

УДК [577. 34:574. 5(285)(477)]

М.І. Кузьменко, Д.І. Гудков, **І.В. Паньков**

Інститут гідробіології НАН України, м. Київ.

РАДІОНУКЛІДИ ТА ЇХ ЕКОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ У ВОДОЙМАХ УКРАЇНИ

Радіонуклідне забруднення біосфери почало формуватися з середини ХХ століття. Випробування ядерної зброї, розвиток атомної енергетики у багатьох країнах світу, широке застосування різних джерел іонізуючого випромінювання в науці, техніці та інших сферах діяльності людини призвели до прогресуючого радіонуклідного забруднення біосфери і особливо поверхневих вод.

26 квітня 1986 р. на Чорнобильській АЕС сталася безпрецедентна в історії біосфери катастрофа. Сумарна активність усього радіоактивного матеріалу, викинутого у природне середовище внаслідок аварії на ЧАЕС, становить $1,2 \cdot 10^{19}$ Бк, включаючи майже $7,0 \cdot 10^{18}$ Бк інертних газів [8]. Радіоактивні аерозолі були рознесені на тисячі кілометрів. Визниження ^{137}Cs спричинили забруднення із щільністю від $3,7 \cdot 10^{10}$ до $18,5 \cdot 10^{10}$ Бк/км² на площі 150000 км².

Інтенсивному радіонуклідному забрудненню були піддані водойми у межах 30-ти км зони ЧАЕС. У початковий період після аварії радіонуклідне забруднення природного середовища переважно визначали ^{131}J , ^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{144}Ce та ін., сумарна активність яких у воді р. Прип'ять сягала $3,7 \cdot 10^3$ Бк/л, водойми-охолоджувача — $3,7 \cdot 10^5$ Бк/л. В донних відкладах водойми-охолоджувача вміст ^{90}Sr досягав $15,47 \cdot 10^{12}$, ^{137}Cs — $20,03 \cdot 10^{14}$ Бк/км². Загальний вміст гама-випромінюючих радіонуклідів у водойми-охолоджувачі оцінювався у $55,5 \cdot 10^{13}$ Бк, у тому числі ^{137}Cs — $55,5 \cdot 10^{12}$ - $16,65 \cdot 10^{13}$ Бк. Вміст ^{90}Sr становив $55,5 \cdot 10^{12}$ - $74,0 \cdot 10^{12}$ Бк, [1,3].

Оцінюючи запаси радіонуклідів у зоні відчуження Чорнобильської АЕС, слід відзначити, що площа близько 1800 км² має щільність забруднення радіоцезієм понад 555,0 кБк/м², радіостронцієм 111,0 кБк/м² та плутонієм — понад 3,7 кБк/м² [8].

Об'єкт "Укриття" містить основну кількість радіоактивних матеріалів: близько 200 т відпрацьованого і свіжого ядерного палива загальною активністю $7,0 \cdot 10^{17}$ Бк. Основна небезпека пов'язана з можливим викидом у природне середовище радіоактивного пилу, а також скиданням радіоактивності у рідкій фазі і надходженням її у ґрунтові води та р. Прип'ять.

Поведінка, розподіл та міграція радіонуклідів у водних екосистемах обумовлюються складним взаємопов'язаним впливом гідрологічних, фізико-хімічних процесів. Так, динаміка вмісту радіонуклідів у воді тієї, чи іншої водойми буде визначатись періодами напіврозпаду радіонуклідів, надходженням — виносом з водними масами, сорбцією — десорбцією з донних відкладів, накопиченням та виділенням гідробіонтами, седиментацією з детритом на дно, перенесенням у складі іхтіо- та орнітофауни. Саме ці процеси і є визначальними при очищенні водних мас від радіонуклідів. Перехід радіонуклідів з одних компонентів у інші може тільки опосередковано впливати на радіоекологічну ситуацію в екосистемі, загострювати чи поліпшувати радіоекологічну безпеку щодо людини. Так, перехід радіонуклідів з водної товщі у донні відклади хоч і не впливає на баланс радіонуклідів в екосистемі, проте здатний істотно поліпшити якість води для споживання населенням.

