

О. Л. Зарубин¹, В. А. Костюк¹, И. А. Малюк¹, А. А. Залисский²

¹ *Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев*

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

НАКОПЛЕНИЕ ¹³⁷Cs СУДАКОМ (*LUCIOPERCA LUCIOPERCA L.*)

Подведены итоги многолетних исследований удельной активности ¹³⁷Cs у судака (*Lucioperca lucioperca L.*) Каневского водохранилища и водоема-охладителя ЧАЭС. Распределение ¹³⁷Cs по органам и тканям судака происходило медленнее, чем у большинства других видов рыб. Установлено, что температура воды не влияет на удельную активность ¹³⁷Cs у судака. Зарегистрировано повышение удельной активности ¹³⁷Cs у судака с увеличением массы особи. Динамика снижения удельной активности ¹³⁷Cs и динамика коэффициентов накопления ¹³⁷Cs судаком в разных водоемах может существенно различаться.

Ключевые слова: водоем-охладитель ЧАЭС, Каневское водохранилище, судак, удельная активность, содержание, ¹³⁷Cs.

Введение

Судак - самый крупный представитель семейства окуневых, обитающих в нашей стране. Максимальная масса судака около 20 кг. Природный ареал его распространения охватывает всю Украину, почти всю Европейскую часть России. Распространен судак и во всех странах Восточной и Центральной Европы. Судак акклиматизирован в озерах и водохранилищах Сибири, Дальнего Востока, Средней Азии и Казахстана. В Украине судак по праву считается одним из самых ценных свободно-обитающих пресноводных видов рыб и является объектом промышленного лова, любительского и спортивного рыболовства.

При изучении удельной активности ¹³⁷Cs у рыб водоема-охладителя до аварии на ЧАЭС обнаружили, что уровни удельной активности этого радионуклида у судака выше, чем у других исследованных видов рыб.

Народно-хозяйственная ценность и повышенная, по сравнению с большинством других видов рыб, удельная активность ¹³⁷Cs у судака определили научный и практический интерес авторов к работе над данной статьей.

Материал и методика исследований

В 1980 - 1985 гг. отлов судака проводился на акватории водоема-охладителя ЧАЭС. После аварии на ЧАЭС отлов судака проводился на акватории водоема-охладителя ЧАЭС, Каневского водохранилища р. Днепр и р. Припять (в пределах 30-километровой зоны ЧАЭС) в различные годы в период 1986 - 2011 гг. любительскими снастями (спиннинг, удочка) и ставными сетями с размером ячеи от 30 до 80 мм. Для исследований было отобрано более 500 особей рыб.

Подготовка проб к измерениям заключалась в отделении органов и тканей друг от друга с последующей гомогенизацией отобранного материала.

Измерения содержания ¹³⁷Cs проводилось в Центре экологических проблем атомной энергетики Украины Института ядерных исследований НАН Украины стандартными методами гамма-спектрометрии. Часть проб измерена аналогичными методами в Институте гидробиологии НАН Украины и в Государственном специализированном научно-производственном предприятии «Экоцентр» (Чернобыль).

В зависимости от активности пробы время измерений составляло от 600 до 14400 с. Относительная погрешность измерения удельной активности ¹³⁷Cs в образцах не превышала 20 %, обыкновенно составляя 5 - 10 %. Удельная радиоактивность рассчитывалась на сырую, естественную массу. Статистическая обработка результатов измерений проводилась с использованием пакета прикладных программ Excel 2003 (лицензия № 42326439).

Коэффициенты накопления (Кн) ¹³⁷Cs судаком рассчитывались путем деления усредненного за год удельного содержания ¹³⁷Cs в мышцах судака данного водоема на усредненное удельное содержание ¹³⁷Cs в воде этого же водоема в том же году. При расчете Кн ¹³⁷Cs использованы данные содержания растворенного ¹³⁷Cs в воде водоема-охладителя ЧАЭС, полученные специалистами «Экоцентра».

