

НАКОПЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ РЫБОЙ ВОДОЕМОВ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС И ВОЗМОЖНОСТЬ ЕЕ КУЛИНАРНОЙ ОБРАБОТКИ

А. Ф. Мирончик

Приведены сведения о накоплении ^{137}Cs и ^{90}Sr основными промысловыми видами рыб Беларуси. Указаны факторы, влияющие на степень накопления радионуклидов в их организме. Определена возможность снижения содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в рыбе при ее кулинарной обработке.

Введение

В настоящее время экосистемы водоемов Беларуси испытывают интенсивное воздействие антропогенных факторов различной природы. Проблема радиоактивного загрязнения территории Беларуси в результате аварии на Чернобыльской АЭС затронула большинство водоемов в бассейнах рек Днепр, Сож и Припять, где вылавливается значительная часть пресноводной рыбы. Изменение состава рыб Беларуси, произошедшее как на фоне естественных процессов, так и под влиянием антропогенных факторов, предопределяет необходимость постоянного контроля за состоянием фауны рыб и прогнозирования ее возможных изменений. Подобный контроль важен не только с точки зрения сохранения биоразнообразия рыб, но и для принятия эффективных мер в области принятия решений по устойчивому использованию рыбных ресурсов. Эти решения должны основываться на научно обоснованной оценке современного состояния фауны рыб и основных тенденций в изменении числа видов и численности рыб различных систематических групп. При этом интерес представляет не только изучение таксономического разнообразия фауны и структуры ихтиоценоза, но и определение доминантных видов, их функциональной роли в экосистеме, а также анализ внутрисистемных связей и роли абиотических факторов в динамике численности популяций. Все это является составными частями организации долгосрочного мониторинга рыб и рыбных ресурсов. Например, осуществленный в октябре 2006 г. промысловый лов рыбы речным неводом длиной 130 м, высотой 3 м, ячеей 35/40 мм на участке р. Припять в районе д. Барбаров Мозырского района (облавливаемая площадь одного притонения примерно 1 га), позволил выловить за три притонения 162 рыбы общей массой 62,7 кг (средний вылов рыбы на 1 га обловленной площади составил 20,9 кг) (таблица 1).

Таблица 1 – Улов промысловых видов рыб на р. Припять

Вид рыбы	Улов, % от общей массы	Вид рыбы	Улов, % от общей массы
Лещ	75,65	Подуст	0,55
Синец	12,75	Ерш-носарь	0,50
Густера	7,90	Судак	0,40
Щука	1,00	Окунь	0,35
Жерех	0,90	Всего	100

Актуален и вопрос оценки накопления радиоактивных веществ при хроническом их поступлении в организм пресноводных рыб, а также выявление видовых, возрастных и сезонных различий содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в их организме при обитании в загрязненном биогеоценозе, т.к. употребление в пищу рыбы из загрязненных водоемов является дополнительным источником поступления радионуклидов в организм человека. Например, в 1997 г. у выловленной рыбы (окунь, оз. Кожановское, Новозыбковский район Брянской области) концентрация ^{137}Cs достигала 60 кБк/кг сырой массы, а у окуня из оз. Святое (Костюковичский район Могилевской области) – 118 кБк/кг сырой массы.

Результаты исследований и их обсуждение

Наибольшее загрязнение водных экосистем после аварии на Чернобыльской АЭС отме-

чалось в конце апреля – начале мая 1986 г., когда основное радиоэкологическое значение имели короткоживущие радионуклиды, прежде всего ^{131}I , максимальная концентрация которого в ряде рек и озер превышала допустимую концентрацию даже в питьевой воде (37 Бк/л) в десятки раз. Отличительной чертой данной аварии является неравновесный характер процессов миграции радионуклидов в водных экосистемах в течение длительного времени. Накопление радиоактивных веществ в организме рыб тесно связано с их экологией (степенью загрязнения среды обитания и особенностями питания). Отчетливо выражен эффект трофических уровней, характеризующийся более высоким накоплением ^{137}Cs и ^{90}Sr хищными рыбами по сравнению с растительноядными рыбами.

