

УДК 639.2/.3 : 502.175: [504.5 : 621.039]
DOI 10.25016/2541-7487-2019-0-1-106-114

**А.В. Трапезников, В.Н. Трапезникова,
А.В. Коржавин, В.Н. Николкин, А.П. Платаев**

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ РЫБНОЙ ПРОДУКЦИИ ИЗ ВОДОЕМОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук
(Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202)

Актуальность. В связи с развитием ядерной энергетики многие водные экосистемы оказались подвержены поступлению радиоактивных веществ. Рыба, как элемент биоты, способна накапливать радионуклиды. Вместе с тем, рыба является традиционным продуктом питания. Контроль уровня накопления техногенных радионуклидов в ихтиофауне является важным звеном в обеспечении безопасности человека.

Цель – проанализировать многолетние данные по содержанию долгоживущих техногенных радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в ихтиофауне Обь-Иртышской речной системы за период 2004–2016 гг. и Белоярского водохранилища за период с 1977 по 2018 г.

Методология. Выполнена оценка рыбы, как пищевого продукта, по двум критериям: а) допустимые уровни удельной активности радионуклидов (СанПиН 2.3.2.1078–01); б) с использованием показателя соответствия В и неопределенности его определения ДВ (ГОСТ 32161–2013 и ГОСТ 32163–2013).

Результаты и их анализ. Рыба всех видов, обитающая в р. Тече, непригодна для использования в пищу по критериям СанПиНа 2.3.2.1078–01, ГОСТа 32161–2013 и ГОСТа 32163–2013. Рыба Обь-Иртышской речной системы, ареал обитания которой находится за пределами р. Течи, отвечает требованиям, предъявляемым к рыбной продукции. В период с 1977 по 1989 г. на Белоярском водохранилище были возможны случаи накопления в рыбе техногенных радионуклидов в количествах, превышающих санитарно-гигиенические нормативы. В настоящее время рыба Белоярского водохранилища полностью соответствует санитарно-гигиеническим требованиям по радиационному фактору и безопасна при употреблении в пищу.

Заключение. В водоемах, подверженных воздействию предприятий атомной энергетики, необходимо осуществлять постоянный контроль содержания в рыбе долгоживущих техногенных радионуклидов и оценку их количества согласно требованиям СанПиНа 2.3.2.1078–01 и с использованием показателя соответствия В и неопределенности его определения ДВ.

Ключевые слова: радиоэкология, чрезвычайная ситуация, долгоживущие радионуклиды, ихтиофауна, радиационная безопасность, Белоярская АЭС, Обь-Иртышская речная система.

В связи с развитием предприятий ядерного топливного цикла в Российской Федерации значительная часть водных экосистем оказались подверженными поступлению радиоактивных веществ. В 1949–1952 гг. вследствие отсутствия надлежащих технологических систем обращения с жидкими отходами радиохимического производства с производственного объединения «Маяк» было сброшено 100 ПБк (2,75 млн Ки) радиоактивных отходов в р. Течу, входящую в Обь-Иртышскую речную систему. Часть этой активности была аккумулярована в пойме и донных отложениях р. Течи,

другая – транзитом прошла дальше, поступив в гидрографическую систему рек Исеть–Тобол–Иртыш–Обь. В результате облучению подверглись 124 тыс. человек, проживавших в прибрежной зоне рек Течи и Исети в пределах Челябинской и Курганской областей [3, 4]. В пойме р. Течи в 18 км от плотины окончного водоема на площади 45 га, в так называемых Асановских болотах, депонировано 220 ТБк (6 тыс. Ки) ^{90}Sr и ^{137}Cs . Часть этой активности ежегодно вымывается с паводковыми водами в Обь-Иртышскую речную систему [8]. И вместе с тем, бассейну р. Оби принадлежит важ-