Для оценки зависимости между удельной активностью ¹³⁷Cs и размером рыб использовали методы регрессивного анализа. Определялись параметры: *a* – наклон линии регрессии с достоверным интервалом $\pm 2 STD$; *STD* – среднеквадратичное отклонение; *b* – точка пересечения

линии регрессии с ординатой; r^2 – квадрат коэффициента детерминации. Данный коэффициент является мерой части вариации удельной активности ^{137}Cs в отдельных особях, определяемой вариациями их массы. Размерный эффект считался положительным (+), если величина $a - 2\text{ STD}$ имела положительное значение и $r^2 \geq 0,25$; отрицательным (-), если величина $a + 2\text{ STD}$ имела отрицательное значение и $r^2 \geq 0,25$; нейтральным, если точка с нулевой координатой

принадлежала интервалу ($a - 2\text{ STD}$; $a + 2\text{ STD}$) или $r^2 < 0,25$.

Результаты исследований и их обсуждение

Еще до аварии на ЧАЭС у судака водоема-охладителя регистрировали довольно высокие, по сравнению с другими видами рыб, уровни удельной активности ^{137}Cs (табл. 1).

Таблица. 1. Удельная активность ^{137}Cs (Бк/кг) и коэффициенты накопления ^{137}Cs у рыб водоема-охладителя до аварии на ЧАЭС (Бк/кг)

Вид	1980 г.		1983 г.		1984 г.	
	^{137}Cs	$K_n^{137}\text{Cs}$	^{137}Cs	$K_n^{137}\text{Cs}$	^{137}Cs	$K_n^{137}\text{Cs}$
Лещ	$5,7 \pm 1,7$	358	$15,2 \pm 3,7$	1169	$16,1 \pm 4,3$	947
Синец	$4,6 \pm 1,4$	288	$12,2 \pm 3,4$	938	$14,4 \pm 2,7$	1108
Судак	$28,7 \pm 4,5$	1799	$36,8 \pm 8,0$	2832	$62,2 \pm 9,3$	3568
Щука	$15,9 \pm 3,1$	1000	$26,3 \pm 4,3$	2023	$32,9 \pm 4,5$	1932

После аварии на ЧАЭС, наряду с другими рыбами-ихтиофагами, судак остается одним из самых загрязненных ^{137}Cs рыб в большинстве исследованных водоемов (рис. 1 и 2).

