

УДК [577.34:574.63:597.08:581.526.3] (28) (477)

О. Л. Зарубин¹, В. А. Костюк¹, А. А. Залисский²,
В. В. Бабенко¹, Т. А. Литвинская¹, И. А. Малюк¹,
В. А. Лактионов¹, Б. А. Мошна¹

ДИНАМИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ¹³⁷Cs ПО ОРГАНАМ И ТКАНЯМ РЫБ РАЗНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЧАЭС

Изучена многолетняя динамика распределения ¹³⁷Cs по органам и тканям рыб водоема-охладителя ЧАЭС после аварии 1986 г. Через 1—4 года после аварии дифференциация содержания ¹³⁷Cs в органах и тканях рыб достигла максимума и продолжает оставаться относительно стабильной. С тех пор по 2010 г. наибольшая удельная активность ¹³⁷Cs характерна для мышц, а наименьшая — для жира, остальные органы и ткани занимают промежуточное положение.

Ключевые слова: ЧАЭС, рыбы, содержание ¹³⁷Cs, динамика, распределение, органы, ткани.

Ранее считалось, что стабильный изотоп цезия — ¹³³Cs [1] и радиоактивный ¹³⁷Cs распределяются в организме (по крайней мере, в мягких тканях млекопитающих), за исключением мышц, относительно равномерно [2, 8, 10].

После изучения начальных характеристик загрязнения рыб водоема-охладителя ЧАЭС «аварийными» радионуклидами было установлено, что их различные органы и ткани накапливают ¹³⁷Cs и многие другие радионуклиды с различной интенсивностью. Относительная стабилизация распределения ¹³⁷Cs наступила далеко не сразу [4]. В первые месяцы после аварии его содержание в органах и тканях рыб одного вида, как правило, находилось в пределах одного порядка величин [4].

Априори скорость накопления и выведения различных элементов и их соединений разными органами и тканями неодинакова. Возможно, что в проводимых ранее исследованиях [2, 8, 10] *продолжительность* развития процессов накопления ¹³⁷Cs не была учтена. В этой связи возникает определенный научный интерес в изучении многолетней динамики распределения ¹³⁷Cs по органам и тканям рыб.

Материал и методика исследований. Отлов рыб на акватории водоема-охладителя ЧАЭС проводился сотрудниками Института ядерных иссле-

© Зарубин О. Л., Костюк В. А., Залисский А. А., Бабенко В. В.,
Литвинская Т. А., Малюк И. А., Лактионов В. А., Мошна Б. А., 2012

дований НАН Украины и «Экоцентра» (г. Чернобыль) любительскими снастями (спиннинг, удочка) и ставными сетями с размером ячеей от 20 до 150 мм с августа 1986 г. по декабрь 2010 г.

Динамику распределения ^{137}Cs по органам и тканям изучали у рыб разных экологических групп. Основное внимание уделялось бентофагу карпу (сазану) (*Cyprinus carpio* L.), планктофагу белому толстолобику (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.), полифагу сому (*Silurus glanis* L.) и облигатному ихтиофагу судаку (*Lucioperca lucioperca* L.).

При подготовке к измерениям органы и ткани рыб отделяли друг от друга, полученные образцы гомогенизировали. Содержание ^{137}Cs определяли по стандартным методикам гамма-спектрометрии. Аппаратура была аттестована и проходила регулярные плановые проверки. В зависимости от активности пробы продолжительность измерений составляла от 600 до 14 400 с. Относительная погрешность измерения удельной активности ^{137}Cs в образцах не превышала 20%, обычно составляя 5—10%. Удельную радиоактивность ^{137}Cs рассчитывали на сырую массу. Статистическую и графическую обработку результатов измерений проводили с использованием пакета прикладных программ Excel 2003 (лицензия № 42326439).

