що відповідає зниженню активності радіонукліда вдвічі за 6,0±1,0 роки (рис. 2).

Динаміку вмісту ^{137}Cs у рибах замкнених водойм досліджували на прикладі представників іхтіофауни озера Біле, яке розташоване на території Володимирецького району Рівненської області. Згідно з нашими розрахунками, швидкість зменшення вмісту ^{137}Cs у рибах-бентофагах цієї водойми становила приблизно 6,4 року.

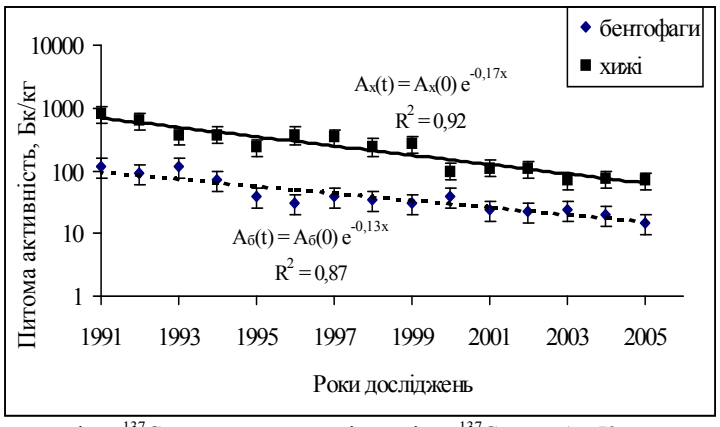

Рис. 1. Питома активність ^{137}Cs та модель динаміки вмісту ^{137}Cs у рибах Київського водосховища: A_x – питома активність хижих риб, $A_б$ – питома активність риб-бентофагів.

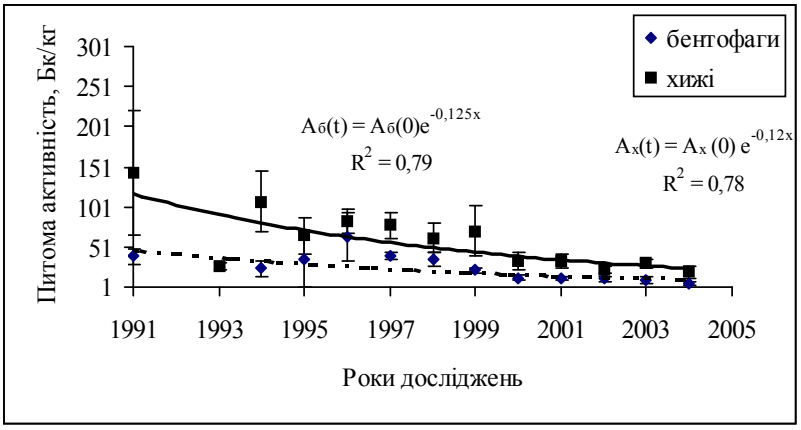

Рис. 2. Питома активність ^{137}Cs та модель динаміки вмісту ^{137}Cs у рибах Канівського водосховища: $А_х$ – питома активність хижих риб, $А_б$ – питома активність риб-бентофагів.

Аналогічні розрахунки, з урахуванням рівнів накопичення ^{137}Cs рибами різних видів та різного типу живлення [4, 9, 15], були проведені для деяких водойм зони відчуження ЧАЕС. У рибах водойми-охолоджувача ЧАЕС зменшення вдвічі вмісту ^{137}Cs відбувалося у середньому за 5,6 р. За нашими оцінками, процеси зниження рівнів накопичення ^{137}Cs рибами оз. Глибоке, яке розташоване на території лівобережної заплави р. Прип'ять, відбувалися дещо повільніше, і період зменшення вдвічі питомої активності ^{137}Cs у рибах цієї водойми дорівнював 10 рокам.

