

А. Е. Каглян, Д. И. Гудков, В. Г. Кленус, З. О. Широкая, Н. А. Поморцева,
Л. П. Юрчук, А. Б. Назаров*

Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

** Государственное специализированное предприятие
«Чернобыльский спецкомбинат» МЧС Украины, Чернобыль*

РАДИОНУКЛИДЫ В АБОРИГЕННЫХ ВИДАХ РЫБ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ

Приведены результаты оценки удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs у представителей аборигенной ихтиофауны водоемов чернобыльской зоны отчуждения в период 2006 - 2011 гг. Анализируются данные видовой специфичности накопления, а также распределения радионуклидов по различным органам и тканям «мирных» и хищных видов рыб в водоемах с различным гидрологическим режимом и уровнем радионуклидного загрязнения. Оценена размерно-весовая и возрастная динамика накопления радионуклидов в рыбе. Отмечено, что в настоящее время ^{90}Sr является основным дозообразующим радионуклидом для рыб непроточных водоемов чернобыльской зоны отчуждения.

Ключевые слова: чернобыльская зона отчуждения, водные экосистемы, рыба, радионуклидное загрязнение, удельная активность, мощность поглощенной дозы, ^{90}Sr , ^{137}Cs .

Вступление

Поступающие в водоемы радионуклиды вовлекаются в биогеохимические циклы и, мигрируя по пищевой сети, наиболее эффективно накапливаются верхними трофическими уровнями, которые в большинстве пресноводных экосистем занимают рыбы – один из объектов питания человека. Особую актуальность эти процессы приобретают на территориях, подвергшихся интенсивному радионуклидному загрязнению в результате аварийных ситуаций на предприятиях ядерного топливного цикла.

Замкнутые водоемы чернобыльской зоны отчуждения (ЧЗО), несмотря на 26-летний период, минувший после аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), и по сей день характеризуются высокими уровнями радионуклидного загрязнения со сложной структурой распределения и динамикой физико-химических форм, влияющих на их миграцию и концентрирование водной биотой.

Радиоэкологические исследования ихтиофауны ЧЗО были начаты уже в первые месяцы после аварии на ЧАЭС и посвящены преимущественно особенностям накопления ^{137}Cs в рыбе водоема-охладителя (ВО) ЧАЭС и р. Припять, включая и новые для региона виды – объекты интродукции рыбоводства [1 - 6 и др.]. Изучение аборигенной ихтиофауны замкнутых и слабопроточных водоемов левобережной и правобережной поймы р. Припять, характеризующихся наибольшими уровнями радионуклидного загрязнения, в первые послеаварийные годы были фрагментарны и

начали выполняться, в основном, с конца 1990-х годов. Эти исследования охватили ряд природных водоемов ЧЗО и включали, помимо анализа удельной активности ^{137}Cs в тканях рыб, измерение ^{90}Sr , являющегося в настоящее время, вследствие повышенной миграционной способности и биологической доступности, основным дозообразующим радионуклидом для биоты замкнутых водных объектов ЧЗО [7 - 9].

Целью представленных исследований была оценка современного уровня удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs у представителей аборигенной ихтиофауны водоемов и водотоков ЧЗО, а также анализ видовых, размерно-весовых и возрастных особенностей накопления и распределения радионуклидов по различным органам и тканям рыб в водоемах с различным гидрологическим режимом и уровнем радионуклидного загрязнения.

Материалы и методы

Исследования выполняли в период 2006 - 2011 гг. в 12 водных объектах ЧЗО. На территории левобережной поймы р. Припять анализировали рыбу озер Глубокое, Далекое, Вершина, а также Красненской старицы на участках, находящихся на одамбированной территории Красненской поймы (участок № 1 – условно непроточный) и за ее пределами (участок № 2 – слабопроточный). На территории правобережной поймы исследовали оз. Азбучин, Яновский и Новопелешеский затоны (отделенные от р. Припять намывными дамбами), ВО (с повышенным водо-

обменом), Чернобыльский затон и затон «Щепочка» (открыто соединяющиеся с р. Припять), а также русловые участки рек Припять и Илья.

Оценивали удельную активность ^{90}Sr и ^{137}Cs для 15 видов рыб (возрастом от 1 года до 12 лет), относящихся к различным экологическим группам. Общее количество исследованных ихтиологических проб составило свыше 2500. Среди хищных рыб (облигатных и факультативных ихтиофагов) были проанализированы сом европейский (*Silurus glanis* L.), щука обыкновенная (*Esox lucius* L.), голавль обыкновенный (*Leuciscus cephalus* L.), жерех (*Aspius aspius* L.), судак обыкновенный (*Stizostedion lucioperca* L.), окунь обыкновенный (*Perca fluviatilis* L.) и чехонь (*Pelecus cultratus* L.). Среди «мирных» видов рыб исследовали представителей следующих групп: фитофаги – красноперка (*Scardinius erythrophthalmus* L.); зоопланктонофаги – синец (*Abramis ballerus* L.); бентофаги – карась серебряный (*Carassius auratus gibelio* Bloch), карась обыкновенный (*Carassius carassius* L.), густера обыкновенная (*Blicca bjoerkna* L.), линь (*Tinca tinca* L.), вьюн обыкновенный (*Misgurnus fossilis* L.), плотва (*Rutilus rutilus* L.) и лещ (*Abramis brama* L.). Классификация рыб по преимущественному типу питания приведена согласно [10].

Определение удельной активности ^{137}Cs в рыбе выполняли гамма-спектрометрическим и радиохимическим методами, ^{90}Sr – радиохимическим методом с измерением на установке УМФ-2000 дочернего ^{90}Y [11]. Удельная активность радионуклидов в рыбах приведена в беккерелях на килограмм сырой массы. Анализ биологических показателей рыб проводили общепринятыми в ихтиологических исследованиях методами [12]. В частности, определение возраста большинства видов рыб проводили на основании анализа годичных колец чешуи, за исключением сома европейского и линя, возраст которых определяли по спиалам лучей грудного плавника.

Оценку мощности поглощенной дозы от инкорпорированных ^{90}Sr и ^{137}Cs проводили по методике [13] с использованием дозовых пересчетных коэффициентов. Расчет дозы внутреннего облучения выполняли для двух основных групп – бентосных и пелагических видов рыб. Погрешность оценки дозовых нагрузок составила 25 - 30 %.