Результаты исследований и их обсуждение

Почти 100% ^{137}Cs поступает в организм пресноводных рыб по пищевому пути [5, 9, 11] и активно накапливается. После аварии 1986 г. радионуклидное загрязнение рыб низких трофических уровней и полифагов в большинстве случаев достигло максимальных значений в течение 4—6 мес, а ихтиофагов — 4—18 мес, что связано с определенной задержкой прохождения ^{137}Cs по пищевым цепям. С течением времени удельная активность радионуклида в рыбах начинает снижаться, что напрямую связано с уменьшением его содержания в воде [4—7].

В первые дни и недели после начала поступления ^{137}Cs в водоемы его наибольшее содержание в рыбах регистрировалось в желудочно-кишечном тракте, жабрах и чешуе. В основном это было вызвано поверхностным загрязнением и наличием ^{137}Cs в пищевом комке. Затем радионуклид начинал перераспределяться по организму и накапливаться органами и тканями с различной интенсивностью. Следует отметить, что распределение ^{137}Cs у рыб одного вида из водоемов разного уровня радионуклидного загрязнения существенно не различалось.

В августе 1986 г. содержание ^{137}Cs в чешуе и мышцах карпа водоема-охладителя достоверно не различалось, но уже спустя несколько месяцев различия были существенными (табл. 1). Динамика распределения ^{137}Cs по органам и тканям рыб водоема-охладителя ЧАЭС в 1986—1990 гг. подробно рассмотрена ранее [4].

В таблицах 2—4 представлено распределение удельной активности ^{137}Cs по органам и тканям половозрелых особей исследуемых видов рыб.

1. Удельная активность ^{137}Cs в органах и тканях карпа (сазана) водоема-охладителя ЧАЭС

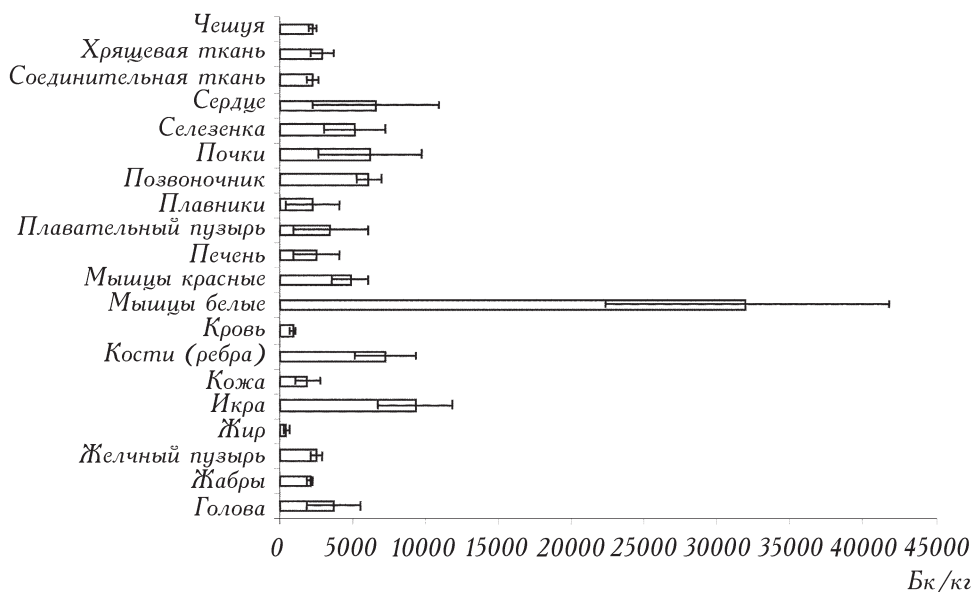
Даты	Удельная активность ^{137}Cs , кБк/кг			
	мышцы	чешуя	плавники	жабры
15.08.86	89,1 ± 24,3	69,6 ± 7,9	×	×
22.11.86	101,4 ± 11,3	51,5 ± 9,8	58,7 ± 8,9	×
10.02.87	35,1 ± 4,7	26,7 ± 5,7	×	×
22.04.87	48,9 ± 4,8	10,5 ± 1,8	14,2 ± 1,6	×
01.07.87	52,8 ± 8,3	21,6 ± 7,3	9,2 ± 0,8	28,4 ± 5,6
20.08.87	62,2 ± 12,3	16,6 ± 2,2	15,6 ± 2,2	11,7 ± 2,7
18.03.88	45,1 ± 5,3	12,7 ± 2,3	7,3 ± 2,1	7,9 ± 1,1
17.09.88	22,0 ± 2,2	7,3 ± 0,9	×	5,3 ± 0,6
22.03.90	12,9 ± 0,9	2,2 ± 0,3	1,4 ± 0,4	4,6 ± 1,3