За час, що минув після аварії, в природних водах відбулась кардинальна трансформація фізико-хімічного стану радіонуклідів. У перші місяці після аварії радіонукліди надходили у природні води у вигляді "гарячих" часток і стан радіонуклідів визначався завислими формами. Седиментація зависів на дно сприяла зниженню радіоактивності води. Однак при цьому підвищувалась радіоактивність в умовно розчинній формі: до 99 % ^{90}Sr і ^{137}Cs [7]. У процесах вивільнення радіонуклідів провідну роль відіграють такі процеси, як дифузія, розчинення, деструкція, радіоліз.

Як свідчать виконані нами дослідження механізми іммобілізації радіонуклідів значною мірою посилюються в біотопах з високим рівнем розвитку біогідроценозів. Так, в біотопах, заселених вищою водяною рослинністю, вміст розчинних форм ^{90}Sr і ^{137}Cs істотно підвищується. Отже, біосистеми посилюють рухливість радіонуклідів у водних екосистемах.

Авторами цієї роботи у різні роки були виконані радіоекологічні дослідження вмісту радіонуклідів у компонентах екосистем найбільших рік Європи. І хоч порівняння даних, отриманих у різні роки, має певні обмеження, проте переконливим є досить високий вміст радіонуклідів як в абіотичних, так і в біотичних компонентах екосистеми Київського водосховища.

Вміст радіонуклідів у компонентах екосистем великих рік Європи, Бк/кг

Компоненти	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
Волга 1988 р.		
Зелені нитчасті водорості	0,4-9,7 (6,1)	9,3-24,5 (15,4)
Вищі водяні рослини	0,4-32,6 (9,6)	0,6-58,8 (9,6)
Молоски	2,3-28,1 (7,6)	0,9-35,6 (7,2)
Риби в цілому	0,2-2,2 (1,0)	0,8-5,1 (2,1)
Дунай, 1988 р.		
Зелені нитчасті водорості	3,9-30,1 (17,0)	8,9-69,9 (39,6)
Вищі водяні рослини	0,2-5,7 (2,9)	2,6-93,6 (48,1)
Молоски	3,5-64,0 (33,7)	3,2-11,8 (7,5)
Риби в цілому	1,4-2,3 (1,9)	10,7-17,0 (13,7)
Дніпро (Київське водосховище) 1992 р.		
Вода (Бк/л)	0,18	0,05
Завісі	243	5494
Донні відклади	26	815
Зелені нитчасті водорості	4	444
Рогіз вузьколистий	64	407
Губки	37	1258
Рак довгопаллий	20	185
Дрейсена бугзька	138	195
Лящ	12	43
Щука	6	325
2000 рік		
Вода (Бк/л)	0,01-0,06	0,001-0,006
Лящ		115**
Окунь		213**
Щука		95-280**
Дністер, 1991 р.		
Вода (Бк/л)	(0,11-3,33)*10 ⁻¹	(1,46-5,88)*10 ⁻²
Завісі	9,69-7733,0	1,90-2249,6
Донні відклади	1,37-185,0	1,48-105,8
Південний Буг, 1992 р.		
Донні відклади	1,0-2,4	21,4-32,6
Зелені нитчасті водорості	4,4	21,8-33,7
Вищі водяні рослини	3,8-25,2	16,5-88,8
Молоски	1,9-9,9	4,1-31,5

** — Рябов та ін., 2001 р. У таблиці подані межі вмісту радіонуклідів, у дужках — середні значення; вміст радіонуклідів наведено з розрахунку у воді — Бк/л; у рослин — Бк/кг полвітрянно-сухої маси; у тварин — Бк/кг сирової маси.