Результаты и их обсуждение

Основные радиоэкологические исследования ихтиофауны ЧЗО в первые годы после аварии на ЧАЭС выполняли в ВО и р. Припять, где уровни содержания ^{90}Sr в рыбе по сравнению с ^{137}Cs были невелики. За пределами ЧЗО относительно регу-

лярные измерения удельной активности радионуклидов в рыбе выполнялись и продолжают выполняться в р. Днепр, его притоках и водохранилищах. Но поскольку большая часть выпадений ^{90}Sr оказалась локализована на территории ЧЗО, то в рыбе водных объектов, находящихся за ее пределами, сравнительное содержание ^{90}Sr также было невысоким. Это в определенной степени способствовало формированию точки зрения о том, что ^{137}Cs является основным дозообразующим радионуклидом в рыбе водоемов, загрязненных радионуклидами чернобыльского происхождения, как в ЧЗО, так и за ее пределами.

Однако, как показали собственные исследования, проводимые с 1997 г., в замкнутых и слабопроточных водоемах ЧЗО наблюдается совершенно иная ситуация. Благодаря особенностям гидрологического и гидрохимического режимов, а также поступлению мобильных, биологически доступных форм ^{90}Sr с территории водосбора, этот радионуклид играет доминирующую роль как в радионуклидном загрязнении, так и формировании дозовых нагрузок для биоты водных экосистем ЧЗО с ограниченным водообменом [7 - 9, 14 - 17]. В настоящее время содержание ^{90}Sr у «мирных» видов превышает содержание ^{137}Cs в 2 - 8 раз, а в некоторых случаях – в 13 и более раз. Для хищных видов этот показатель составляет не более 2, поскольку ассимиляция ^{90}Sr , находящегося в объектах питания, в основном, в плохо перевариваемых внутренних и покровных костных тканях, происходит не так эффективно (табл. 1).

Основными факторами, определяющими количественное содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в рыбе ЧЗО, является уровень и состав радионуклидного загрязнения водных объектов и их водосборных территорий, а также гидрологический и гидрохимический режимы водоемов. На примере наиболее типичных представителей хищных и «мирных» видов рыб (окуня и красноперки) рассчитаны усредненные данные удельной активности радионуклидов в рыбе, позволяющие получить общее представление об уровнях содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в рыбе основных полигонных водных объектов ЧЗО (рис. 1).

Наибольшими величинами удельной активности как ^{90}Sr , так и ^{137}Cs в рыбе характеризуются замкнутые водоемы левобережной и правобережной пойм р. Припять, несколько меньшие значения отмечены для водоемов с более высоким уровнем проточности и минимальные – для речных экосистем ЧЗО. Практически для всех водоемов ЧЗО зарегистрировано более высокое содержание ^{90}Sr в рыбе по сравнению с ^{137}Cs .

Исключение составляют водные объекты с повышенным водообменом: ВО ЧАЭС, являющийся полуприродным водоемом с системой искусственной подкачки воды из р. Припять; Краснен-

ская старица (участок № 2), находящаяся за пределами одамбированной территории и имеющая постоянный сток в р. Припять, а также, непосредственно, р. Припять.

Таблица 1. Соотношение удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs в рыбе водоемов ЧЗО и верхнего участка Киевского водохранилища в 2006 - 2011 гг.

Водоем	Соотношение удельной активности $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$		
	Ихтиофаги	Бентофаги	Фитофаги
оз. Азбучин	0,4 - 0,5	1,0 - 7,6	×
оз. Вершина	×	9,0 - 13,3	×
оз. Глубокое	0,4 - 1,8	3,0 - 8,6	1,2 - 4,8
оз. Далекое	0,5 - 0,9	2,1 - 6,2	1,2 - 3,6
Красненская старица (участок № 1)	1,0 - 2,1	5,3 - 6,4	3,5 - 7,4
Красненская старица (участок № 2)	0,08 - 0,93	0,81 - 5,09	1,0 - 3,3
Яновский затон	0,20 - 0,63	1,73 - 3,89	2,80 - 6,6
Водоем-охладитель ЧАЭС	0,01 - 0,12	0,06 - 0,14	0,15 - 0,38
Киевское водохранилище	0,06 - 0,14	0,22 - 0,30	×

Примечание. × – не определяли.

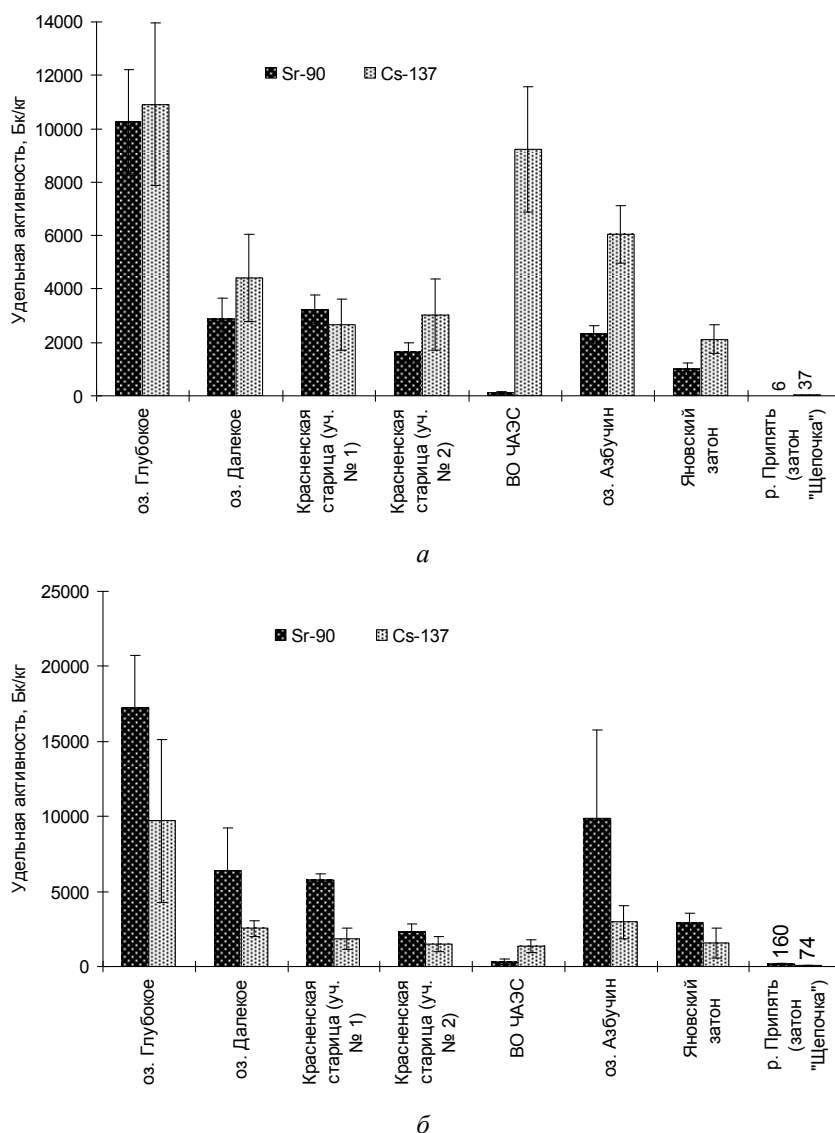


Рис. 1. Средние уровни удельной активности радионуклидов у представителей хищных (окунь обыкновенный) (а) и «мирных» (краснопёрка) (б) видов рыб в водных объектах ЧЗО в 2006 - 2011 гг.