Примечание. Здесь и в табл. 2: × — не определяли.

2. Удельная активность ^{137}Cs в органах белого толстолобика водоема-охладителя ЧАЭС

Органы или ткани	Удельная активность ^{137}Cs , кБк/кг		
	04.02.1987 г.	07.03.1990 г.	02.07.2010 г.
Жабры	83,5 ± 9,7	3,1 ± 0,3	0,2 ± 0,0
Икра	48,9 ± 5,7	2,9 ± 0,2	0,7 ± 0,0
Мышцы	68,3 ± 8,0	14,4 ± 1,3	1,6 ± 0,1
Печень	63,7 ± 8,1	2,4 ± 2,1	0,5 ± 0,0
Плавательный пузырь	33,6 ± 3,5	1,2 ± 0,2	0,2 ± 0,0
Плавники	47,4 ± 4,0	1,3 ± 0,1	0,3 ± 0,0
Позвоночник	102,1 ± 12,7	6,8 ± 0,7	0,5 ± 0,0
Почки	31,2 ± 3,2	5,1 ± 0,5	×
Сердце	28,8 ± 3,2	11,3 ± 1,1	×
Чешуя	27,7 ± 3,1	2,1 ± 0,2	0,1 ± 0,0

У белого толстолобика в феврале 1987 г. удельная активность ^{137}Cs в органах и тканях различалась не более чем в 3,5 раза (см. табл. 2); регистрировали необычно высокую активность в позвоночнике и низкую — в сердце. В дальнейшем дифференциация распределения ^{137}Cs по органам и тканям толстолобика и карпа водоема-охладителя увеличилась и с 1990 г. существенно не менялась. Аналогичные данные были получены авторами при исследовании других видов рыб низких трофических уровней (карась серебряный, лещ, густера, сом канальный).



Удельная активность ^{137}Cs в органах и тканях толстолобика белого водоема-охладителя ЧАЭС, ($n = 3$); 07.03.1990 г.

После относительной стабилизации радиационной обстановки и распределения радионуклидов по основным компонентам экосистемы водоема проявилась довольно широкая вариабельность удельной радиоактивности ^{137}Cs в органах и тканях изученных видов рыб. Например, мышцы характеризовались всегда высокой удельной активностью ^{137}Cs , чешуя, плавники и, особенно, жир — низкой. Остальные органы и ткани занимали промежуточное положение (рисунок). Необходимо отметить, что довольно высокие значения удельной активности ^{137}Cs иногда регистрировались в плавательном пузыре, сердце, печени, почках, красных мышцах, позвоночнике.

У рыб низких трофических уровней (каarp, белый толстолобик) относительно стабильное распределение ^{137}Cs по большинству органов и тканей наступило через 1—2 года после аварии. У представителей более высоких трофических уровней (сом, судак) этот процесс шел медленнее (1—4 года, иногда 5 лет), что, вероятно, объясняется различиями в скорости накопления и выведения ^{137}Cs у рыб разных экологических групп.

С 1990—1991 по 2010 г. у всех видов рыб водоема-охладителя ЧАЭС регистрировалась относительная стабильность распределения ^{137}Cs по органам и тканям.