Данный временной период характеризуется долгосрочным загрязнением изотопами цезия и стронция ряда водоемов Белоруссии, России и Украины (вода по ^{137}Cs – до 36 Бк/л, по ^{90}Sr – до 36,5 Бк/л, донные отложения по ^{137}Cs – до 82,9 кБк/кг, по ^{90}Sr – до 829,5 Бк/кг), что привело к длительному и весьма высокому загрязнению рыбы (по ^{137}Cs – до 10–120 кБк/кг сырой массы, ^{90}Sr – до 1,0–1,7 кБк/кг сырой массы) в ряде озер, расположенных на значительном удалении от Чернобыльской АЭС. Например, в непроточном оз. Святое (Костюковичский район), расположенном в зоне загрязнения территории ^{137}Cs плотностью более 1480 кБк/м², средняя удельная активность донных отложений в верхнем 6-сантиметровом слое составляет 82,9 кБк/кг (0–2 см – 147 кБк/кг; 2–4 см – 72,29 кБк/кг и 4–6 см – 29,42 кБк/кг) [1]. По данным летнего отлова рыбы 1997 г., содержание ^{137}Cs варьировало в пределах 6,2–120 кБк/кг сырой массы (для щуки – 32–120 кБк/кг, окуня – 28–99 кБк/кг, плотвы – 6,2–12,1 кБк/кг, красноперки – 8,0–16,8 кБк/кг). После проведения натуральных экспериментов институтом геологических наук НАН Беларуси (внесение 14,5 т KCl на ледовую поверхность озера, 02.1998 г. [1] чистота радиоэкологического мониторинга на этом озере нарушена.

Считается, что суммарная загрязненность поверхностных вод за первые 1–1,5 послеаварийных года уменьшились на 2–3 порядка, в последующие годы – еще в 2–4 раза. В настоящее время концентрация ^{137}Cs в воде, например, р. Припяти составляет преимущественно $(1–3) \times 10^2$ Бк/м³, ^{90}Sr – $(2–5) \times 10^{-2}$ Бк/м³. С конца мая 1986 г. прямые радиоактивные выпадения на водные объекты прекратились, поэтому в настоящее время концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде определяются, в основном, вторичными процессами: смывом с загрязненных водосборов, поступлением с грунтовыми водами, взаимодействием с донными отложениями. Процессы смыва радиоактивного загрязнения дождевыми и тальными водами в речные системы оцениваются как наиболее динамичные, долговременные и опасные. Проанализировав содержание ^{137}Cs в воде оз. Персток за период 2001–2005 гг., можно отметить среднее значение его содержания – 3,4 Бк/л. Необходимо подчеркнуть, что содержание радионуклидов в воде водоемов, расположенных в 30-километровой зоне, неодинакова. Например, в оз. Персток оно выше, чем в р. Брагинка: по ^{137}Cs – в 3,1 раза, по ^{90}Sr – в 24, по $^{239+240}\text{Pu}$ – в 3,6 и по ^{241}Am – в 1,7 раза [2].

Основной целью данной работы являлось изучение содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в организме растительноядных и хищных рыб, обитающих в водоемах зоны влияния аварии на Чернобыльской АЭС. Отбор проб рыбы (5–7 особей наиболее распространенных видов) проводился в весенне-осеннее время. Содержание ^{137}Cs в пробах определяли γ -спектрометрическим, а ^{90}Sr – радиохимическим методом (карбонатным осаждением с последующим выделением дочернего изотопа иттрия-90), т.е. по общепринятым методикам.

В 1995 г. органы и ткани всех исследованных видов рыб (щука, окунь, жерех, лещ, плотва, густера, пескарь, синец, подуст) из р. Припять (Мозырский район) содержали гамма-излучающие радионуклиды в пределах допустимого содержания (370 Бк/кг, РДУ-92). Наиболее загрязненными оказались ткани хищных рыб, у которых содержание ^{137}Cs в мышцах в среднем колебалось от 95 Бк/кг у окуня до 210 Бк/кг у щуки. Мышечная ткань растительноядных рыб содержала радионуклиды цезия в 1,4–2,8 раза меньше по сравнению с хищными рыбами (в 1994 г. в мышцах мирных рыб радиоцезий обнаруживался в большем количестве). Сравнение содержания изотопов цезия в мышцах окуня, леща, плотвы и густеры весной 1995 и весной 1994 гг. показало, что гамма-активность проб в 1995 г. в 1,4–4,1 раза была ниже.

Наиболее заметно было снижение содержания ^{137}Cs в мышцах синца – в 15 раз (183 Бк/кг и 2761 Бк/кг соответственно), в скелете – в 7 раз (425 Бк/кг и 3039 Бк/кг соответственно) [3].