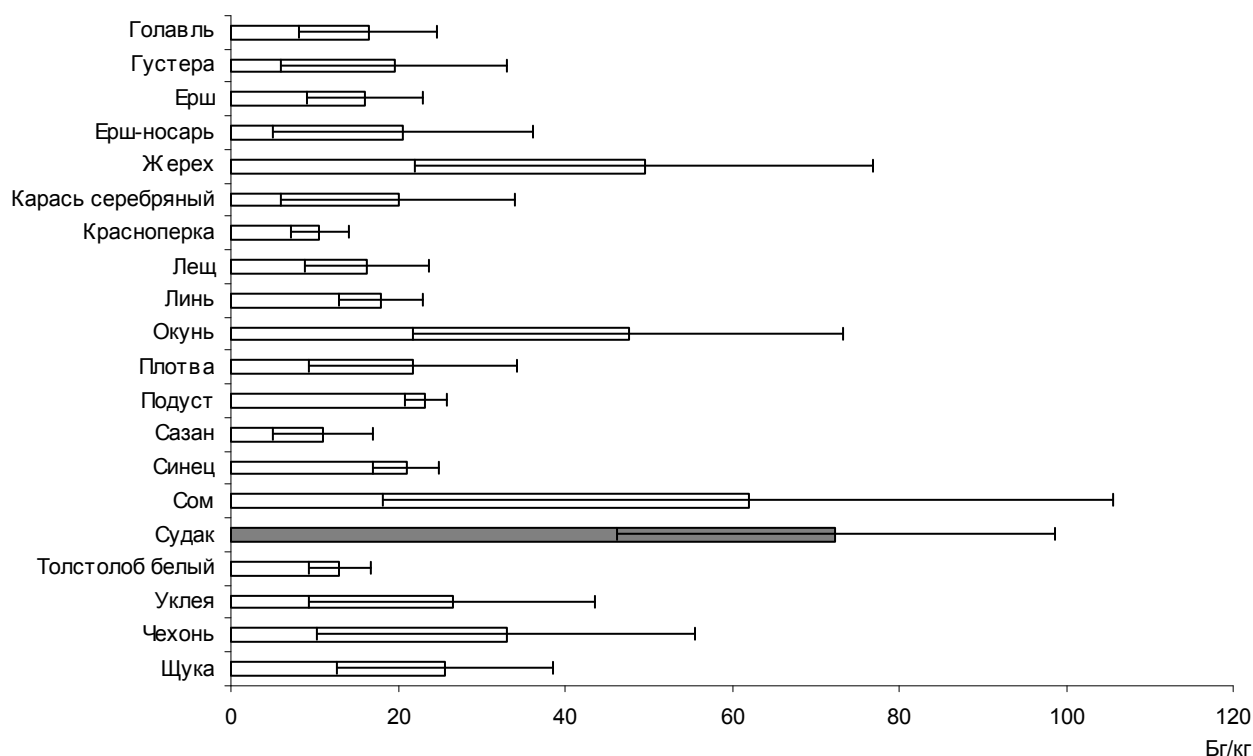


Рис. 1. Удельная активность ^{137}Cs в мышцах рыб Каневского водохранилища в 1999 г. (Бк/кг).

Максимальные уровни удельной активности ^{137}Cs у судака водоема-охладителя ЧАЭС зарегистрированы в августе 1986 г., затем происходит

постепенное снижение удельной активности этого радионуклида (табл. 2).

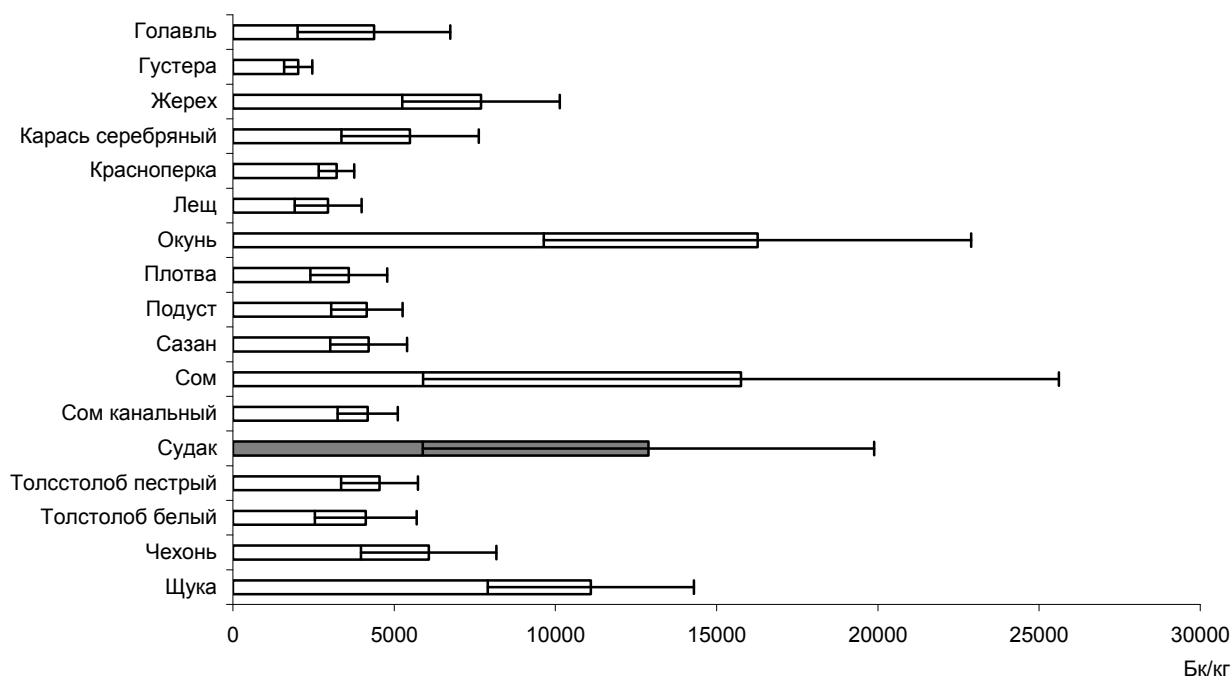

 Рис. 2. Удельная активность ^{137}Cs в мышцах рыб водоема-охладителя ЧАЭС в 1999 г. (Бк/кг).