ВО характеризуется высоким уровнем радионуклидного загрязнения, происшедшего в период активной стадии аварии на ЧАЭС в результате ветрового переноса радиоактивных веществ, их осаждения на водную поверхность, и поступления через сбросной канал с реакторными водами, а также специфическим гидрологическим и гидрохимическим режимами. В настоящее время эти особенности, несмотря на низкие показатели удельной активности радионуклидов в воде ВО вследствие повышенного водообмена, обуславливают, с одной стороны, концентрирование ^{137}Cs рыбой на уровне самых загрязненных водоемов ЧЗО, а с другой – сравнительно низкие показатели удельной активности ^{90}Sr [8, 9].

Отдельно следует также упомянуть оз. Вершина, находящееся в центре одамбированной территории Красненской поймы. Радиоэкологические исследования в озере не проводили с начала 1990-х годов в связи с его недоступностью наземным транспортом. Это замкнутое заболота-

чиваемое озеро является наиболее загрязненным радионуклидами среди исследованных водоемов ЧЗО, на водосборной территории которого, вероятно, вследствие процессов переувлажнения происходит интенсивный переход мобильных форм ^{90}Sr в растворенное состояние и их поступление в озеро с поверхностными и грунтовыми водами. В 2011 г. нам удалось отловить в оз. Вершина только один вид рыб – карася серебряного (55 экз.), удельная активность ^{137}Cs в котором зарегистрирована в пределах 7215 - 9020 (8013), а ^{90}Sr – 62320 - 81180 (69994) Бк/кг. Содержание ^{90}Sr у карася оз. Вершина в несколько раз превышает аналогичный показатель для рыб одного из наиболее загрязненных радионуклидами водоемов ЧЗО – оз. Глубокое.

Диапазоны удельной активности радионуклидов для всех видов рыб, отловленных в полигонных водных объектах ЧЗО в период 2006 - 2011 гг. представлены в табл. 2.

Таблица 2. Диапазоны удельной активности радионуклидов у представителей ихтиофауны водных объектов различного типа ЧЗО в 2006 - 2011 гг., Бк/кг

Тип водного объекта	Водный объект	^{137}Cs	^{90}Sr
Озеро	Вершина, Глубокое, Азбучин, Далекое	900 - 31800	1450 - 81200
Водоем с повышенным водообменном	ВО ЧАЭС	850 - 11000	100 - 750
Перекрытый затон, одамбированная старица	Яновский и Новошепелический затоны, Красненская старица (участок № 1)	350 - 4750	600 - 6500
Полупроточный водоем	Красненская старица (участок № 2)	460 - 11200	100 - 4500
Открытый затон	Чернобыльский затон, затон «Щепочка»	30 - 300	50 - 170
Река	Припять, Илья	30 - 300	4 - 16

Содержание ^{90}Sr в рыбе непроточных водоемов ЧЗО и ВО за период исследований находилось в пределах от 100 Бк/кг в ВО до 81200 Бк/кг в оз. Вершина, что превышает допустимые уровни (ДУ) в 3 - 2320 раз, а ^{137}Cs – от 350 Бк/кг в Новошепелическом затоне до 31800 Бк/кг в оз. Глубокое, что в 2 - 212 раз превышает ДУ, согласно принятым в Украине нормативам для рыбной продукции (35 Бк/кг для ^{90}Sr и 150 Бк/кг для ^{137}Cs) [18]. В открытых, но слабопроточных затонах р. Припять уровни загрязнения ^{90}Sr у рыб превышают ДУ в 1,5 - 5 раз, при незначительных превышениях ДУ для ^{137}Cs . Что касается русловых участков речных экосистем, то в связи с повышенной проточностью и способностью к самоочищению незначительные превышения ДУ были зарегистрированы в единичных случаях только для ^{137}Cs и, в основном, у хищных видов рыб.

Средние значения удельной активности радионуклидов у различных видов рыб основных полигонных водоемов ЧЗО представлены на рис. 2. Во всех водоемах отмечено существенное

превышение содержания ^{137}Cs у рыб-ихтиофагов по сравнению с «мирными» видами, подтверждающее неоднократно описанный другими авторами эффект накопления радионуклида с повышением трофического уровня. Высокие значения содержания радионуклида отмечены у судака и чехони, если эти виды присутствовали в уловах. Во всех остальных случаях наибольшую удельную активность ^{137}Cs регистрировали в окуне, который является одним из наиболее распространенных хищных видов для водоемов ЧЗО. Что касается ^{90}Sr , то здесь наблюдается обратная зависимость – с повышением трофического уровня его содержание в ихтиоценозе снижается.

Среди исследованных «мирных» видов практически во всех водоемах лидирующее положение по уровням накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs занимает красноперка, что, вероятно, связано с преобладанием в рационе этого вида высших водных растений, характеризующихся высокими коэффициентами накопления радионуклидов и их эффективным усвоением в процессе пищеварения.