Значно складніше було визначити швидкість зниження ^{137}Cs у представників іхтіофауни річкових екосистем. Це пов'язане перш за все з тим, що за інтенсивністю та складом аерозольних Чорнобильських випадінь найбільш складний характер був притаманний західному та північному "слідам" первинного радіонуклідного випадіння, якими практично повністю охоплені території Західного, Житомирського та Київського Полісся [1]. Тому річки західної частини басейну Дніпра зазнали найбільш відчутного впливу радіонуклідного забруднення після Чорнобильської катастрофи. Але щільність радіонуклідних випадінь зменшується як у західному, так і у південному напрямках від північних районів Київської та Житомирської областей до західної частини Волинської області. Таким чином, більшість правих приток Прип'яті – річки Горинь, Стир, Уборть, Стохід та інші, які протікають у меридіональному напрямку, лише у нижній течії перетинають території зі значною щільністю радіонуклідного забруднення. Для визначення особливостей динаміки вмісту ^{137}Cs у рибах річок доцільно було обрати водотік із достатньо рівномірною щільністю забруднення площі водозбору вздовж усієї течії, який протікає у межах однієї фізико-географічної зони. Зазначеним вимогам відповідає спрямована у широтному напрямку р. Жерев, притока р. Уж. Ця невелика річка протікає територіями зі значною (до 1480 кБк/м^2) щільністю радіонуклідного забруднення та перетинає зону безумовного (обов'язкового) відселення у Лугинському і Народицькому р-нах Житомирської області. Як більшість річок зони Полісся, р. Жерев зарегульована, і рибу відловлювали на незарегульованих ділянках. Результати досліджень 1994–2006 рр. показали [5], що зниження удвічі питомої активності ^{137}Cs відбувалося для хижих видів риб за 2,7–4,9, для бентофагів – за 2,5–2,8 року, тобто дещо швидше, ніж у водоймах з уповільненою течією (рис. 3). Можна припустити, що у водотоках зони Полісся України, яким

притаманний більший градієнт щільності забруднення площі водозбору, очищення організмів риб від ^{137}Cs відбувалося швидше.

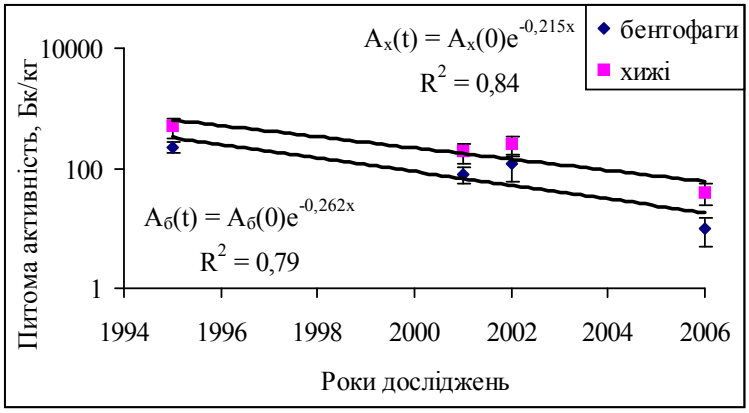

Рис. 3. Питома активність ^{137}Cs та модель динаміки вмісту ^{137}Cs у рибах р. Жерів: A_x – питома активність хижих риб, $A_б$ – питома активність риб-бентофагів.

Вважаємо за необхідне відзначити, що у водоймах з уповільненою течією, які значно відрізняються за рівнем первинного радіонуклідного забруднення та гідрологічним режимом, швидкість зменшення питомої активності ^{137}Cs у рибах практично збігається. Раніше нами було показано [6, 8], що формування рівнів радіонуклідного забруднення риб обумовлене не лише щільністю випадінь радіоактивних речовин на поверхню та площу водозбору водойм, а й особливостями їхнього гідрологічного режиму. Загальна кількість ^{137}Cs, який затримується у водній екосистемі, збільшується зі зменшенням коефіцієнта водообміну водойми, що впливає на рівні накопичення радіонукліда рибами. Проте результати моделювання свідчать про відсутність істотного впливу гідрологічних чинників на швидкість зменшення питомої активності ^{137}Cs у рибах водойм з коефіцієнтом водообміну від 1 до 20 за умов сформованої радіоекологічної ситуації. Так, у середній за водністю рік коефіцієнт водообміну Канівського водосховища становить 16,8, Київського водосховища – 8,9, водойми-охолоджувача ЧАЕС – 1. Найвища зареєстрована у рибах названих водойм питома активність ^{137}Cs – 500, 2000 та 600 000 Бк/кг, відповідно [9, 16]. У той же час швидкість зменшення вмісту ^{137}Cs у рибах цих водойм вірогідно не відрізняється. Уповільнення процесів зменшення вмісту ^{137}Cs в організмі риб спостерігається у замкнених озерах з коефіцієнтом водообміну < 1 та за умов дії низки додаткових чинників [8, 9].