 Таблица 2. Удельное содержание ^{137}Cs (Бк/кг) и Кн ^{137}Cs у судака водоема-охладителя ЧАЭС и Каневского водохранилища

Год отбора	Водоем-охладитель ЧАЭС		Каневское водохранилище	
	^{137}Cs , Бк/кг	Кн ^{137}Cs	^{137}Cs , Бк/кг	Кн ^{137}Cs
1986	440296 ± 31145	×	188 ± 70	×
1987	164046 ± 117668	2344	225 ± 69	982
1988	127243 ± 79750	3976	180 ± 50	914
1989	124198 ± 86410	5914	×	×
1990	81317 ± 45398	6776	175 ± 23	2448
1991	×	×	69 ± 9	1309
1993	28182 ± 8614	4473	×	×
1994	24975 ± 9489	4460	134 ± 75	4201
1998	11580 ± 5469	3735	81 ± 24	7043
1999	12886 ± 6995	4157	110 ± 24	8527
2000	×	×	54 ± 16	4538
2001	×	×	35 ± 23	3431
2002	9654 ± 2821	4597	21 ± 10	2059
2003	11818 ± 3920	5628	39 ± 17	4286
2004	10663 ± 2678	5924	28 ± 14	×
2005	×	×	22 ± 9	×
2006	10665 ± 2102	7618	16 ± 7	×
2007	×	×	16 ± 6	×
2008	×	×	16 ± 5	×
2009	8186 ± 6650	9519	14 ± 3	×
2010	5595 ± 3057	5595	×	×
2011	4905 ± 3823	4459	16 ± 7	×

× Не определяли.

У судака Каневского водохранилища в первые годы после аварии удельная активность ^{137}Cs значительно ниже и остается на одном уровне (см. табл. 2). Скорость снижения удельной активности ^{137}Cs у судака водоема-охладителя значительно выше от таковой у судака Каневского водохрани-

лища. Так, удельная активность в мышцах судака водоема-охладителя с 1986 г. по 2011 г. снизилась примерно в 100 раз, а у судака Каневского водохранилища – только в 10 раз (см. табл. 2). Отметим, что интенсивное снижение удельной активности ^{137}Cs характерно и для других видов рыб

водоема-охладителя, что, по-видимому, определяется различными гидрологическими характеристиками исследованных водоемов.

В первые несколько лет после аварии на ЧАЭС наблюдается рост Кн ¹³⁷Cs у судака, затем наступает относительная стабилизация Кн ¹³⁷Cs. Такой рост, высокие (до 10000) значения Кн и широкий разброс значений Кн характерен для изученных рыб-ихтиофагов.

Через некоторое время после аварии на ЧАЭС обнаружили, что у некоторых видов рыб удельное содержание ¹³⁷Cs может меняться с увеличением массы особи (с увеличением возраста). Это явление было названо «возрастным» или «размерным» эффектом в накоплении ¹³⁷Cs рыбами [1 - 3]. В результате наших следований обнаружен положительный размерный эффект в накоплении ¹³⁷Cs у судака (табл. 3).

Таблица 3. Зависимость удельного содержания ¹³⁷Cs у судака от массы особи

Водоем, район отбора	Год отбора	n, шт.	Диапазон масс, г	Параметры регрессии			Размерный эффект
				a ± 2STD, (Бк/кг)/г	b, Бк/кг	r ²	
Водоем-охладитель ЧАЭС	1988	19	600 - 5000	2,4323 ± 38,8240	124685	0,0009	0
	1989	7	390 - 2825	15,5426 ± 63,9878	121063	0,0451	0
	1990	14	160 - 4000	23,3915 ± 18,7644	52311	0,3412	+
	1998	22	34 - 1165	14,2769 ± 4,8510	5314	0,6340	+
	1999	10	290 - 1592	9,4527 ± 7,5462	5853	0,4396	+
	2003	36	136 - 2347	5,7053 ± 1,8462	5871	0,5291	+
	2004	11	44 - 4556	-0,1921 ± 1,3784	10814	0,0086	0
р. Припять, Кривая гора	1998	10	77 - 880	0,5035 ± 0,2292	156	0,7096	+
р. Припять, с. Оташев	1999	7	14 - 3348	0,0215 ± 0,0778	170	0,0575	0
Каневское водохранилище, буй № 52	2001	5	66 - 2600	0,0112 ± 0,0222	22	0,2525	0
	2002	7	50 - 236	-0,0467 ± 0,1144	28	0,1176	0
	2003	5	38 - 2249	0,0032 ± 0,0224	36	0,0258	0
	2004	5	197 - 639	0,0223 ± 0,0792	21	0,0958	0
	2005	5	380 - 830	0,0393 ± 0,0366	14	0,6054	+
	2006	13	25 - 1240	0,0141 ± 0,0094	12	0,4461	+
	2007	12	32 - 1600	0,0096 ± 0,0060	14	0,4967	+
	2008	21	30 - 4000	0,0040 ± 0,0022	15	0,4132	+
	2009	6	50 - 356	0,0039 ± 0,0196	13	0,0387	0

Во всех водоемах почти всегда отмечается тенденция к увеличению удельной активности ¹³⁷Cs у судака с увеличением массы особи (с увеличением возраста). В половине случаев достоверно зарегистрирован положительный размерный эффект. Отрицательный размерный эффект у судака достоверно не регистрировался ни разу (см. табл. 3).