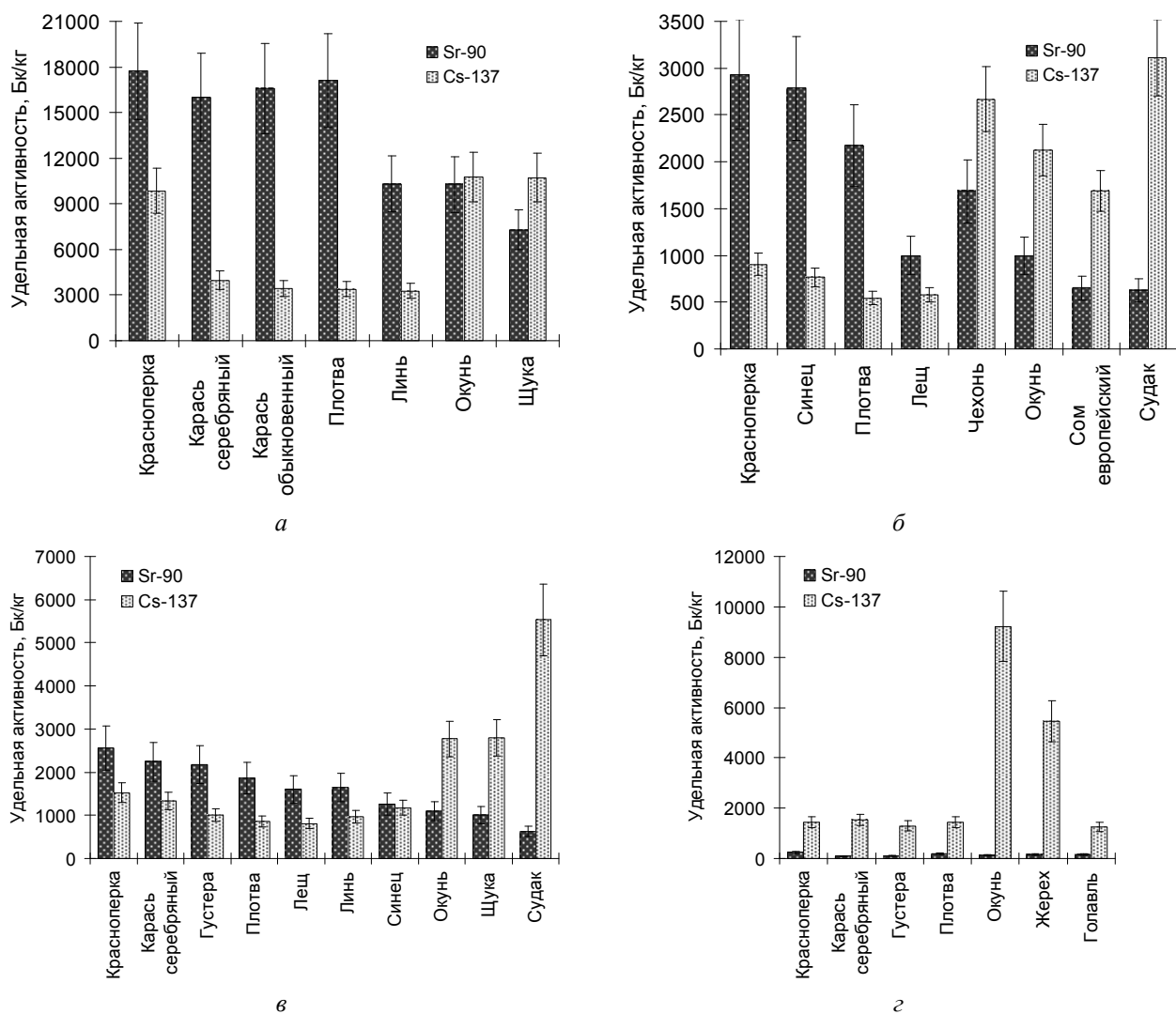


Рис. 2. Средняя удельная активность радионуклидов в различных видах рыб водоемов ЧЗО в 2006 - 2011 гг.: а – оз. Глубокое; б – Яновский затон; в – Красненская старица (участок № 2); г – ВО ЧАЭС.

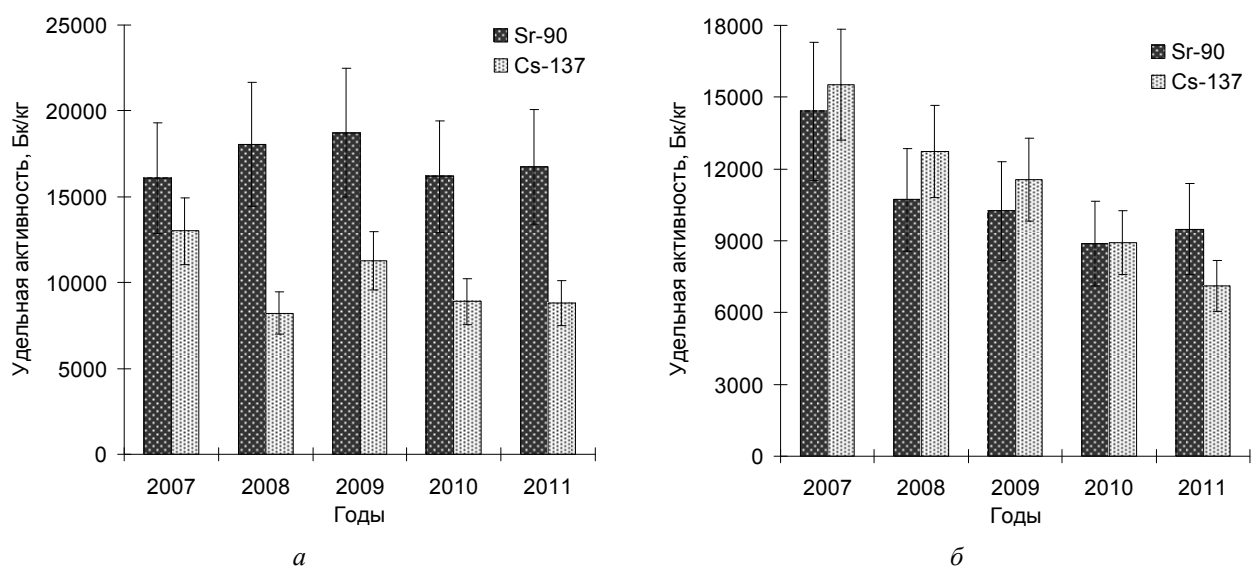


Рис. 3. Динамика среднегодовой удельной активности радионуклидов у красноперки (а) и окуня обыкновенного (б) оз. Глубокое в 2007 - 2011 гг.

Анализ данных, полученных на протяжении последних 5 лет, свидетельствует о том, что удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr у представителей ихтиофауны практически всех водоемов ЧЗО продолжает постепенно снижаться. Исключение составляют водоемы, находящиеся на одамбированной территории левобережной поймы р. Припять, в которых, при постепенном снижении удельной активности ^{137}Cs в рыбах, уменьшение содержания ^{90}Sr происходит значительно более медленными темпами или вообще не наблюдается (рис. 3).

Практически во всех исследованных водоемах ЧЗО наиболее массовыми видами, характеризующимися также высокими уровнями накопления радионуклидов, среди «мирных» видов являются красноперка, а среди хищных – окунь обыкновенный. Эти виды можно рассматривать в

качестве референтных и наиболее перспективных при проведении радиоэкологического мониторинга пресноводных экосистем и оценке уровня загрязнения ихтиофауны ^{90}Sr и ^{137}Cs [19].