Трапезников Александр Викторович – д-р биол. наук, зав. отд. континентальной радиоэкологии, Ин-т экологии растений и животных Урал. отд-ния Рос. акад. наук (Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202), e-mail: vera_zar@mail.ru;

Трапезникова Вера Николаевна – канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Ин-т экологии растений и животных Урал. отд-ния Рос. акад. наук (Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202); e-mail: vera_zar@mail.ru;

✉ Коржавин Александр Васильевич – канд. ветеринар. наук, зам. зав. отд. континентальной радиоэкологии, Ин-т экологии растений и животных Урал. отд-ния Рос. акад. наук (Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202), e-mail: bfs_zar@mail.ru;

Николкин Виктор Николаевич – науч. сотр., Ин-т экологии растений и животных Урал. отд-ния Рос. акад. наук (Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202), e-mail: bfs_zar@mail.ru;

Платаев Анатолий Петрович – мл. науч. сотр., Ин-т экологии растений и животных Урал. отд-ния Рос. акад. наук (Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202), e-mail: ty1985@mail.ru

ное место в экономике России, ее водные ресурсы обеспечивают потребности населения и жизнедеятельности региона, используются для водоснабжения, судоходства, рыболовства и рекреации. В пределах территории Обского бассейна проживают 22 млн человек (15% от всего населения России). Среди рек России Обь занимает I место по площади водосбора, II место – по длине и III (после Енисея и Лены) – по водоносности. В водах Средней и Нижней Оби обитают 29 видов рыб, относящихся к 9 семействам. Промысловое значение имеют 9 видов. Главные из них: муксун, пелядь, чир, пыжьян, нельма, осетр, язь, щука, елец, плотва, окунь, налим, стерлядь. Река Обь служит для ценных сиговых рыб миграционным путем, а пойма р. Оби – местом нагула молоди всех видов сигов и пеляди, готовящейся к размножению [9].

Река Теча до настоящего времени остается самой загрязненной частью Обь-Иртышской речной системы, где запрещен вылов и употребление в пищу всех видов рыбы. На нижерасположенных участках речной системы, особенно на реках Иртыш и Обь, напротив, ведется промысловый лов рыбы в промышленных масштабах. Уклад жизни коренного населения севера неразрывно связан с рыболовством. Поэтому актуальность проблемы, связанной с разработкой надежных критериев обеспечения безопасности рыбной продукции, вполне очевидна.

Другим водным объектом, долгое время находящимся под влиянием предприятия атомной энергетики, является Белоярское водохранилище – водоем-охладитель Белоярской АЭС. 1-й энергоблок Белоярской АЭС с канальным водографитовым реактором на тепловых нейтронах АМБ-100 был введен в эксплуатацию в 1964 г., 2-й – АМБ-200 – в 1967 г. В 1980 г. был запущен 3-й энергоблок на быстрых нейтронах. Новый 4-й энергоблок Белоярской АЭС с реактором БН-800 был сдан в промышленную эксплуатацию 31 октября 2016 г. Первые два блока с водографитовыми канальными реакторами АМБ-100 и АМБ-200 функционировали в 1964–1981 гг. и 1967–1989 гг. и были остановлены в связи с выработкой ресурса. В качестве водоема-охладителя АЭС используется Белоярское водохранилище, которое было образовано в 1959–1963 гг. путем регулирования русла р. Пышмы в 75 км от ее истока. Протяженность водоема – примерно 20 км, ширина – до 3 км. Зеркало водохранилища имеет площадь 47 км². Белоярское водохранилище всегда являлось излюбленным