После изучения начальных характеристик загрязнения рыб «аварийными» радионуклидами было установлено, что их различные органы и ткани накапливают ¹³⁷Cs 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 (рис. 3).

Результаты анализа полученных данных определяют вывод об относительной стабилизации распределения ¹³⁷Cs по органам и тканям судака (как и у других изученных видов рыб) к 1990 г. (см. рис. 3). Одни органы и ткани, например

мышцы, характеризуются всегда высокой удельной активностью ¹³⁷Cs, другие (чешуя, плавники и, особенно, жир) – всегда низкой. Остальные органы и ткани занимают промежуточное положение, хотя иногда в них регистрируется довольно высокая концентрация ¹³⁷Cs. Характерное распределение удельной активности ¹³⁷Cs по органам и тканям у отдельных особей судака представлено в табл. 4.

Существенными отличиями характеристик динамики распределения ¹³⁷Cs в организме судака по сравнению с рыбами низких трофических уровней являются относительно узкий диапазон минимальных и максимальных значений и в несколько раз больший уровень содержания ¹³⁷Cs во всех исследованных органах и тканях.

По типу питания судак по классификации [8] - эвриихтиофаг, питающийся, в основном, донными и придонными рыбами. В исследованных водоемах по способу добывания пищи судак – хищник-засадчик, одиночный хищник скрадывающего и/или выслеживающего типа. Стаей судаки не охотятся. Миграция судака по акватории исследо-