В рыбе из р. Припять, отловленной в зоне отселения (щука, окунь, плотва линь, карась серебряный), отмечено более высокое содержание ^{137}Cs . Как и у рыб, пойманных вне зоны отселения, наиболее высокая концентрация γ -излучающих радионуклидов во все сезоны года отмечена у хищных рыб, причем максимум накопления у щуки приходится на зимний период, а у окуня – на весенний. Например, весной 1995 г. концентрация ^{137}Cs в мышцах и скелете окуня, пойманного в р. Припять в зоне отселения, превышала аналогичные показатели у окуня, пойманного в Мозырском районе, более чем в 4 раза, у щуки – в 4,9–7,1 раз. За период зима-осень отмечено снижение содержания ^{137}Cs в мышцах щуки примерно в 4 раза. У окуня в весенний период содержание радионуклидов было во столько же раз выше в сравнении с зимним периодом. У всех исследованных рыб из р. Припять в зоне отселения наиболее высокое содержание ^{137}Cs отмечено в мышечной ткани рыб по сравнению с другими органами.

Рыба, пойманная в 1995 г. в оз. Персток (щука, окунь, плотва, линь, карась серебряный), характеризовалась высоким содержанием γ -излучающих радионуклидов, причем концентрация ^{137}Cs в мышечной ткани хищных видов (щука, окунь) в 2 раза выше, чем у растительноядных рыб. Сравнение содержания ^{137}Cs в тканях щук, пойманных в оз. Персток и в р. Припять (зона отселения), показало, что в мышечной ткани озерных рыб оно выше в 40–45 раз, в скелете – в 6–8 раз, а по сравнению со щукой, выловленной в р. Припять в Мозырском районе, – в 120–125 и 44–52 раза соответственно.

Проведенные исследования ихтиофауны оз. Персток на содержание вышеупомянутого радионуклида показали, что существуют видовые различия динамики содержания и динамики коэффициента накопления ^{137}Cs . Эти различия большей частью связаны с типом питания гидробионтов на разных стадиях жизненного цикла. Например, в 2006 г. в оз. Персток были отловлены три вида рыб – карась серебряный, лещ и щука. Для анализа на содержание ^{137}Cs в различных тканях гидробионтов брались одновозрастные однополые группы (табл. 2). Проведенные исследования по содержанию ^{137}Cs в различных тканях рыб выявили отличия в его содержании в чешуе, голове, в костной и мышечной тканях. Из таблицы видно, что наибольшее значение ^{137}Cs отмечается у щуки, которая на личиночной стадии является планктофагом, а малек уже начинает потреблять молодь других рыб. Личинка карася также является планктофагом, но с возрастом переходит на бентосный тип питания, тем самым увеличивая содержание ^{137}Cs в организме. Тип питания леща и карася – бентосные организмы, но в отличие от карася в рационе леща встречается и растительная пища, хотя донная фауна и является преобладающей в питании. Рассматривая содержание ^{137}Cs в тканях, можно отметить, что наибольшее сосредоточение данного радионуклида наблюдается в костной и мышечной тканях.

Таблица 2 – Содержание (Бк/кг) ^{137}Cs и коэффициенты накопления ((Бк/кг сырой массы)/(Бк/л)) в различных тканях некоторых рыб из оз. Персток [2]

Ткань	Карась серебряный		Лещ		Щука	
	содержание	K_n	содержание	K_n	содержание	K_n
Голова	2659	611,26	1037	238,39	5338	1227,00
Жаберная крышка и чешуя	2346	539,31	1253	288,05	1696	389,89
Костная	3454	794,02	1495	343,68	9140	2101,15
Мышечная	5438	1264,65	2732	628,05	9020	2075,63

Проведенные исследования по содержанию трансураниевых элементов в гидробионтах свидетельствуют о более низких значениях содержания трансураниевых элементов в гидробионтах по сравнению с ^{137}Cs . Несомненный интерес представляет америций-241, обладающий высокой биологической подвижностью (таблица 3). Несмотря на то, что ^{241}Am и обладает высокой подвижностью, удельная активность плутония выше, чем америция. У хищных рыб Борщевского водохранилища (щука) наблюдается незначительное увеличение удельной активности плутония (1,28 Бк/кг) по сравнению со щукой оз. Персток. Удельная активность