местом отдыха горожан и популярным местом любительской рыбалки. Кроме того, на водоеме функционирует рыбное хозяйство по выращиванию садкового карпа. Эксплуатация первых двух энергоблоков с водографитовыми канальными реакторами сопровождалась поступлением и накоплением во всех компонентах водоема-охладителя (включая ихтиофауну) техногенных радионуклидов ⁶⁰Co, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²³⁹, ²⁴⁰Pu и др. После вывода из эксплуатации первых двух энергоблоков ситуация существенно улучшилась. Объемная активность ⁶⁰Co в воде Теплового залива Белоярского водохранилища уменьшилась в 800 раз и более, а ¹³⁷Cs – более чем в 100 раз. В Промливновом канале содержание ⁶⁰Co в воде упало в 5600 раз, а объемная активность ¹³⁷Cs снизилась в 386 раз. Объемная активность ⁹⁰Sr в воде Теплового залива за рассматриваемый период уменьшилась в 5,7 раза [6]. На этом фоне большой научный и практический интерес представляет анализ изменения содержания техногенных радионуклидов в рыбе на разных этапах деятельности атомной станции.

Материалы и методы

Отбор проб ихтиофауны из Обь-Иртышского речного бассейна и водоема-охладителя Белоярской АЭС осуществляли в ходе выполнения многолетних радиоэкологических исследований. На реках Теча в Челябинской области, Иртыш и Обь в границах Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) работы проводили в период 2004–2012 гг. и р. Обь в районе г. Лабытнанги – в 2014–2016 гг., на Белоярском водохранилище – с 1977 по 2018 г. Участки отлова рыбы на реках Обь-Иртышского бассейна показаны на рис. 1, схема Белоярского водохранилища – на рис. 2.

Для исследований отобрали как хищные, так и мирные виды рыб (всеядные, бентофаги). Материал для исследований представлен следующими видами ихтиофауны:

- пыжьян – *Coregonus lavaretus pidschian*, возраст от 3 до 4 лет, питание: бентос;
- щокур (чир) – *Coregonus nasus* Pallas, возраст от 3 до 4 лет, питание: бентос, донные насекомые и моллюски;
- пелядь (сырок) – *Coregonus peled*, возраст от 2 до 3 лет, питание: зоопланктон;
- карась – *Carassius carassius* L., возраст от 2 до 3 лет, питание: бентос;
- пескарь – *Gobio gobio cynocephalus*; питание: бентос;
- лещ – *Abramis brama* L., питание: бентос;
- плотва – *Rutilus rutilus* L., питание: бентос;



– линь – *Tinca tinca* L., возраст от 5 до 7 лет, питание: всеядный, в зависимости от возраста (высшая растительность, моллюски, насекомые, мальки рыб);

– голавль – *Squalius cephalus*, питание: всеядный хищник, в рацион которого входят насекомые, черви, моллюски, раки, лягушки, икра и молодь рыб, упавшие в воду семена растений, плоды и ягоды;

– язь – *Leucis cusidus* L., возраст от 5 до 7 лет, питание очень разнообразно в зависимости от возраста (высшая растительность, моллюски, насекомые, мальки рыб);

– щука – *Esox lucius* L., возраст от 3 до 6 лет, питание: рыбацкий хищник, в рацион могут входить лягушки, мелкие млекопитающие и водоплавающая птица;

– налим – *Lota lota* L., возраст от 3 до 5 лет, всеядный хищник;

– окунь – *Perca fluviatilis* L., возраст от 2 до 3 лет, всеядный хищник;

– ерш – *Acerina cernua* L., возраст от 2 до 3 лет, всеядный хищник;

– судак – *Stizostedion lucioperca*, возраст от 3 до 5 лет, рыбацкий хищник;

– карп – *Cyprinus carpio carpio*, возраст от 2 до 3 лет, питание: всеядный, моллюски, рачки, черви, личинки насекомых, молодые побеги камыша.

Консервацию отобранных проб рыбы с удаленных участков рек проводили двумя способами: в экспедициях более раннего периода рыбу после удаления внутренностей засаливали (каждая проба в отдельной емкости), на более поздних этапах исследований – замораживали в морозильной камере до состояния глубокой заморозки. Для исследований отбирали, как правило, по три повторности каждого вида, масса каждой составляла около 3 кг.