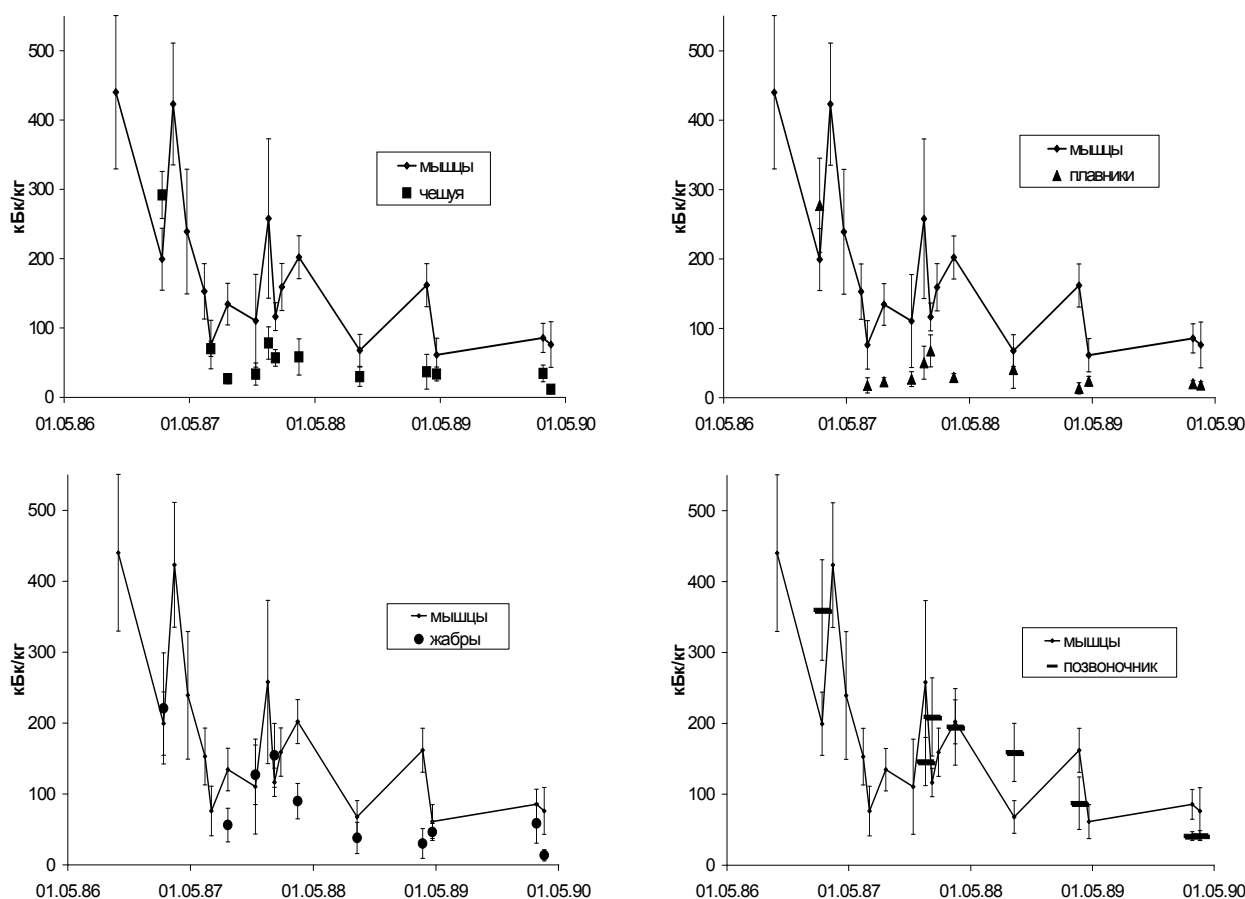


Рис. 3. Динамика содержания ^{137}Cs в мышцах, чешуе, плавниках, жабрах и позвоночнике судака водоема-охладителя ЧАЭС в 1986 - 1990 гг. (кБк/кг).

Таблица 4. Удельная активность ^{137}Cs в органах и тканях судака водоема-охладителя ЧАЭС (кБк/кг)

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

ванных водоемов специально нами не изучалась, однако по косвенным данным можно сделать вывод об относительной привязанности этого вида к определенным местам обитания. Так, активность ^{137}Cs у судака, выловленного на разных участках р. Припять в период 1998 - 1999 гг., отличалась между собой. У судака из северного, более загрязненного радионуклидами участка, расположенного в районе пункта Кривая гора, усредненная активность ^{137}Cs составляла 305 ± 128 Бк/кг, а из южного, более «чистого» участка в районе с. Оташев - 164 ± 113 Бк/кг.

На акватории водоема-охладителя ЧАЭС судак, выловленный на различных участках, несколько различался по окраске, форме тела, размерам и соотношению полов, что может служить подтверждением относительной привязанности групп (возможно – стад и популяций) судака к определенному месту обитания.

Кроме того, большая разница температуры воды на различных участках водоема-охладителя является искусственным барьером для потенциально мигрирующих рыб. Ведь для прохождения таких барьеров, как туда, так и обратно, требуется

значительное время для температурной акклимации и перестройки всех обменных процессов.

Несмотря на то, что судак *теоретически* может мигрировать по всей акватории водоема-охладителя, из вышеизложенного мы считаем массовые регулярные миграции судака по акватории водоема-охладителя маловероятными. Водоем-охладитель имеет сложную форму, а кратчайшее расстояние между водосбросным и водозаборным каналами составляет не менее 24 км. Кроме того, судак – не лосось, который может преодолевать пороги, а устье сбросного канала практически пе-

рекрыто полузатапливаемой дамбой.

До прекращения эксплуатации ЧАЭС в декабре 2000 г. температура воды водосбросного канала и «теплой» части водоема-охладителя была всегда выше (на 5 - 10 °С, в зависимости от режима работы ЧАЭС), чем температура воды водозаборного канала и «холодной» части водоема, что могло способствовать увеличению накопления ¹³⁷Cs рыбами [5, 6]. Но в отличие от голавля [7] мы не обнаружили достоверного влияния температуры воды на накопление ¹³⁷Cs судаком (рис. 4).