^{241}Am в организме растительноядных рыб выше у карася серебряного (0,56 Бк/кг) [2]. Накопление радиоактивных веществ органами и тканями рыб, а также распределение и выделение их зависит от целого ряда факторов, основными из которых являются: химическая природа радиоизотопов, периоды их полураспада, концентрация радиоизотопов в воде, вид, возраст и физиологическое состояние рыб и экологические факторы. Установлено, что в зависимости от условий проведения эксперимента карповые рыбы могут концентрировать до 92 % ^{90}Sr из пищи и только 8 % из воды [4]. В естественных условиях рыбы потребляют корм, в котором содержание радионуклидов значительно выше, чем в воде. Наибольшее количество ^{90}Sr (до 90 %) концентрируется в костях и чешуе рыб. В мышцах и внутренних органах содержание его на 1–3 порядка ниже. Наоборот, ^{137}Cs больше всего депонируется в мягких тканях и внутренних органах рыб. Зарегистрирована достоверная зависимость содержания радионуклидов от возраста рыб, сезонных и годовых условий. В теле хищных рыб (щука, окунь) количество ^{137}Cs обычно выше, чем в теле растительноядных рыб, которыми они питаются [5–7]. Следует отметить, что в теле щук повышается содержание ^{137}Cs перед нерестом и в период посленерестового жора, когда увеличивается количество потребляемой пищи, а уменьшение концентрации ^{137}Cs наблюдается в августе-сентябре при смене зубов, что связано со снижением интенсивности питания.

Таблица 3 – Содержание трансурановых элементов в гидробионтах, Бк/кг сырой массы

Рыба	Водоем	^{238}Pu	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am
Щука	Борщевское водохранилище	1,28	2,77	0,21
Лещ	оз. Персток	0,90	1,85	0,27
Карась серебряный	оз. Персток	1,02	2,16	0,56

Анализ накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr у различных видов рыб, отловленных в зоне отчуждения (р. Припять, мелиоративные каналы), показал, что наиболее высокое содержание ^{137}Cs наблюдалось в организме хищных рыб. Так, концентрация ^{137}Cs в мышечной ткани щуки колебалась от 2,2 кБк/кг до 8,1 кБк/кг, а у окуня в среднем составляла 3,0 кБк/кг. Содержание ^{137}Cs у растительноядных рыб характеризовалось более низкими значениями и составляло от 0,3 кБк/кг у язя до 2,0 кБк/кг у красноперки [8]. По мере убывания ^{137}Cs в мышечной ткани пресноводных рыб можно построить следующий убывающий ряд: щука→окунь→карась→красноперка→плотва→лещ→язь (рисунок 1). ^{90}Sr накапливался, в основном, в скелете пресноводных рыб, где его содержание достигало у щуки 3 кБк/кг.

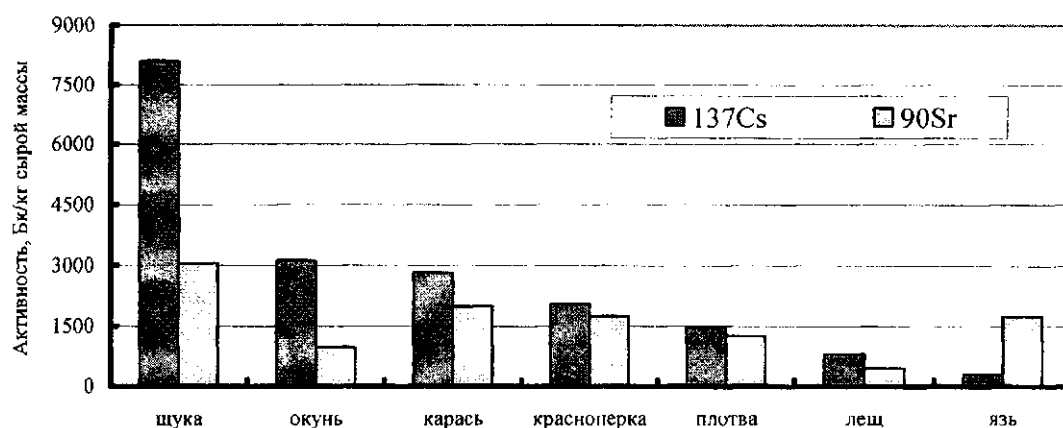


Рисунок 1 – Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr у рыб водоемов зоны отчуждения

У остальных видов рыб накопление данного радионуклида колебалось от 431 Бк/кг у леща до 1,72 кБк/кг у красноперки и язя. Анализ распределения ^{137}Cs и ^{90}Sr по органам и тканям карася серебряного показал, что в его внутренних органах более всего концентрируется ^{137}Cs , ^{90}Sr максимально депонируется в скелете (рисунок 2). Это характерно для язя [8] и красноперки. У плотвы, пойманной в р. Припять (Хойникский и Наровлянский районы), содержание ^{137}Cs в мышцах в период исследований регистрировали в пределах 10–1800 Бк/кг