Сходная динамика распределения ^{137}Cs по организму наблюдается у сома и судака (см. табл. 3, 4), однако его скорость у рыб более высоких трофических уровней ниже [4], а дифференциация ^{137}Cs , особенно в первые годы после аварии, менее выражена.

3. Удельная активность ^{137}Cs в органах сома водоема-охладителя ЧАЭС

Органы или ткани	Удельная активность ^{137}Cs , кБк/кг		
	24.04.1987 г.	22.03.1990 г.	01.07.2010 г.
Жабры	35,2 ± 3,2	5,7 ± 0,5	1,3 ± 0,1
Икра	138,4 ± 18,9	18,8 ± 2,1	2,7 ± 0,4
Мышцы	128,8 ± 9,1	32,1 ± 3,2	4,3 ± 0,2
Печень	101,5 ± 7,2	34,0 ± 2,5	1,5 ± 0,1
Плавательный пузырь	38,4 ± 2,7	6,0 ± 0,5	1,3 ± 0,1
Плавники	24,4 ± 1,7	3,5 ± 0,2	0,8 ± 0,1
Позвоночник	47,2 ± 3,3	19,1 ± 1,5	1,9 ± 0,2
Почки	75,5 ± 5,3	8,6 ± 0,6	2,5 ± 0,2
Сердце	71,4 ± 5,1	24,4 ± 1,8	2,7 ± 0,2

4. Удельная активность ^{137}Cs в органах судака водоема-охладителя ЧАЭС

Органы или ткани	Удельная активность ^{137}Cs , кБк/кг		
	10.02.1987 г.	24.02.1990 г.	11.12.2009 г.
Жабры	220,8 ± 15,6	49,897 ± 4,0	2,478 ± 0,2
Икра	286,2 ± 20,2	73,532 ± 8,9	4,055 ± 0,2
Мышцы	199,3 ± 14,1	169,054 ± 12,0	7,091 ± 0,4
Печень	412,1 ± 29,8	115,112 ± 8,1	5,093 ± 0,4
Плавники	277,4 ± 19,7	20,324 ± 1,4	1,576 ± 0,1
Позвоночник	359,8 ± 25,5	31,042 ± 2,9	2,563 ± 0,2
Чешуя	303,2 ± 21,5	10,498 ± 1,2	1,637 ± 0,1

Заключение

После поступления в водоемы ^{137}Cs начинает накапливаться рыбами. В первые недели (до нескольких месяцев) удельная активность рыб в основном обусловлена поверхностным загрязнением этим радионуклидом и его накоплением органами и тканями, непосредственно контактирующими с водой (слизь, чешуя, жабры, плавники, желудочно-кишечный тракт). В дальнейшем ^{137}Cs начинает перераспределяться по организму и накапливаться органами и тканями с различной интенсивностью, при этом роль трофического пути поступления в формировании удельной активности ^{137}Cs возрастает.

Через 1—2 года после аварии на ЧАЭС у рыб низких трофических уровней и через 1—4 года у рыб высоких трофических уровней неравномерность распределения ^{137}Cs по организму достигает максимума. Одни органы и ткани, например мышцы, характеризуются всегда высокой удельной активностью ^{137}Cs , другие (чешуя, плавники и, особенно, жир) — всегда низкой. Остальные органы и

ткани занимают промежуточное положение, хотя иногда в них регистрируется довольно высокая концентрация ^{137}Cs .

В водоеме-охладителе ЧАЭС относительная стабилизация распределения ^{137}Cs по органам и тканям у планктофагов, бентофагов и полифагов наступила в 1987—1988 гг., а у облигатных ихтиофагов — в 1987—1990 гг. С этого периода и по 2010 г. распределение ^{137}Cs относительно стабильно.

Сходные результаты были получены нами при изучении удельной активности ^{137}Cs у рыб других крупных водоемов зоны влияния ЧАЭС.