В лабораторных условиях предварительную подготовку проб рыбы проводили согласно требованиям ГОСТа 32161–2013 [1], ГОСТа 32163–2013 [2] с использованием методов термического концентрирования. Для этого тушки рыб размораживали, подсушивали и подвергали озоленю в муфельной печи при температуре 450 °С до состояния однородного мелкодисперсного порошка. Взвешивание исследуемых образцов осуществляли при комнатной температуре до и после озоления. Содержание радионуклидов, определенное для озоленных проб, во всех случаях пересчитывали на сырую массу исследуемой рыбы.

Содержание ^{137}Cs в подготовленных пробах измеряли по гамма-линии 661,2 кэВ на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектро-

метре DSPTC-jr («Ortec», США) с коаксиальной детекторной системой на основе высокочистого германия (HPGe) с эффективностью 40 %, при нижнем пределе обнаружения 0,15 Бк/кг и ошибке измерения не более 10 %.

Определение ^{90}Sr проводили после радиохимической обработки с выделением осадка оксалата стронция, его высушивания, прокаливания, взвешивания и измерения. Методика определения ^{90}Sr основана на выщелачивании радионуклидов 6-нормальной соляной кислотой, выделении ^{90}Sr в форме оксалатов, радиометрического измерения полученных препаратов. Измерение β -активности проводилось на малофоновой установке УМФ-2000 с нижним пределом обнаружения 0,5 Бк/кг, статистической ошибкой измерения не более 10 %.

Достоверность результатов достигали параллельным исследованием всех образцов отобранного материала в трех повторностях, а также представительно большой массой проб, набираемой из отдельных экземпляров одного вида. Статистическая обработка результатов заключалась в определении среднеарифметического значения и стандартного отклонения среднего арифметического. Оценку значимости различий в статистических выборках проводили с применением t -теста Уэлша.

Результаты и их анализ

Средние величины удельной активности радионуклидов и их стандартные отклонения по всем видам, а также отдельно для мирных и хищных видов рыб Обь-Иртышской речной системы представлены в табл. 1.

Средние по створу показатели удельных активностей радионуклидов (см. табл. 1) в ихтиофауне р. Течи, рассчитанные по 11 видам рыб, оказались самыми высокими (1379,1 Бк/кг по ^{90}Sr и 41,9 Бк/кг по ^{137}Cs). Для хищных рыб содержание радионуклидов в среднем составило 2023 Бк/кг по ^{90}Sr и 98,4 Бк/кг по ^{137}Cs , для мирных рыб – 1137,8 и 24,9 Бк/кг соответственно. На других участках рек Оби и Иртыша средние показатели удельной активности радионуклидов в рыбе были существенно ниже и находились в пределах от 6,0 до 8,1 Бк/кг по ^{90}Sr (среднее 6,8 Бк/кг) и от 0,6 до 1,9 Бк/кг по ^{137}Cs (среднее 1,3 Бк/кг).

Содержание техногенных радионуклидов в рыбе Белоярского водохранилища представлено в табл. 2. Весь многолетний период наблюдения за ихтиофауной Белоярского водохранилища условно разбит на 4 этапа, связанные с деятельностью атомной станции. 1-й этап с 1977 по 1989 г. совпадает с работой

Таблица 1

Средние значения величин удельной активности радионуклидов по рыбам рек Теча, Иртыш и Обь (Бк/кг сырой массы)