сырой массы. Следует отметить, что, начиная с 1991–1992 гг. содержание ^{137}Cs в плотве не превышало действующих допустимых уровней. В целом к 2003 г. отмечено снижение содержания ^{137}Cs примерно в 11–15 раз по сравнению с началом исследований. Среди пойманных видов растительноядных рыб в р. Припять самый низкий уровень содержания ^{137}Cs в мышцах отмечен у леща (1,2 кБк/кг – начало исследований, 30 кБк/кг – 2003 г.). В течение всего периода исследований содержание ^{137}Cs в мышцах леща не превышало действующих допустимых уровней. Снижение же его содержания составило в среднем примерно 15–30 раз по сравнению с началом исследований. Отмечен эффект увеличения содержания ^{137}Cs в мышцах леща с увеличением длины его тела, для плотвы он выражен менее явно.

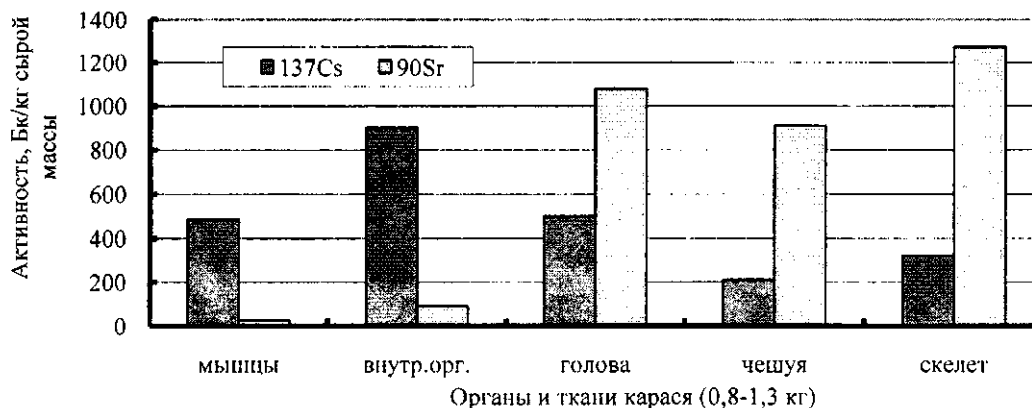


Рисунок 2 – Накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr органами и тканями карася водоемов зоны отчуждения

В 2005 г. проведены исследования на Борщевском затоплении [9], позволяющие оценить сезонные изменения содержания ^{137}Cs в мышцах карася серебряного, в рационе которого присутствуют не только детрит, бентосные и планктонные организмы, но также и водоросли. Борщевское затопление расположено между бывшими н.п. Борщевка, Масаны, Чемково, Уласы, где загрязненность территории ^{137}Cs превышает 1480 кБк/м². Это мелкий водоем (глубина 0,5–1,5 м, на каналах более 2,0 м) болотного типа площадью свыше 1000 га, образовавшийся после перекрытия Погонянского канала в двух километрах от станции Масаны. В результате отмирания растений почвенного покрова образовался органометный детрит, давший основу мощному слою донных отложений в этом водоеме и способствующий снижению глубины прозрачности (до 30–50 см). Рыба отлавливалась на одном месте, после чего проводился морфометрический анализ и определение возраста (по чешуе). Неодинаковое количество отловленной рыбы по каждому месяцу (май–сентябрь) позволило установить условную картину сезонной динамики среднего содержания ^{137}Cs в мышцах карася серебряного разного пола.

В связи с большой площадью затопления и кормовыми миграциями групп карасей из разных частей водоема наблюдаются значительные индивидуальные различия в накоплении ^{137}Cs отдельными особями. Например, в 2004 г. у карася северной части затопления средняя удельная активность ^{137}Cs в мышцах составила 965 Бк/кг сырой массы (от 775 до 1200 Бк/кг), а карася юго-западной части водоема (расстояние между точками отлова 3,3 км) средняя активность была равна 1937 Бк/кг (от 1760 до 2090 Бк/кг). Это можно объяснить в первую очередь разной плотностью загрязнения затопленных территорий и разными сроками появления генераций карася, который может нереститься 2–4 раза за сезон (табл. 4).

По имеющимся данным у самцов карася серебряного ^{137}Cs в мышцах накапливается меньше, чем у самок того же возраста. Динамика накопления данного радионуклида в теплый период у них отличается от таковой у самок. В этом исследовании зависимости между массой рыбы и степенью ее загрязненности ^{137}Cs не отмечено.