Систематичний радіоекологічний моніторинг у забруднених радіонуклідами водоймах свідчить про те, що в період з 1987-2000 рр. у Київському водосховищі вміст ¹³⁷Cs у м'язах хижих риб (щука, окунь) знизився з 1,5-2 до 0,2-0,4 кБк/кг сирової маси [6]. Мирні риби (лящ, срібний карась) через 2-3 роки після аварії мали вміст ¹³⁷Cs у 2-3 рази менший, ніж хижі. Навесні 1996 р. вміст ¹³⁷Cs у риб збільшився у 2-3 рази у порівнянні з 1994-1995 рр. Відзначене вторинне підвищення вмісту ¹³⁷Cs у риб свідчить про зростання рухливості і біологічної доступності радіонукліду. У 2000 р. середньорічний вміст ¹³⁷Cs у окуня становив 213 Бк/кг сирової маси. У великих екземплярів окуня вміст ¹³⁷Cs майже у 3,5 рази перевищував діючі в Україні гранично допустимі рівні вмісту ¹³⁷Cs у риб та рибних продуктах — 150 Бк/кг сирової маси [6]. Концентрація ¹³⁷Cs у інших видів риб становила у м'язах щуки 95-280 Бк/кг або в середньому 152 Бк/кг, у судака в середньому 85 Бк/кг сирової маси. У 2000 р. вміст ¹³⁷Cs у мирних видів риб не перевищував гранично допустимих рівнів і становив у м'язах срібного карася до 30 Бк/кг, ляща — 115 Бк/кг сирової маси [6]. Дослідження динаміки вмісту ¹³⁷Cs у риб протягом року свідчить про те, що у весняний період вміст радіоцезію в організмі риб дещо підвищується, що обумовлено підвищенням вмісту радіонукліду у воді внаслідок змиву з площі водозбору та активізацією метаболічних процесів. Численні радіоекологічні дослідження природних вод переслідували головну мету: вивчення кількісного та якісного вмісту радіонуклідів в абіотичних та біотичних компонентах водних екосистем. При цьому визначення радіобіологічних ефектів навіть в умовах водойм-охолоджувачів атомних електростанцій залишалось досить проблематичним. Останнє обумовлювалося порівняно низькими рівнями радіонуклідного забруднення і відповідно дозами опромінення та великою кількістю факторів, здатних модифікувати дію іонізуючого опромінення на гідробіонтів.

Внаслідок радіонуклідного забруднення чорнобильського походження гідробіонти зазнавали і продовжують зазнавати додаткового зовнішнього та внутрішнього опромінення. У водоймі-охолоджувачі ЧАЕС та інших водоймах Зони відчуження, внаслідок такого опромінення, у біосистемах на різних рівнях організації проявився досить широкий спектр порушень. У 1991 р. у олігохет *Stylaria lacustris* при дозі

0,01 мГр/рік спостерігався високий рівень хромосомного мутагенезу [4]. Станом на 1989 р. у популяції білого товстолоба (*Hypophthalmichthys molitrix*), що населяє водойму-охолоджувач, при поглинутій дозі 7-8 Гр, а до 1992 р. — 11 Гр збільшилась кількість особин з аномаліями системи відтворення, появились частково або повністю стерильні особини, риби з аномальною асиметричною формою гонад у більшій кількості, ніж поміж особин за умов природного радіаційного фону. Дослідження радіаційного ризику риб різних екологічних груп із ставка-охолоджувача Чорнобильської АЕС показали, що максимальний ризик мають пічкурі, які відносяться до псамофільної групи риб, представники якої відкладають ікру на пісок [5]. У післяаварійний період у ставу-охолоджувачі молодь пічкурів виявити не вдалось. У 1991 р. був спійманий мальок бичка-цуцика із великою аномалією. У цього екземпляра праве око зформувалося у ротовій порожВ даний час. Проте більшість мальків бичка-цуцика зовні не проявляли аномалій.