Река / створ	Вид рыб, ^{90}Sr , Бк/кг			Вид рыб, ^{137}Cs , Бк/кг		
	все	хищные	мирные	все	хищные	мирные
Теча / Муслюмово	1379,1 ± 882,5 n = 11	2023,0 ± 509,2 n = 3	1137,8 ± 710,6 n = 8	41,9 ± 36,1 n = 11	98,4 ± 54,3 n = 3	24,9 ± 17,2 n = 8
Иртыш / Демьянское	6,0 ± 2,0 n = 7	5,2 ± 2,3 n = 3	6,7 ± 1,4 n = 4	0,9 ± 0,3 n = 7	1,0 ± 0,2 n = 3	0,9 ± 0,3 n = 4
Иртыш / Ханты-Мансийск	8,1 ± 4,5 n = 9	7,3 ± 5,9 n = 4	9,5 ± 3,1 n = 5	1,5 ± 0,8 n = 9	1,8 ± 0,2 n = 4	1,3 ± 1,0 n = 5
Обь / Ханты-Мансийск	6,0 ± 1,9 n = 7	7,6 ± 0,9 n = 2	4,9 ± 1,7 n = 5	0,6 ± 0,3 n = 7	0,8 ± 0,02 n = 2	0,4 ± 0,1 n = 5
Обь / Лабитнанги	6,9 ± 4,7 n = 9	5,6 ± 3,5 N = 3	7,5 ± 5,1 n = 6	1,9 ± 0,8 n = 9	3,2 ± 0,2 n = 3	1,5 ± 0,5 n = 6
Обь / Нижневартовск	7,0 ± 3,7 n = 7	2,9 ± 0,3 n = 2	8,6 ± 3,2 n = 5	1,9 ± 1,6 n = 7	3,7 ± 1,2 n = 2	0,9 ± 0,7 n = 5
Среднее по всем створам (кроме р. Течи)	6,8 ± 0,8	6,1 ± 1,9	7,2 ± 1,2	1,3 ± 0,5	1,7 ± 1,1	1,4 ± 1,0

n – число видов в статистической выборке рыб в створе.

Таблица 2

Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в пробах рыбы Белоярского водохранилища (Бк/кг сырой массы)

Вид рыбы	Период работы блоков АЭС, ^{90}Sr , Бк/кг				Период работы блоков АЭС, ^{137}Cs , Бк/кг			
	1–3-го (1977–1989 гг.)	3-го (2011 г.)	перед пуском 4-го (2014 г.)	после пуска 4-го (2018 г.)	1–3-го (1977–1989 гг.)	3-го (2011 г.)	перед пуском 4-го (2014 г.)	после пуска 4-го (2018 г.)
Плотва	4,5 ± 0,1	3,5 ± 0,2	3,3 ± 0,6	3,0 ± 0,2	155,4 ± 12,0	2,4 ± 0,2	3,5 ± 0,3	1,4 ± 0,1
Лещ	3,7 ± 0,3	1,7 ± 0,2	4,3 ± 0,4	2,2 ± 0,1	50 ± 3	3,2 ± 0,2	1,9 ± 0,1	1,5 ± 0,1
Карп	3,3 ± 0,3	2,9 ± 0,1	–	–	32 ± 4	13,6 ± 1,9	–	–
Окунь	–	3,2 ± 0,2	1,9 ± 0,3	3,1 ± 0,2	–	3,4 ± 0,1	4,7 ± 0,4	2,4 ± 0,1
Щука	2,1 ± 0,2	–	–	–	133 ± 29	–	–	–

на Белоярской АЭС первых двух энергоблоков и пуском в эксплуатацию 3-го энергоблока на быстрых нейтронах БН-600. Он характеризуется максимальной радиационной нагрузкой на водоем-охладитель и более высоким содержанием радионуклидов в ихтиофауне водоема. Исследования 2011 г. совпадают с периодом функционирования одного 3-го энергоблока БН-600 и выводом из эксплуатации первых двух блоков. Важным звеном в работе атомной станции за последние годы стал пуск 4-го энергоблока БН-800. Результаты исследования 2014 г. соответствуют предположительно исследованиям водоема-охладителя (съемка нулевого уровня). Результаты 2018 г. характеризуют состояние ихтиофауны водоема после пуска 4-го энергоблока БН-800.