В регионе юг Могилевской области – север Гомельской области в период 1995–2003 гг. был обследован ряд непроточных озер и искусственных водоемов, расположенных на территориях с плотностью загрязнения ^{137}Cs от 74 до 2000 кБк/м². Содержание радиоцезия в озер-

ной воде варьировало от 0,2 до 6,1 Бк/л. Максимальные концентрации накопления ^{137}Cs рыбами выявлены в оз. Святое Костюковичского района (табл. 5).

Таблица 4 – Колебания содержания ^{137}Cs в мышцах карася, Бк/кг сырой массы

Месяц	Пол	Возраст, лет							
		2		3		4		5	
		min	max	min	max	min	max	min	max
Май	самцы	–	–	–	–	1418	1654	937	1540
	самки	–	–	1002	1960	865	1375	1307	1685
Июнь	самцы	859	1615	859	1391	1348	1407	962*	962*
	самки	1158	1714	1015	1601	1201	1702	984	1332
Июль	самцы	606	1894	1078	2114	941	1541	–	–
	самки	1078	2114	727	1385	998	1391	1190*	1190*
Август	самцы	1004	1746	741	1185	–	–	828*	828*
	самки	1243	2380	904	2025	957	1379	–	–
Сентябрь	самцы	1167*	1167*	851	986	1807*	1807*	–	–
	самки	1139	1951	818	1203	1384	1749	1182*	1182*

– нет данных, * – выловлен один экземпляр

Таблица 5 – Содержание ^{137}Cs у рыб, оз. Святое (в кБк/кг сырого веса)

Рыба	Возраст, лет	Время отлова	^{137}Cs	Рыба	Возраст, лет	Время отлова	^{137}Cs
Карась	2–4	10.1997 г.	15,9–18,9	Ерш	2	05.2003 г.	4,4–6,8
Линь	5	10.1997 г.	9,7–11,4		3–5	05.1997 г.	7,9–9,8
Пескарь	3–6	10.1997 г.	10,8–23,8		3–4	05.1995 г.	8,3–10,7
Плотва	3–5	05.2003 г.	14,1–15,8	Окунь	6–8	05.1997 г.	65,8–118
	3–5	05.1995 г.	16,3–18,9		3–5	05.1995 г.	49,2–61,7
Красноперка	3–6	10.1997 г.	12,5–16,1	Щука	8	10.1997 г.	31,6–55,5
	3–6	05.2003 г.	8,2–20,3		3–5	05.1997 г.	21,5–43,9

В течение 1989–2005 гг. по результатам отлова проведен анализ содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в организме щук, обитающих в реках и водоемах, отнесенных по последней комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши ко второму-четвертому уровням радиоактивного загрязнения. Сбор материала проведен в летнее время на р. Припять и в мелиоративных каналах (Наровлянский и Хойникский районы), оз. Персток (Хойникский район), оз. Риславское, оз. Святское, оз. Ревучее (юго-восток Гомельской области), оз. Святое (Костюковичский район), в старицах р. Сож (Славгородский район).

В последние годы (1997–2001 гг.) содержание ^{137}Cs в воде указанных водоемов колебалось от 1,4 Бк/л (оз. Святое) до 13,7–36 Бк/л (оз. Риславское), ^{90}Sr – от 0,07 Бк/л (оз. Святское) до 36,5 Бк/л (мелиоративные каналы), в донных отложениях содержание ^{137}Cs – от 286 Бк/кг (оз. Святое) до 47,7 кБк/кг (оз. Персток), ^{90}Sr – от 28,2 Бк/кг (оз. Ревучее) до 829,5 Бк/кг (мелиоративные каналы). Характерной особенностью озерных экосистем, в отличие от речных, является то, что основная масса радиоактивного цезия в воде находится в растворенном, а не во взвешенном состоянии. Анализ информации о радиоактивном загрязнении компонент водных экосистем, показывает, что спустя практически 20 лет после Чернобыльской катастрофы в слабопроточных водоемах, расположенных на территории с загрязнением по ^{137}Cs выше 185 кБк/м², загрязнение воды близко к предельно допустимым уровням.

У щуки, как и в телах других пресноводных рыб, содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr заметно выше, чем активность воды, а скорость аккумуляции и уровень накопления радионуклидов зависят от их содержания в воде водоемов, а также вида, возраста рыбы, сезона и режима питания. Основными путями поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в организм щуки являются алиментарный (с пищей и водой) и осмотический (через кожу, жабры и хвостовой плавник), однако при невы-

соком содержании радионуклидов в воде основную роль в процессе накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в организме рыб играет алиментарный путь.