На основі одержаних параметрів [7, 9] проведена ретроспективна оцінка рівнів накопичення ^{137}Cs в іхтіофауні деяких водойм, де вміст ^{137}Cs у рибах визначали упродовж 1–3 років, та визначено час, необхідний для зменшення питомої активності радіонукліда у представників іхтіофауни до значення 10 Бк/кг. Оцінку проводили тільки для водойм, де на час відбору проб питома активність радіонукліда у рибах перевищувала значення 10 Бк/кг, тобто була у кілька разів більшою за рівні, характерні для доаварійного періоду [2, 3]. При розрахунках виходили з максимальних зареєстрованих у рибах значення питомої активності ^{137}Cs, при цьому були використані як власні, так і літературні [11] дані (табл.). Для риб Київського та Канівського водосховищ проведена тільки прогнозна оцінка, згідно з якою максимальна питома активність ^{137}Cs у рибах цих водойм зменшиться до 10 Бк/кг у 2031 та 2019 рр., відповідно.

Питома активність ^{137}Cs у риб (А), ретроспективна оцінка питомої активності на 1990 р. ($А_{1990}$) та прогнозна оцінка - рік зменшення вмісту ^{137}Cs у риб до 10 Бк/кг ($Рік_{10\ Бк/кг}$)

Водойма, місце знаходження	Джерело інформації	А (Рік)*, Бк/кг	$А_{1990}$, Бк/кг	$Рік_{(10\ Бк/кг)}$
р. Дніпро, вище Київського водосховища	[11]	32 (2001)	406	2006
р. Жерів, Житомирська область	Власні дані	208 (2002)	3326	2015
оз. Пулемецьке, Волинська область	Власні дані	51 (1996)	97	2011
оз. Люцимер, Волинська область	Власні дані	40 (1996)	76	2009
оз. Біле, Рівненська область	Власні дані	600 (2006)	3378	2044
оз. Нобель, Рівненська область	[11]	72 (2001)	237	2019
Наливні стави, Житомирська область**	Власні дані	200 (1998)	475	2026
Руслові стави, Житомирська область***	Власні дані	100 (1998)	237	2019
Руслові стави, Рівненська область****	Власні дані	330 (1998)	783	2030

Примітка. *- в дужках наведено рік досліджень; ** - Народицький р-н; *** - Новоград-Волинський р-н;**** - Рокитнянський р-н.

Визначені нами на основі результатів багаторічних досліджень динамічні особливості формування рівнів накопичення ^{137}Cs рибами дають підстави стверджувати, що у водоймах з уповільненою течією, незалежно від ступеня радіонуклідного забруднення екосистеми, швидкість зниження вмісту ^{137}Cs у рибах є величиною відносно постійною і становить 0,1-0,2 рік$^{-1}$. Зниження вмісту радіонукліда у рибах річкових екосистем відбувалося швидше – 0,14–0,28 рік$^{-1}$. Згідно з прогнозною оцінкою, питома активність ^{137}Cs у рибах деяких водойм зони Полісся України досягне доаварійних рівнів не раніше, ніж через 30-40 років після аварії на ЧАЕС.