В соответствии с действующими в России гигиеническими требованиями (СанПиН 2.3.2.1078–01) [5] допустимые уровни удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs в рыбе, используемой для пищевых целей, ограничиваются значениями в 100 и 130 Бк/кг соответственно. Приведенные выше данные свидетельствуют, что для всех видов рыб, обитающих в р. Тече, как хищных, так и мирных, указанные норма-

тивные уровни значительно превышены, и эта рыба непригодна для потребления в пищу. В ихтиофауне, ареал обитания которой находится за пределами р. Течи, превышение нормативных показателей по радионуклидам не зарегистрировано.

В соответствии с требованиями ГОСТа 32161–2013 и ГОСТа 32163–2013 проведено определение соответствия исследованных видов рыб, как пищевых продуктов, критериям радиационной безопасности с использованием показателя соответствия В и неопределенности его определения ΔВ. Значения указанных параметров рассчитываются по результатам измерений удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs , используя следующие формулы:

$$B = \left(\frac{Q}{H} \right)_{^{90}\text{Sr}} + \left(\frac{Q}{H} \right)_{^{137}\text{Cs}}, \quad (1)$$

$$\Delta B = \sqrt{\left(\frac{\Delta Q}{H} \right)_{^{90}\text{Sr}}^2 + \left(\frac{\Delta Q}{H} \right)_{^{137}\text{Cs}}^2}, \quad (2)$$

где Q – измеренное значение удельной активности радионуклида в пробе;

H – допустимый уровень удельной активности радионуклида в испытуемом продукте (для ^{90}Sr – 100 Бк/кг, для ^{137}Cs – 130 Бк/кг);

ΔQ – абсолютная расширенная (при коэффициенте охвата $k = 2$) неопределенность измерения удельной активности.

Рыба в качестве пищевого продукта признается безусловно соответствующей критерию радиационной безопасности, если $(B + \Delta B) \leq 1$. Результаты определения показателя соответствия критерию радиационной безопасности некоторых наиболее распространенных видов рыб Обь-Иртышской речной системы приведены в табл. 3.

Показатели соответствия критерию радиационной безопасности $(B + \Delta B)$ превышают единичное значение только для ихтиофауны р. Течи, свидетельствуя о пищевой непригодности рыб этой реки (см. табл. 3). Для всех остальных рыб на всем протяжении рек Иртыша и Оби этот показатель оставался значительно ниже единицы, подтверждая возможность использования всех видов промысловых рыб в качестве пищевого продукта.

На Белоярском водохранилище содержание радионуклидов в ихтиофауне существенно различалось как по времени исследования, так и по месту обитания рыбы. В верховьях водоема рыба в радиационном плане значительно чище, и даже в период работы первых двух

энергоблоков уровни содержания ^{137}Cs никогда не превышали санитарные нормы. Более высокое накопление ^{137}Cs было отмечено в пробах рыбы, выловленной в районе Теплового залива. Так, в 1977 г. в районе Теплового залива была отловлена щука с содержанием ^{137}Cs – 133 Бк/кг, а в 1980 г. в пробах плотвы установлено содержание ^{137}Cs , равное 155,4 Бк/кг. Оба показателя превышают гигиенические требования, установленные СанПиНом 2.3.2.1078–01. Оценка данных результатов с использованием критерия радиационной безопасности, представленная в табл. 4, показала, что критерий $(B + \Delta B)$ в пробах плотвы и щуки превысил значение единицы, что также свидетельствует о непригодности данной рыбы в качестве продукта питания для человека. В указанный период времени случаи накопления в рыбе повышенного количества ^{137}Cs были неединичны и представлены в более ранних работах. Так, в работе [7] показано, что уровень в 130 Бк/кг по ^{137}Cs был достигнут в плотве, отловленной в Теплом заливе в 1977 г. и 1980 г. При этом следует отметить относительно стабильное содержание ^{90}Sr в рыбе на всех этапах функционирования атомной станции. Это объясняется тем, что ^{90}Sr атомной станцией в водоем-охладитель практически не сбрасывается, а его присутствие в водохранилище в основном обусловлено глобальными выпадениями.