Від загального вмісту радіонуклідів у водній екосистемі понад 90 % депонується в донних відкладах. Тому у забрудненій радіонуклідами водоймі за умов хронічного опромінення найбільшого ризику зазнають види, які протягом усіх періодів онтогенезу максимально контактують з донними відкладами і живляться бентосом. Отже, багаторічні екологічні дослідження водних екосистем України свідчать про те, що радіонуклідне забруднення спричинене аварією на Чорнобильській АЕС, набуло хронічного впливу на життєдіяльність гідробіонтів. У водоймах Зони відчуження, Київському водосховищі, які відзначаються високими рівнями радіонуклідного забруднення, дози опромінення досягали екологічно значимих рівнів і призводять до порушень на різних рівнях організації біосистем. В екосистемах рік Дністер, Південний Буг та інших, у яких вміст радіонуклідів у воді незначний і дози опромінення від них на рівні фонових, за умов маскуючого впливу хімічного забруднення та інших чинників встановлення радіобіологічних ефектів у організмі гідробіонтів досить проблематичне. Прогресуюче надходження штучних радіонуклідів характерне для сучасної біосфери і за умов хронічного хімічного забруднення та негативної дії інших антропогенних чинників посилює негативний прес на життєдіяльність гідробіонтів і знижує біологічну якість природних вод.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абаган А. А., Асмолов В. Г., Гуськова А. К. и др. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // Атомная энергия. — 1986. — Т. 61, вып. 5. — С. 301-320.
2. Белова Н. В., Веригин Б. В., Емельянова Н. Г. и др. Радиобиологический анализ белого толстолобика *Hypophthalmichthys molitrix* в водоеме-охладителе Чернобыльской АЭС в послеварийный период // Вопросы ихтиологии. — 1993. - Т. 33, № 6. - С. 814-828.
3. Казаков С. В., Волк П. С., Фильчагов П. П. Радиэкологическое состояние пруда-охладителя ЧАЭС // Проблемы Чернобыльской зоны відчуження. — 1994. — Т. 1. — С. 129-138.
4. Полікарпов Г. Г., Цицугіна В. Г., Жерко Н. В., Баранова О. К. Цитогенетичні ефекти в популяціях олігохет *Stylaria lacustris* у "плямах" радіоактивного та хімічного забруднення середовища // Доп. АН України. — 1992. — № 4. — С. 146-148.
5. Рябов И. Н. Оценка воздействия ионизирующего облучения на рыб и круглоротых в разные периоды онтогенеза // Радиационное загрязнение и биогеоценозы. — М., 2000. — С. 15-30.
6. Рябов И. Н., Белова Н. В., Полякова Н. И. Радиэкологический мониторинг рыб-видов индикаторов радиоактивного загрязнения Киевского водохранилища в 1987-2000 гг. Міжнародна конференція "П'ятнадцять років Чорнобильської катастрофи. Досвід подолання". — К., 2001. — С. 2-34.
7. Соболев Э. В., Долин В. В., Сытый С. А. Скорость трансформации ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде больших рек зоны отчуждения. Міжнародна конференція "П'ятнадцять років Чорнобильської катастрофи. Досвід подолання". — К., 2001. — С. 1-25.
8. Холоща В. І., Проскура М. І., Иванов Ю. О., Казаков С. В., Архипов А. М. Природні та техногенні об'єкти зони відчуження — радіаційна і екологічна вагомість. 15 років Чорнобильської катастрофи // Радіаційна безпека в Україні (Бюлетень НКРЗУ). — 2001. — № 1-4. — С. 8-16.

УДК (577. 34;546. 8):595. 324 + 574. 64

М.Г. Мардаревич, Д.І. Гудков, В.В. Беляєв

Інститут гідробіології НАН України, м. Київ

МОДИФІКУЮЧИЙ ВПЛИВ ^{90}Sr НА ДІЮ Pb^{2+} В УМОВАХ ЕКСПЕРИМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІЛЛЯСТОВУСИХ РАКОПОДІБНИХ *Daphnia magna* STRAUS

Сучасний стан довкілля характеризується вмістом широкого спектру полутантів радіаційної та хімічної природи. При цьому сумісний вплив радіонуклідів та речовин органічної та неорганічної природи призводить в біологічних системах до найнесподіваніших ефектів [8] з можливою зміною прояву радіобіологічних ефектів (адитивність, антагонізм, синергізм) [2]. Підтвердженням цього є численні