Анализ данных удельной активности радионуклидов в рыбах различных размерно-весовых групп позволил выявить зависимость накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs от массы тела у красноперки и окуня оз. Глубокое, которая наиболее соответствует степенной функции. При этом достаточно хорошо выражено более интенсивное накопление радионуклидов в ранние периоды жизни рыб (рис. 4). Аппроксимация имеющихся данных, при сравнительно невысокой достоверности, позволяет, тем не менее, выявить характерные отличия в динамике накопления радионуклидов «мирными» и хищными видами рыб с увеличением размерно-весовых характеристик.

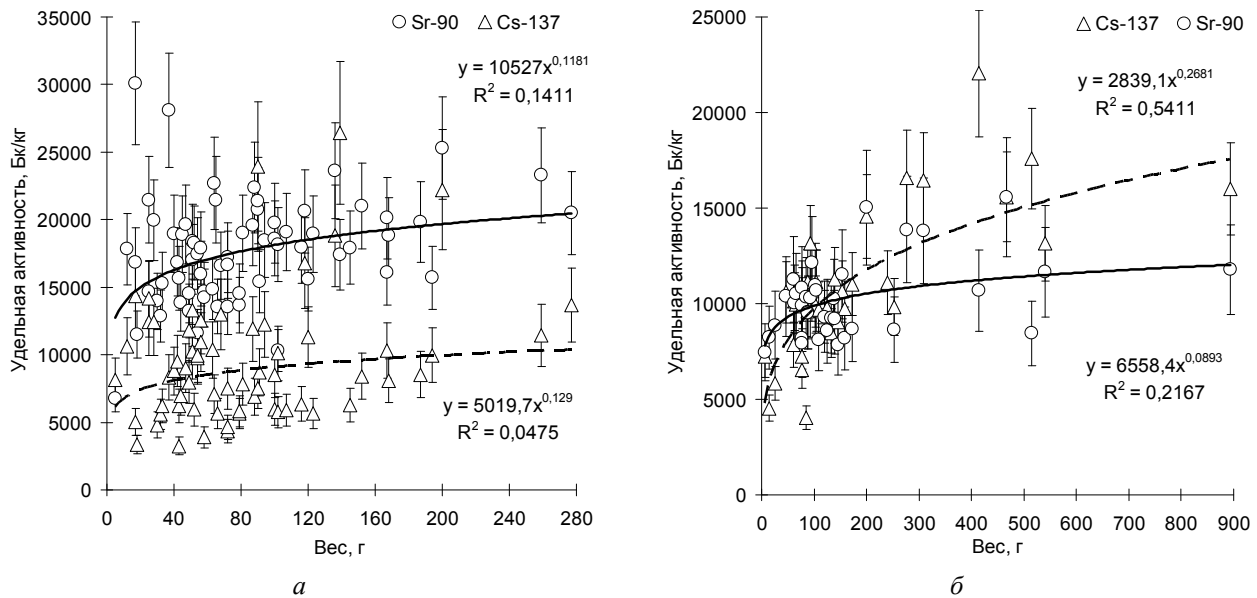


Рис. 4. Зависимость накопления радионуклидов от массы тела красноперки (а) и окуня обыкновенного (б) оз. Глубокое.

Эти особенности наиболее выражены и имеют высокую достоверность аппроксимации при анализе зависимости накопления радионуклидов от возраста рыб (рис. 5). Отмечено характерное увеличение удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs у красноперки с преимущественным накоплением ^{90}Sr , судя по всему, уже на ранних этапах постэмбрионального онтогенеза. У окуня в первые годы также наблюдается более высокое содержание в организме ^{90}Sr по сравнению с ^{137}Cs , однако в последующие годы, по-видимому, в связи с постепенным преобладанием в рационе мелкой рыбы, удельная активность ^{137}Cs начинает превышать ^{90}Sr , накопление которого с возрастом, наоборот, постепенно замедляется.

Отмечена сезонная динамика в накоплении ^{90}Sr и ^{137}Cs представителями «мирных» и хищных видов рыб оз. Глубокое с максимальными значениями удельной активности радионуклидов в летний период (рис. 6). Наиболее значимые сезонные колебания содержания радионуклида в теле рыб отмечены для ^{137}Cs , что, очевидно, связано с его высокой функциональной активностью, как химического аналога калия, сравнительно равномерным распределением в различных органах и тканях рыб, а также высокой скоростью биологического накопления и выведения из организма. Удельная активность ^{90}Sr в течение года продолжала сохраняться на относительно постоянном уровне.

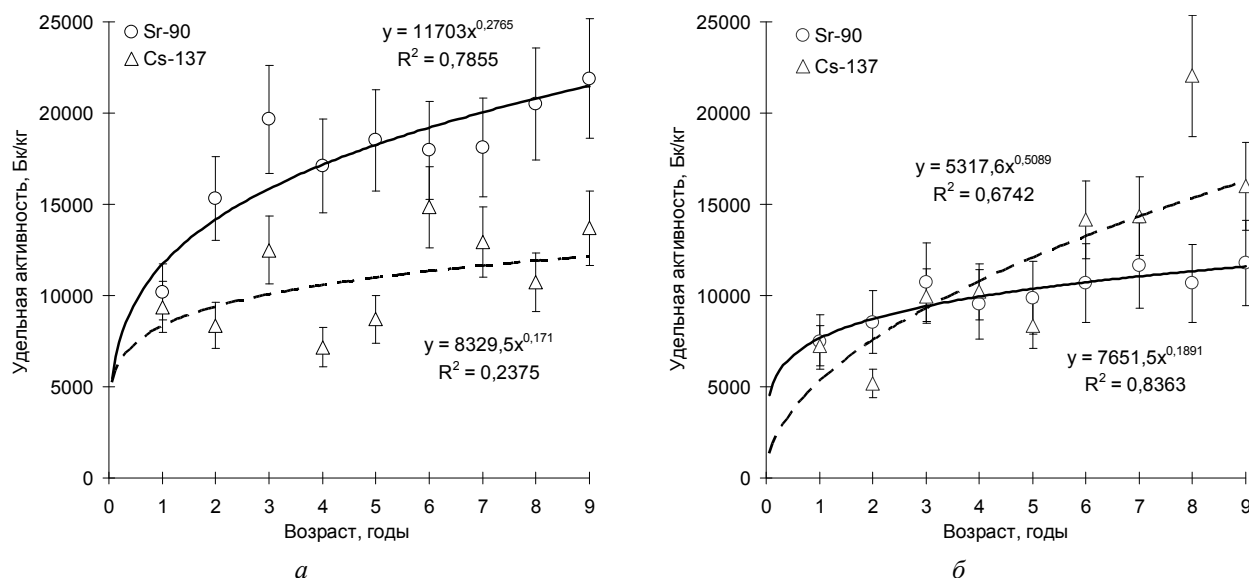


Рис. 5. Возрастная динамика удельной активности радионуклидов у красноперки (а) и окуня обыкновенного (б) оз. Глубокое.