Анализ накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr у различных видов рыб, отловленных в зоне отчуждения (мелиоративные каналы), показал, что наиболее высокое содержание ^{137}Cs наблюдалось в организме хищных рыб. Так, концентрация ^{137}Cs в мышечной ткани щуки, выловленной в мелиоративных каналах зоны отчуждения, колебалась от 1,9 кБк/кг сырой массы до 12,4 кБк/кг, а содержания ^{90}Sr в скелете щуки достигало 3,1 кБк/кг. В оз. Святское накопление ^{137}Cs у отдельных экземпляров щуки достигало 17,4 кБк/кг сырой массы, в оз. Ревучем – 4,2 кБк/кг, в оз. Святое в 1996-1997 гг. максимальное содержание ^{137}Cs отмечено у щуки – 120 кБк/кг сырой массы. Следует отметить существование зависимости содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr от массы щуки (размера и возраста): у более крупных экземпляров щуки отмечено более высокое содержание ^{137}Cs в мышцах и ^{90}Sr в скелете по сравнению с молодыми особями. Данная закономерность отмечена и у некоторых видов растительноядных рыб. Изучая размерный эффект накопления ^{137}Cs рыбами р. Припять, выявлено, что у щуки и леща с увеличением длины тела увеличивается концентрация ^{137}Cs в мышцах, а у окуня и плотвы она существенно не меняется. С увеличением длины тела окуня, леща и плотвы возрастает концентрация ^{137}Cs в гонадах. В скелете она существенно не меняется [3].

Исследования, проведенные в водоемах, расположенных на территории зоны отчуждения, подтвердили факт многократного превышения предельно допустимых значений содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в организме щуки. Определено, что до 90 % ^{90}Sr концентрируется в ее скелете и чешуе. Одновременно отмечен более высокий уровень накопления данных радионуклидов у щуки, пойманной в закрытых (слабопроточных) водоемах, по сравнению с проточными. Концентрация ^{90}Sr в мышцах щуки (р. Припять) в первые послеаварийные годы достигала 100 Бк/кг сырой массы, но к 1992 г. согласно ряду исследований она снизилась в среднем примерно в 2–3 раза. Однако в 1999 г. была поймана щука, содержание ^{137}Cs в мягких тканях которой составляло 560 Бк/кг сырой массы.

В 2006 г. было изучено перераспределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в процессе варки рыбы. Для этой цели выловленная рыба была очищена от чешуи, выпотрошена, удалены головы, хвосты и плавники. В подготовленной пробе было измерено содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr , после чего рыба была сварена. После варки из нее были извлечены кости и выполнены измерения содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в мясе рыбы, костях и полученном бульоне. Измерения выполнены на гамма-бета-спектрометре МКС-АГ1315 (таблица 6).

Таблица 6 – Содержание радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в рыбе и продуктах ее кулинарной обработки

Радионуклид	Удельная (объемная) активность, Бк/кг(л)	Содержание радионуклида в пробе, Бк	Доля радионуклида, %
Сырая рыба, чищенная, потрошенная, без голов, масса 938 г			общая масса 100 %
^{137}Cs	2023±410	1350	100
^{90}Sr	327±75	223	100
Рыба вареная, без костей, масса 577 г			масса 61,51 %
^{137}Cs	1261±250	518	41,23
^{90}Sr	135±36	55	20,21
Бульон рыбный, объем 1,54 л			масса 30,39 %
^{137}Cs	609±115	664	52,84
^{90}Sr	12±7	7,7	2,87
Кости рыбы, отделенные после варки, масса 76 г			масса 8,10 %
^{137}Cs	1432±301	76,4	6,05
^{90}Sr	3907±734	210	77,02

Из приведенных данных видно, что 285 г массы первоначально подготовленной сырой рыбы перешло в бульон. Содержание радионуклидов в исходной пробе совпадает в пределах погрешности измерения с их содержанием в продуктах варки (для ^{137}Cs это 1350±270 Бк и 1357±261 Бк соответственно, для ^{90}Sr - 223±52 Бк и 275±74 Бк соответственно). На основе полученных данных было рассчитано долевое распределение радионуклидов между продуктами варки рыбы. Следовательно, при варке предварительно обработанной рыбы (выпотро-

шена, без чешуи, голов, хвостов и плавников) в бульон переходит примерно 53 % ^{137}Cs и 3 % ^{90}Sr , в костях остается 6 % ^{137}Cs и 77 % ^{90}Sr . В случае предварительного вымачивания измельченной рыбы (кубики со стороной 1–1,5 см, соотношение вода-рыба 2:1, 2 промывки, продолжительность каждой 300 с) количество ^{137}Cs в ней уменьшается в 2,5–3,4 раза, что заметно снижает содержание радионуклидов в вареной рыбе.