1. 20 років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє: Національна доповідь України. К.: Атіка, 2006. 224 с.
2. *Антоненко Т. М.* Радиоэкологическое исследование накопления, распределения и миграции цезия-137 в водоёмах степной зоны Украины: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Севастополь, 1978. 28 с.
3. *Винцукевич Н. В., Томилин Ю. А.* Распределение радионуклидов в водной экосистеме (пруд-охладитель АЭС – река – морской лиман) // Экология. 1987. № 6. С. 71–74.
4. *Волкова Е., Насвит О., Беляев В.* и др. Особенности накопления радионуклидов рыбами водоема-охладителя ЧАЭС // Радиоэкология Чернобыльской зоны: Тезисы Междунар. науч. сем. Славутич, 18–19 сентября 2002. Славутич: Международная радиоэкологическая лаборатория, 2002. С. 92–93.
5. *Волкова О. М., Беляєв В. В., Кленус В. Г.* Радіоекологічні дослідження деяких річок Житомирської області // Ядерна фізика та енергетика. 2006. № 2 (18). С. 110–114.
6. *Волкова О. М.* Техногенні радіонукліди у гідробіонтах водойм різного типу: Автореф. дис. … д-ра біол. наук. К., 2008. 34 с.
7. *Волкова Е. Н., Беляев В. В., Зарубин О. Л., Гудков Д. И.* Параметры снижения удельной активности ^{137}Cs в гидробионтах, обитающих в водоемах разного типа // Радиационная биология. Радиоэкология. 2009. Т. 49. № 2. С. 207–211.
8. *Волкова О. М., Беляєв В. В.* Вплив гідрологічних факторів на формування радіонуклідного забруднення гідробіонтів //Ядерна фізика та енергетика. 2009. Т. 10. № 1. С. 80–86.
9. *Волкова О. М., Беляєв В. В.* Закономірності накопичення радіонуклідів рибами прісноводних водойм України // Проблеми здоров'я гідробіонтів у сучасних умовах. Луцьк: ВАТ "Волинська обласна друкарня", 2009. С. 151–160.

10. *Годун Б. О., Деревець В. В., Кірєєв С. І.* та ін. Радіаційний стан зони відчуження в 2005 році // Бюл. екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. 2006. №1(27), квітень 2006. С. 5–24.
11. *Гудков Д. И. Каглян А. Е.* Радиоэкологические исследования (Результаты исследований ИГБ НАН Украины) // Экологическое состояние трансграничных участков рек бассейна Днепра на территории Украины / Под ред. А.Г. Васенко, С.А. Афанасьева. К.: Академпериодика, 2002. С. 190–223.
12. *Егоров В. Н.* Динамические закономерности радиохемоэкологических процессов в морской среде: Автореф. дис. … д-ра биол. наук. К., 1987. 33 с.
13. *Зарубин О. Л., Канивец В. В.* Содержание радионуклидов в воде Каневского водохранилища после аварии на ЧАЭС 1986 г. // Зб. наук. праць ін-ту ядерних досліджень. К. 2005. № 3 (16). С. 110–121.
14. *Крышев И. И., Сазыкина Т. Г.* Математическое моделирование миграции радионуклидов в водных экосистемах. М.: Энергоатомиздат, 1986. 149 с.
15. *Кузьменко М. І., Романенко В. Д., Деревець В. В.* та ін. Радіонукліди у водних екосистемах України. К.: Чорнобильінтерінформ, 2001. 318 с.
16. *Рябов И.Н.* Радиоэкология рыб водоемов в зоне влияния аварии на Чернобыльской АЭС. М.: Т-во науч. изданий КМК, 2004. 215 с.

RETROSPECTIVE AND PREDICTION ESTIMATION OF RADIONUCLIDE CONTAMINATION OF FISHES FROM FRESHWATER WATER-BODIES OF UKRAINE

O. Volkova, V. Belyayev, V. Karapish

Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine
12, Geroyiv Stalingrada Ave., Kiev 04210, Ukraine
e-mail: volkovaen@rambler.ru; belyaevvv@rambler.ru

The rate of decrease of ^{137}Cs content in hydrobionts from water-bodies of Ukraine that contaminated as result of Chernobyl accident has been calculated. The retrospective analysis and prediction estimation of ^{137}Cs content in fish of water-bodies has been transmitted.

Key words: radionuclides, ^{137}Cs, reservoir, fishes.

РЕТРОСПЕКТИВНАЯ И ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЫБ ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ УКРАИНЫ

Е. Волкова, В. Беляев, В. Карапиш

Институт гидробиологии НАН Украины
пр. Героев Сталинграда, 12, Киев 4210, Украина
e-mail: volkovaen@rambler.ru; belyaevvv@rambler.ru

На основании многолетних данных об удельной активности ^{137}Cs в рыбах наиболее исследованных водоемов, которые были загрязнены вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, были определены параметры уменьшения содержания радионуклида в организме рыб. Сделаны ретроспективный анализ и прогнозная оценка удельной активности ^{137}Cs в рыбах водоемов разного типа.

Ключевые слова: радионуклиды, ^{137}Cs, водоемы, рыбы.

Стаття надійшла до редколегії 10.12.09
Прийнята до друку 30.04.10