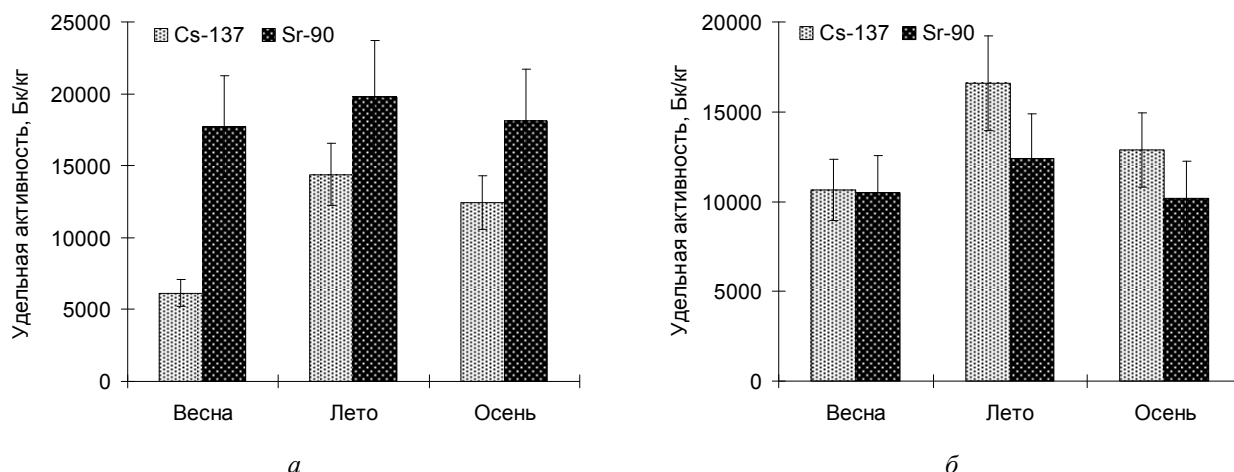


Рис. 6. Сезонная динамика удельной активности радионуклидов у красноперки (а) и окуня обыкновенного (б) оз. Глубокое.

^{137}Cs относится к группе радионуклидов, сравнительно равномерно распределяющихся в организме животных. Поэтому процентное содержание радионуклида в различных органах и тканях рыб во многом определяется их вкладом в общую массу тела рыбы. В этой связи основное количество ^{137}Cs сосредоточено в мышечных тканях – до 65 %, на голову, гонады и кости приходится в среднем около 20 - 25 % и на остальные органы и ткани – около 10 - 15 %. Такое распределение с незначительными различиями сохраняется как у хищных, так и «мирных» видов рыб в водоемах ЧЗО.

Что касается ^{90}Sr , являющегося остеотропным радионуклидом с преимущественным концентрированием в костной ткани, его основное количество в рыбе находится в чешуе, а также костях осевого скелета и плавников – до 97 % общего количества радионуклида в организме (рис. 7).

А поскольку вклад этих органов в общую массу тела у различных видов рыб существенно варьирует, это обуславливает значительные отличия процентного распределения ^{90}Sr в организме. Основные отличия здесь связаны, в первую очередь, с вкладом чешуи и висцеральной части осевого скелета (головы) в общую массу тела рыбы. У рыб с крупной и плотной чешуей (карась, лещ, красноперка и др.) ее вклад в общее содержание ^{90}Sr достигает 37 - 54 %, несмотря на малую массу (6 - 8 % от массы рыбы); у рыб с мелкой и тонкой чешуей (линь, синец, щука и др.) – не превышает 7 - 27 % или же вклад чешуи в общее содержание ^{90}Sr может вовсе отсутствовать у рыб с редуцированной чешуей (сом европейский). У хищных видов рыб, обладающих крупной головой с массивным челюстным аппаратом, вклад этой части скелета в общее содержание ^{90}Sr может достигать 50 %, по сравнению с 18 - 23 % у «мирных» видов.

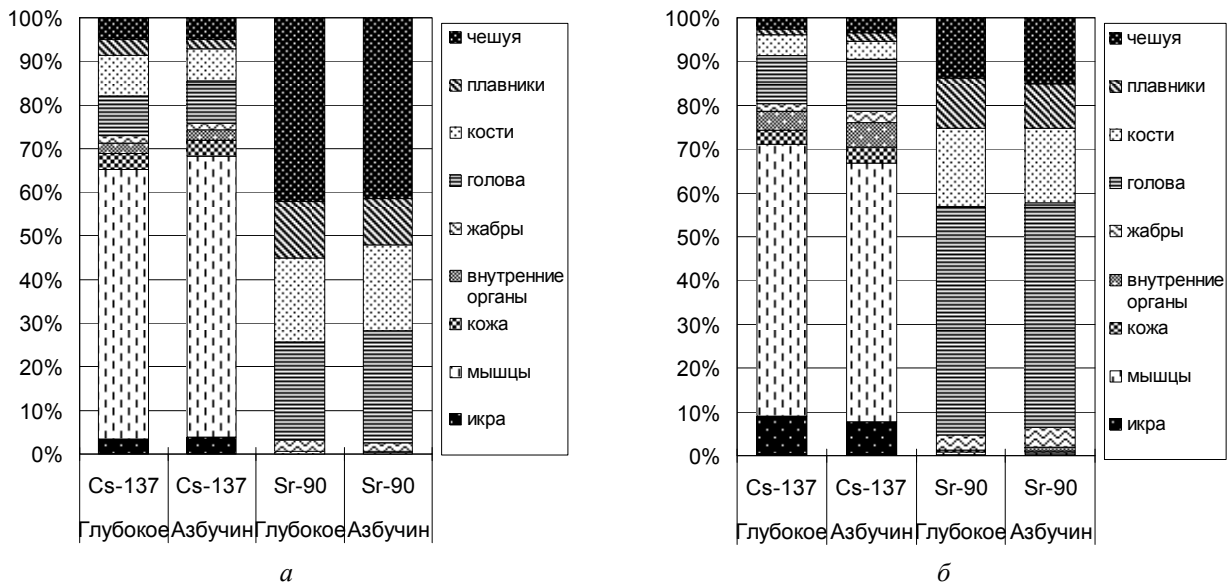


Рис. 7. Распределение радионуклидов по органам и тканям красноперки (а) и щуки (б) озер Глубокое и Азбучин.