Заключение

Проведенные исследования в водоемах, расположенных на территории зоны отчуждения, на р. Припять и непроточных водоемах, расположенных на радиоактивно загрязненной территории Гомельской и Могилевской областей, показали, что факторами, влияющими на накопление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr пресноводными рыбами, являются: химическая природа радиоактивных веществ и периоды их полураспада; концентрация радиоактивных элементов в донных отложениях и воде; вид, возраст и физиологическое состояние рыб; тип питания; сезонные и годовые условия; изолированность водоема.

Зарегистрирована достоверная зависимость содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr от возраста щуки, сезонных условий и режима питания. Накопление радионуклидов в организме хищных рыб выше, чем у бентофагов и имеет зависимость от возраста рыб. У крупных хищных рыб, особенно щуки, отмечено более высокое содержание радионуклидов по сравнению с молодыми особями. Установлено, что наибольшее количество ^{90}Sr (до 90 %) концентрируется в скелете и чешуе. В мышцах и внутренних органах его содержание на 1–3 порядка ниже. Наоборот, ^{137}Cs больше всего депонируется в мышечной ткани и внутренних органах рыб. Радиоэкологический мониторинг, проведенный в 1985–2005 гг., показал, что концентрация ^{137}Cs в организме пресноводных рыб снижается, однако она в ближайшем будущем будет находиться примерно на уровне последних 5 лет и будет зависеть, в том числе, от интенсивности весенних и осенних паводков.

Литература

1. Кудельский, А. В. Разработка контрмер по снижению ^{137}Cs рыбной популяции естественных водоемов / А. В. Кудельский, Дж. Т. Смит, И. Н. Рябов, Р. Х. Адерлих // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях : тез. докл. междунар. конф. – СПб.: Гидрометеоздат, 2000. – С. 211.
2. Зубарева, А. В. Современное радиозоологическое состояние биоты водоемов и водотоков Гомельской области / А. В. Зубарева // Современные экологические проблемы устойчивого развития Полесского региона и сопредельных территорий: наука, образование, культура : матер. III Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 ч. – Мозырь : МГПУ, 2007. – Ч. 1. – С. 119–123.
3. Шевцова, Т. М. Размерный эффект накопления радионуклидов рыбами реки Припять / Т. М. Шевцова, А. И. Воронович // Радиозоологический статус загрязненных территорий после Чернобыльской катастрофы : тез. докл. междунар. рабоч. совещания. – Минск, 1995. – С. 123–125.
4. Телитченко, М. М. Накопление радиоактивных изотопов стронция-(89–90) и иттрия-90 зеркальными карпами / М. М. Телитченко // Рыбное хозяйство, 1961. – № 5. – С. 40–43.
5. Ильенко, А. И. Радиозоология пресноводных рыб / А. И. Ильенко // Вопросы ихтиологии и биологии, 1969. – Т. 9. – № 2. – С. 324–337.
6. Ильенко, А. И. Накопление стронция-90 и цезия-137 рыбами в пресноводном водоеме / А. И. Ильенко // Вопросы ихтиологии, 1970. – Т. 10. – № 6. – С. 1127–1128.
7. Флейшман, Д. Г. Накопление искусственных радионуклидов пресноводными рыбами / Д. Г. Флейшман // Радиозоология. – М.: Атомиздат, 1971, – Т.2. – С. 395–421.
8. Гулаков, А. В. Содержание радионуклидов в организме пресноводных рыб, обитающих в водоемах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / А. В. Гулаков, К. Ф. Саевич // Агропанорама, № 3, 2003. – С. 21–23.
9. Раздорских, А. В. Сезонные изменения содержания ^{137}Cs в мышцах карася серебряного разного возраста в Борщевском затоплении (2005г.) / А. В. Раздорских // Сахаровские чтения 2006 года: экологические проблемы XXI века : матер. 6-й междунар. науч. конф. ; под ред. С. П. Кундаса, А. Е. Океанова, С. С. Позняка. – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2006. – Ч. 1. – С. 335–338.
10. Лисовская, Д. П. Радиология пищевых продуктов: учебное пособие / Д. П. Лисовская, Л. А. Галун, Г. С. Митюрин ; под общ. ред. Д. П. Лисовской. – Гомель: Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, 2003. – 296 с.

Поступила в редакцию 27.11.2007