Таблица 3

Определение показателя соответствия критерию радиационной безопасности некоторых промысловых видов рыб Обь-Иртышской речной системы

Река / створ	Вид рыбы	$Q_{^{137}\text{Cs}}$, Бк/кг	$Q_{^{90}\text{Sr}}$, Бк/кг	$\Delta Q_{^{137}\text{Cs}}$	$\Delta Q_{^{90}\text{Sr}}$	B	ΔB	$B + \Delta B$
Иртыш / Ханты-Мансийск	Язь	0,46	12,36	0,26	11,79	0,13	0,24	0,37 < 1
	Лещ	1,44	12,66	0,48	10,63	0,14	0,21	0,35 < 1
	Налим	0,41	4,55	0,10	2,50	0,05	0,05	0,10 < 1
	Плотва	1,14	5,33	1,34	2,50	0,06	0,05	0,11 < 1
	Карась	3,10	7,82	2,38	4,80	0,10	0,10	0,20 < 1
	Щука	1,94	2,00	1,17	0,91	0,03	0,03	0,06 < 1
	Окунь	1,74	15,48	1,80	18,19	0,17	0,36	0,53 < 1
	Ерш	2,06	4,40	0,87	2,99	0,06	0,06	0,12 < 1
Иртыш / Демьянское	Язь	0,70	5,80	0,30	2,60	0,06	0,05	0,11 < 1
	Карась	1,20	8,40	0,50	3,80	0,09	0,08	0,17 < 1
	Лещ	0,40	5,00	0,20	2,70	0,06	0,05	0,11 < 1
	Плотва	1,10	7,60	0,50	1,70	0,08	0,03	0,11 < 1
	Щука	1,20	6,50	0,20	2,20	0,07	0,04	0,11 < 1
Обь / Нижневартовск	Окунь	0,90	7,10	0,30	2,20	0,08	0,04	0,12 < 1
	Язь	0,48	5,99	0,14	2,14	0,07	0,04	0,11 < 1
	Карась	2,15	11,67	3,10	11,09	0,13	0,23	0,36 < 1
	Лещ	0,43	4,35	0,30	2,00	0,05	0,04	0,09 < 1
	Плотва	0,66	12,60	0,32	8,07	0,13	0,16	0,29 < 1
Теча / Муслумово	Карась	91,5	2302,0	23,9	1054,0	23,7	21,1	44,8 > 1
	Линь	45,8	2374,0	12,6	1525,0	24,1	30,5	54,6 > 1
	Лещ	25,8	2097,0	20,9	1533,0	21,2	30,7	51,9 > 1

Таким образом, на ранних этапах работы атомной станции были возможны случаи накопления в рыбе водоема-охладителя техногенных радионуклидов в количествах, превышающих санитарно-гигиенические нормативы. В последующие годы радиационное состояние водоема существенно улучшилось, что также повлияло на снижение уровня содержания радионуклидов в рыбе. Это стало возможно под влиянием ряда факторов. Во-первых, вывод из эксплуатации 1-го и 2-го блоков Белоярской АЭС. Во-вторых, как результат работы в большом временном диапазоне механизмов самоочищения водной экосистемы от радионуклидов за счет распада радиоактивных веществ, а также механизмов перераспределения радионуклидов из воды в другие компоненты, прежде всего – в донные отложения. Результаты исследования 2011 г. подтверждают значительное ($p \leq 0,05$) снижение содержания ^{137}Cs во всех исследованных видах рыбы.

После 2011 г. случаев превышения содержания в рыбе радионуклидов также больше не наблюдалось. Пуск в эксплуатацию 4-го энергоблока БН-800 не оказал отрицательного влияния на накопление техногенных радионуклидов в рыбе водоема. Во всех исследованных видах рыбы содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs было ниже требований СанПиНа 2.3.2.1078–01, а критерий ($B + \Delta B$) – значительно ниже единицы (см. табл. 4). В настоящее время рыба Белоярского водохранилища полностью соответствует санитарно-гигиеническим требованиям по радиационному фактору и безопасна при употреблении в пищу.