Удельную активность ^{137}Cs в мышцах рыб замкнутых водоемов в период исследований регистрировали в пределах от 660 Бк/кг у леща оз. Далекое до 55975 Бк/кг у красноперки оз. Глубокое. Максимальная удельная активность ^{90}Sr отмечена в чешуе карася серебряного из оз. Вершина – до 342000 Бк/кг. Высокие значения удельные активности ^{90}Sr отмечены также в чешуе красноперки оз. Глубокое – 68450 - 125370 Бк/кг. У хищных видов содержание ^{90}Sr в чешуе составило 26380 - 35140 Бк/кг у щуки оз. Глубокое, а в чешуе представителей этого вида из других водоемов – от 3920 Бк/кг в Яновском затоне до 9060 Бк/кг в Красненской старице (участок № 2). Сравнительно невысокой удельной активностью ^{90}Sr характеризовалась мышечная ткань рыб – от 17 Бк/кг у щуки Яновского затона до 335 Бк/кг у красноперки оз. Глубокое.

На основе данных удельной активности радионуклидов в рыбе ЧЗО выполнены расчеты мощности внутренней поглощенной дозы, которая в замкнутых водоемах составила 1,6 - 55,4, в перекрытых затонах – 0,7 - 4,3, в ВО ЧАЭС – 0,3 - 2,0, в открытых затонах р. Припяти – 0,04 - 0,27, а в речных экосистемах – 0,01 - 0,04 мкГр/ч. В большинстве водоемов Украины, расположенных за пределами ЧЗО, мощность поглощенной дозы от инкорпорированных радионуклидов не превышает 0,01 мкГр/ч. Основным дозообразующим радионуклидом для представителей ихтиофауны замкнутых, условно непроточных водоемов ЧЗО в настоящее время является ^{90}Sr , вклад которого во внутреннюю дозу облучения для хищных рыб составляет 61 - 81 %, а для «мирных» видов – 90 - 93 %. В проточных и полупроточных водоемах ЧЗО вклад ^{90}Sr во внут-

реннюю дозу облучения составляет 26 - 87 %, а для ВО ЧАЭС – 9 - 41 %.

Заключение

В период 2006 - 2011 гг. изучена видоспецифичность и динамика накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs в рыбе водоемов и водотоков ЧЗО с различным гидрологическим режимом и уровнем радионуклидного загрязнения. Проанализировано распределение радионуклидов по органам и тканям рыб, исследованы размерно-весовые, возрастные и сезонные особенности накопления радионуклидов представителями «мирных» и хищных видов, а также оценена мощность внутренней дозы облучения рыб за счет инкорпорированных радионуклидов в водоемах различного типа.

Рыбы замкнутых водоемов ЧЗО продолжают характеризоваться высоким содержанием ^{90}Sr и ^{137}Cs . Наибольшие уровни удельной активности радионуклидов отмечены в рыбе водных объектов, расположенных на одамбированной территории левобережной поймы р. Припять (озера Вершина, Глубокое, Далекое, Красненская старица) – 900 - 31800 Бк/кг по ^{137}Cs и 1450 - 81200 Бк/кг по ^{90}Sr . В рыбе ВО ЧАЭС содержание ^{137}Cs регистрировали в диапазоне 850–11000, а ^{90}Sr – 100–750 Бк/кг. Удельная активность радионуклидов в рыбе замкнутых водоемов ЧЗО в период исследований во всех случаях превышала ДУ, согласно принятым в Украине нормативам для рыбной продукции, – в 3 - 2320 раз по ^{90}Sr и в 2 - 212 раз по ^{137}Cs . В рыбе русловых участков р. Припять в пределах ЧЗО за период исследований зарегистрированы единичные случаи превышения ДУ по ^{137}Cs , преимущественно для хищных видов.

Анализ размерно-весовой и возрастной динамики накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs в рыбе оз. Глубокое позволил выявить положительную корреляцию между показателями массы особи, ее возрастом и уровнем удельной активности радионуклидов в организме. Наиболее высокая достоверность аппроксимации данных получена при оценке зависимости уровня накопления радионуклидов от возраста рыб. Отмечено увеличение удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs у вида-фитофага (красноперки) с преимущественным накоплением ^{90}Sr , которое, очевидно, происходит уже на ранних стадиях развития. У хищного вида (окуня обыкновенного) в начальный период жизни также наблюдается повышенное содержание ^{90}Sr в организме по сравнению с ^{137}Cs , однако в дальнейшем, очевидно в связи с переходом на питание мелкой рыбой, удельная активность ^{137}Cs начинает преобладать над ^{90}Sr .

Оценка распределения радионуклидов по органам и тканям рыб проточных пойменных водоемов р. Припять в ЧЗО показала, что основное количество ^{137}Cs у хищных и «мирных» видов сосредоточено в мышечных тканях – до 65 %, на голову, гонады и кости приходится в среднем около 20 - 25 % и на остальные органы и ткани – около 10 - 15 %. До 97 % общего количества ^{90}Sr в организме рыб сконцентрировано в чешуе, а также костях осевого скелета и плавников. Видовые различия в распределении ^{90}Sr по этим органам и тканям у рыб обусловлено преимущественно особенностями морфологического строения чешуи и висцеральной части осевого скелета.

Наиболее высоким содержанием ^{137}Cs характеризуются хищные виды рыб (судак, окунь, щука, жерех, чехонь). Среди «мирных» видов наибольшие показатели удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs практически во всех водоемах ЧЗО отмечены для красноперки. Зарегистрирована сезонная динамика накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs для различных групп рыб. Максимальные значения удельной активности радионуклидов отмечены в летний период.

Мощность поглощенной дозы от инкорпорированных радионуклидов в замкнутых водоемах ЧЗО составила 1,6 - 55,4, в ВО ЧАЭС – 0,3 - 2,0, в открытых затонах р. Припяти – 0,04 - 0,27, а в речных экосистемах – 0,01 - 0,04 мкГр/ч. Основным дозообразующим радионуклидом для представителей ихтиофауны замкнутых и условно непроточных водоемов ЧЗО в настоящее время является ^{90}Sr , вклад которого во внутреннюю дозу облучения для хищных рыб составляет около 70 %, а для «мирных» видов – около 90 %. В проточных и полупроточных водоемах ЧЗО вклад ^{90}Sr во внутреннюю дозу облучения рыб в среднем составляет 43 %, а в ВО ЧАЭС – 25 %.