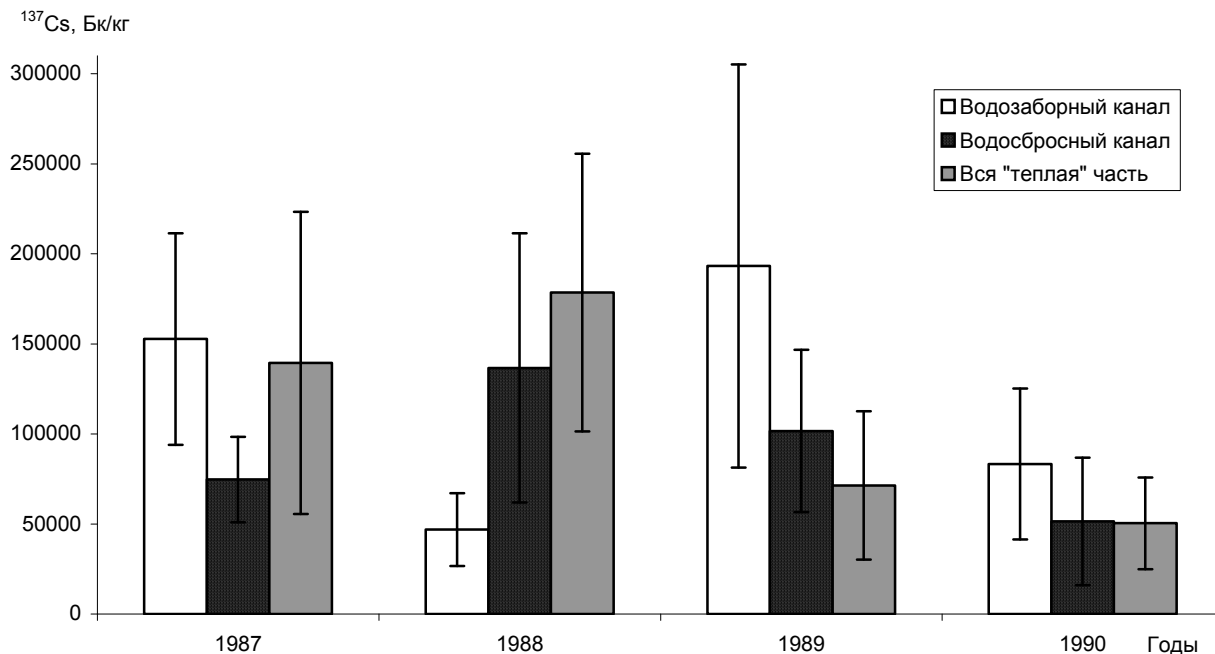


Рис. 4. Влияние температуры воды на удельную активность ¹³⁷Cs у судака водоема-охладителя ЧАЭС (Бк/кг).

Для минимизирования потенциального воздействия миграции (из «теплой» части водоема в «холодную» и наоборот) на удельную активность

провели отлов рыб в начале водосбросного канала и конце водозаборного канала, причем в относительно небольшой отрезок времени (табл. 5).

Таблица 5. Влияние температуры воды на удельную активность ¹³⁷Cs у судака водозаборного и водосбросного каналов водоема-охладителя ЧАЭС весной 1990 г. (Бк/кг)

Дата отбора	Пункт отбора	Масса особи, г	¹³⁷ Cs	
			Активность	Стандартная ошибка
09.03.1990	Водосбросный канал	600 - 800	69516	2730
24.02.1990	Водозаборный канал	500 - 900	81966	36451

Учитывая вертикальную стратификацию температуры воды водоема-охладителя и придонный образ жизни судака, можно было бы предположить, что влияние температуры воды в «теплой» и «холодной» частях водоема на уровни накопления ¹³⁷Cs может нивелироваться обитанием судака в нижних прохладных слоях воды. Но турбулентность, вызванная высокой скоростью течения в водосбросном и водозаборном каналах, обеспечивает перемешивание воды. При этом

уровни удельной активности ¹³⁷Cs у судака в этих каналах достоверно не различались (см. табл. 5).

Как и по водоему в целом, так и на этих точках нет достоверных различий в удельной активности ¹³⁷Cs у судака. Более того, за исключением 1988 г., проявляется тенденция к повышению удельной активности ¹³⁷Cs у судака водосбросного канала и «холодной» части водоема по сравнению с судаком «теплой» части (см. рис. 4 и табл. 5).

Выводы

В период исследований в мышцах судака регистрировали повышенную, по сравнению с большинством других видов рыб, удельную активность ^{137}Cs .

Распределение ^{137}Cs по органам и тканям судака происходило медленнее, чем у большинства других видов рыб.

Не установлено достоверного влияния температуры воды на удельную активность ^{137}Cs у судака.

Зарегистрировано повышение удельной активности ^{137}Cs у судака с увеличением массы особи.

Динамика снижения удельной активности ^{137}Cs и динамика Кн ^{137}Cs судаком в разных во-

доемах может существенно различаться. Кн ^{137}Cs судаком относительно нестабильны, что характерно для рыб-ихтиофагов.