Изменения в сложившемся распределении ^{137}Cs по органам и тканям рыб могут свидетельствовать о дополнительном поступлении этого радионуклида в исследуемый водоем.

**

Вивчено багаторічну динаміку розподілу ^{137}Cs по органах і тканинах риб водойми-охолоджувача ЧАЕС. Через 1—4 роки після аварії відмінності в розподілі ^{137}Cs по органах і тканинах риб досягли максимуму і залишаються на відносно стабільному рівні. З того часу по 2010 р. найбільша питома активність ^{137}Cs характерна для м'язів, а найменша — для жиру. Інші органи і тканини займають проміжне положення.

**

The long-term dynamics of ^{137}Cs distribution in organs and tissues of fishes of cooling pond of ChNPP after accident was studied. In 1—4 years after the accident differentiation of ^{137}Cs distribution in organs and tissues has reached maximum and remained stable. Since then until 2010 maximal specific activity of ^{137}Cs is character for muscles, and the least — for fat. Other organs and tissues occupy intermediate position.

**

1. *Вредные химические вещества. Неорганические соединения I—V групп: Справ. изд. / Под ред. В. А. Филова и др. — Л.: Химия, 1988. — 512 с.*
2. *Закутинский Д.И., Парфенов Ю.Д., Селиванова Л.Н. Справочник по токсикологии радиоактивных изотопов. — М.: Медгиз, 1962. — 152 с.*
3. *Зарубин О.Л. Багаторічна динаміка вмісту цезія-137 у м'язовій тканині риб Канівського водосховища та водойми-охолоджувача ЧАЕС // Тези доп. наук.-практ. конф. «Наука. Чорнобиль-98». — К., 1999. — С. 119—120.*
4. *Зарубин О.Л. Динамика распределения ^{137}Cs в наружных и внутренних органах и тканях рыб различных экологических групп водоема-охладителя Чернобыльской АЭС // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних досліджень. — 2005. — № 1 (14). — С. 119—127.*
5. *Зарубин О.Л. Количественные характеристики путей поступления ^{137}Cs в организм карпа и канального сома в водоеме-охладителе Чернобыльской АЭС // Гидробиол. журн. — 2006. — Т. 42, № 3. — С. 74—80.*
6. *Зарубин О.Л., Волкова Е.Н., Беляев В.В., Залисский А.А. Скорость снижения содержания ^{137}Cs в рыбах Каневского водохранилища и водоема-ох-*

- ладителя ЧАЭС (1987 — 2004 гг.) // Зб. наук. праць Інституту ядерних досліджень. — 2005. — № 2 (15). — С. 137—141.
7. Зарубин О.Л., Волкова Е. Н. Беяев В.В., Залисский А.А. Динамика содержания радионуклидов в рыбах крупных водоемов Киевской области (1986—2005 гг.). // Contributed papers of Intern. Conf. «Twenty Years after Chernobyl Accident. Future Outlook», April 24—26, 2006, Kyiv. — Kyiv, 2006. — P. 308—311.
 8. Ильенко А.И. Накопление стронция-90 и цезия-137 пресноводными рыбами // Вопр. ихтиологии. — 1970. — Т. 10, вып. 6 (65). — С. 1127—1128.
 9. Ильин Д.И., Москалев Ю.И. Распределение, биологическое действие и миграция радиоактивных изотопов. — М.: Медгиз, 1961. — 322 с.
 10. Марей А.Н., Бархударов Р.М., Книжников В.А. и др. Глобальные выпадения продуктов ядерных взрывов как фактор облучения человека. — М.: Атомиздат, 1980. — 188 с.
 11. Флейшман Д.Г. Накопление искусственных радионуклидов пресноводными рыбами // Современные проблемы радиобиологии. Т. 2: Радиозэкология. — М.: Атомиздат, 1971. — С. 395.

¹ Інститут ядерних досліджень
НАН України, Київ

² Государственное специализированное
научно-производственное предприятие
«Экоцентр», Чернобыль

Поступила 04.10.11