Благодаря широкому распространению и высоким уровням накопления основных дозообразующих радионуклидов перспективными референтными видами при выполнении радиэкологического мониторинга ихтиоценозов водных экосистем ЧЗО могут быть фитофаг красноперка (*Scardinius erythrophthalmus* L.) и факультативный хищник окунь обыкновенный (*Perca fluviatilis* L.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябов И.Н. Радиэкология рыб водоемов в зоне влияния аварии на Чернобыльской АЭС: по материалам экспедиционных исследований. - М.: Изд-во Товарищества научных знаний КМК, 2004. - 215 с.
2. Kulikov A.O., Ryabov I.N. Specific cesium activity in freshwater fish and size effect // Sci. Total Environ. - 1992. - Vol. 112. - P. 125 - 142.
3. Зарубин О.Л., Залисский А.А., Беляев В.В. и др. Удельная активность ^{137}Cs в мышцах рыб-бентофагов в зависимости от массы особи // Гидробиол. журн. - 2011. - Т. 47, № 5. - С. 96 - 105.
4. Зарубин О.Л., Залисский О.О. Радиоактивне забруднення водяних рослин і тварин р. Прип'ять // Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного відселення. - 2002. - № 1 (19). - С. 39 - 47.
5. Зарубин О.Л., Залисский А.А., Костюк В.А. и др. Удельное содержание ^{137}Cs в мышцах плотвы (*Rutilus rutilus* L.) в зависимости от массы особи // Ядерна фізика та енергетика. - 2010. - Т. 11, № 2. - С. 191 - 194.
6. Зарубин О.Л., Залисский О.О., Малюк І.А., Костюк В.А. ^{137}Cs у рибах водойми-охолоджувача ЧАЕС після припинення експлуатації її останнього діючого блока // Чорнобильський науковий вісник. Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. - 2009. - № 1 (33). - С. 52 - 58.
7. Кузьменко М.І., Гудков Д.І., Кіреєв С.І. та ін. Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах. - К.: Наук. думка, 2010. - 263 с.
8. Гудков Д.И., Каглян А.Е., Назаров А.Б. и др. Динамика содержания и распределение основных дозообразующих радионуклидов у рыб зоны отчуждения Чернобыльской АЭС // Гидробиол. журн. - 2008. - Т. 44, № 3. - С. 95 - 113.
9. Гудков Д.И., Каглян А.Е., Киреев С.И. и др. Основные дозообразующие радионуклиды в рыбе зоны отчуждения Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиэкология. - 2008. - Т. 48, № 1. - С. 48 - 58.
10. Маркевич О.П., Короткий І.І. Визначник прісноводних риб УРСР. - К.: Радянська школа, 1954. - 208 с.

11. *Лаврухина А.К., Мальшева Т.В., Павлоцкая Ф.И.* Радиохимический анализ. - М: АН СССР, 1963. - 220 с.
12. *Брюзгин В.Л.* Методы изучения роста рыб по чешуе, костям и отолитам. - К: Наук. думка, 1969. - 187 с.
13. *Handbook for assessment of the exposure of biota to ionizing radiation from radionuclides in the environment / (Eds.) J. Brown, P. Strand, A. Hosseini.* - Project within the EC 5th Framework Programme, Contract № FIGE-CT-2000-00102. - Stockholm, Framework for Assessment of Environmental Impact, - 2003. - 395 p.
14. *Каглян А.Е.* Радионуклиды в ихтиофауне верхнего участка Киевского водохранилища // Гидробиол. журн. - 2007. - 43, № 5. - С. 93 - 109.
15. *Каглян О., Гудков Д., Кленус В. та ін.* Радионуклідне забруднення риб прісних водойм України після аварії на ЧАЕС // Міжнар. конф. «Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього»: Зб. доп. Висновки і рекомендації (Київ, 20 - 22 квітня 2011 р.) - К.: КіМ, 2011. - Ч. 2. - С. 301 - 306.
16. *Kaglyan O.Ye., Gudkov D. I., Klenus V.G. et al.* Strontium-90 in fish from the lakes of the Chernobyl Exclusion Zone // Radioprotection. - 2009. - Vol. 44, No. 5.- С. 945 - 949.
17. *Каглян О.Є., Гудков Д.І., Кленус В.Г. та ін.* Сучасне радіонуклідне забруднення прісноводних риб України // Доп. НАН України - 2011. - № 12. - С. 164 - 170.
18. *Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr у продуктах харчування та питній воді (ДР-97).* - К., 1997. - 38 с.
19. *Патент № 95746.* Україна, МПК G01T №1/169. Спосіб визначення ступеня максимального радіонуклідного забруднення іхтіофауни прісноводних водойм / О. Каглян, Д. Гудков, В. Кленус та ін. (Україна); Опубл. 2011 р., Промислова власність, № 16.

**О. Є. Каглян, Д. І. Гудков, В. Г. Кленус, З. О. Широка, Н. А. Поморцева,
Л. П. Юрчук, О. Б. Назаров**

РАДИОНУКЛИДИ В АБОРИГЕННИХ ВИДАХ РИБ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

Наведено результати оцінки питомої активності ⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs у представників аборигенної іхтіофауни водойм чорнобильської зони відчуження впродовж 2006 - 2011 рр. Аналізуються дані видової специфічності накопичення, а також розподілу радіонуклідів по різних органах і тканинах «мирних» і хижих видів риб у водоймах з різним гідрологічним режимом і рівнем радіонуклідного забруднення. Оцінена розмірно-вагова та вікова динаміка накопичення радіонуклідів рибою. Установлено, що на теперішній час ⁹⁰Sr є основним дозоутворювальним радіонуклідом для риб непроточних водойм чорнобильської зони відчуження.

Ключові слова: чорнобильська зона відчуження, водні екосистеми, риба, радіонуклідне забруднення, питома активність, потужність поглинутої дози, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs.

**O. Ye. Kaglyan, D. I. Gudkov, V. G. Klenus, Z. O. Shyroka, N. A. Pomortseva,
L. P. Yurchuk, O. B. Nazarov**

RADIONUCLIDES IN THE INDIGENOUS FISH SPECIES OF THE CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

Results of the specific activity of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs estimation at the indigenous representatives of fish fauna in water bodies of the Chernobyl exclusion zone are presented during 2006 - 2011. The data of species specificity of radionuclide accumulation and distributing in different organs and tissues of pray and predatory fishes in water bodies with different hydrological regime and level of radioactive contamination are analyzed. The size, weight and age dynamics of radionuclide accumulation in fish are evaluated. It is note, that presently ⁹⁰Sr is main dose-formed radionuclide for fishes of stagnant water bodies of the Chernobyl exclusion zone.

Keywords: Chernobyl exclusion zone, freshwater ecosystems, fishes, radioactive contamination, specific activity, dose rate, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs.

Надійшла 10.05.2012
Received 10.05.2012