В 2011 г. удельная активность ^{137}Cs у судака Каневского водохранилища значительно ниже норм ДР-2006, действующих в настоящее время в Украине, которые определяют допустимое содержание ^{137}Cs в рыбе в 150 Бк/кг. Удельная активность ^{137}Cs у судака водоема-охладителя ЧАЭС до сих пор в 20 - 50 раз выше норм.

Адаптированные полученные материалы могут быть использованы для прогнозных оценок и в качестве научно-практических рекомендаций для проведения промышленного и любительского лова судака.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябов И. Н., Белова Н. В. Полевые исследования сезонных и возрастных изменений в рационе рыб // Моделирование и изучение механизмов переноса радиоактивных веществ из наземных экосистем в водные объекты зоны влияния Чернобыльской аварии: Заключительный отчет КЕС-СНГ совместной программы по изучению последствий Чернобыльской катастрофы (ЕСР-3). - Чернобыль, 1996. - С. 101-124.
2. Хаддеринг Р., Насвит О., Рябов И. и др. Полевые исследования размерного эффекта в накоплении Cs-137 у рыб // Там же. - С. 85 - 100.
3. Koulikov A. O., Rybov I. N. Specific Cesium Activity in Freshwater Fish and Size Effect // Sci. Total Environ. - 1992. - Vol. 112. - P. 125 - 142.
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 досл. - 2005. - № 1 (14). - С. 119 - 127.
5. Катков А.Е., Гусев Д.И., Дзекунов А.В. и др. Влияние температуры воды на накопление радионуклидов рыбой // Проблемы радиоэкологии водоемов-охладителей атомных электростанций: Тр. Ин-та экологии растений и животных Уральского НЦ АН СССР. - Свердловск, 1978. - С. 70 - 75.
6. Куликов Н.В., Ожегов Л.Н., Чеботина М.Я., Боченин В.Ф. Накопление радионуклидов гидробионтами при разной температуре воды // Там же. - С. 65 - 69.
7. Зарубин О. Л. Накопление ^{137}Cs голавлем (*Leuciscus cephalus L.*) // Гидробиол. журн. - 2010. - Т. 46, № 2. - С. 95 - 107.
8. Никольский Г. В. Экология рыб. - М.: Высш. шк., 1974. - 357 с.

О. Л. Зарубін, В. А. Костюк, І. А. Малюк, О. О. Заліський

НАКОПИЧЕННЯ ^{137}Cs СУДАКОМ (*LUCIOPERCA LUCIOPERCA L.*)

Підведено підсумки багаторічних досліджень питомої активності ^{137}Cs у судака (*Lucioperca lucioperca L.*) Канівського водосховища та водойми-охолоджувача ЧАЕС. Розподіл ^{137}Cs по органах і тканинах судака відбувався повільніше, ніж у більшості інших видів рыб. Установлено, що температура води не впливає на питому активність ^{137}Cs у судака. Зареєстровано підвищення питомої активності ^{137}Cs у судака зі збільшенням маси особини. Динаміка зниження питомої активності ^{137}Cs і динаміка коефіцієнтів накопичення ^{137}Cs судаком у різних водоймах може істотно розрізнятися.

Ключові слова: водойма-охолоджувач ЧАЕС, Канівське водосховище, судак, питома активність, вміст, ^{137}Cs .

O. L. Zarubin, V. A. Kostyuk, I. A. Malyuk, A. A. Zalissky

ACCUMULATION OF ^{137}Cs IN A PIKE PERCH (*LUCIOPERCA LUCIOPERCA L.*)

Long-term researches of specific activity of ^{137}Cs at a pike perch (*Lucioperca lucioperca L.*) from Kanevskoe reservoir and cooling-pond of ChNPP are summed up. Distribution of ^{137}Cs on organs and tissues of a pike perch occurred more slowly, than at the majority of other species of fishes. It is established that water temperature does not influence on specific activity of ^{137}Cs at a pike perch. Increase of specific activity of ^{137}Cs at a pike perch with increase in weight of the individual is registered. Dynamics of decrease of specific activity of ^{137}Cs and dynamics of factors of accumulation of ^{137}Cs by a pike perch in different reservoirs can significantly differ.

Keywords: cooling-pond of ChNPP, Kanevskoe reservoir, a pike perch, specific activity, the content, ^{137}Cs .

Надійшла 12.03.2012

Received 12.03.2012