Заключение

1. Представлены среднестатистические величины содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в ихтиофауне Обь-Иртышской речной системы, зарегистрированные в период 2004–2016 гг. в рыбе рек Теча, Иртыш и Обь и в период с 1977 по 2018 г. в рыбе Белоярского водохранилища. Дана оценка пригодности использования рыбы в качестве пищевого продукта.

2. Показано, что максимальные удельные активности ^{90}Sr и ^{137}Cs , превышающие установленные предельно допустимые уровни, зарегистрированы в ихтиофауне р. Течи, где по 11 видам рыб средние за период исследований величины составили $(1314,8 \pm 882,5)$ и $(41,9 \pm 31,6)$ Бк/кг соответственно. В реках Иртыш и Обь наблюдается более низкое и достаточно стабильное содержание радионуклидов в рыбе со слабо выраженными изменениями.

3. Проверка на соответствие критериям радиационной безопасности с использованием показателя соответствия B и его неопределенности ΔB , оцениваемых как расчетные характеристики в соответствии с требованиями ГОСТа 32161–2013 и ГОСТа 32163–2013, показала непригодность использования в пищевых целях по радиационному фактору всех исследованных видов рыб из р. Течи. Рыба из всех остальных исследованных створов Обь-Иртышской речной системы соответствует критериям радиационной безопасности и может быть использована в пищу.

4. На ранних этапах работы Белоярской атомной станции были случаи накопления в рыбе водоема-охладителя техногенных радионуклидов в количествах, превышаю-

Таблица 4

Определение показателя соответствия критерию радиационной безопасности рыбы
Белоярского водохранилища

Показатели	Вид рыбы	$Q_{^{137}\text{Cs}}$, Бк/кг	$Q_{^{90}\text{Sr}}$, Бк/кг	$\Delta Q_{^{137}\text{Cs}}$	$\Delta Q_{^{90}\text{Sr}}$	B	ΔB	$B + \Delta B$
В период работы 1–3-го блоков (1977–1989 гг.)	Плотва	155,4	4,5	12	0,1	1,24	0,18	1,43
	Лещ	50	3,7	3	0,3	0,42	0,05	0,47
	Карп	32	3,3	4	0,3	0,28	0,06	0,34
	Щука	133	2,1	29	0,2	1,04	0,45	1,49
Период работы 3-го блока (2011 г.)	Плотва	2,4	3,5	0,2	0,2	0,05	0,01	0,06
	Лещ	3,2	1,7	0,2	0,2	0,04	0,01	0,05
	Карп	13,6	2,9	1,9	0,1	0,13	0,03	0,16
	Окунь	3,4	3,2	0,1	0,2	0,06	0,00	0,06
Перед пуском 4-го блока (2014 г.)	Плотва	3,5	3,3	0,3	0,6	0,1	0,0	0,1
	Лещ	1,9	4,3	0,1	0,4	0,1	0,0	0,1
	Окунь	4,7	1,9	0,4	0,3	0,06	0,01	0,06
После пуска 4-го блока (2018 г.)	Плотва	1,4	3,0	0,1	0,2	0,04	0,00	0,05
	Лещ	1,5	2,2	0,1	0,1	0,03	0,00	0,04
	Окунь	2,4	3,1	0,1	0,2	0,05	0,00	0,05

щих санитарно-гигиенические нормативы. В 1977 г. в районе Теплого залива была отловлена щука с содержанием ^{137}Cs 133 Бк/кг, а в 1980 г. в пробах плотвы установлено содержание ^{137}Cs , равное 155,4 Бк/кг. Оба показателя превышают гигиенические требования, установленные СанПиНом 2.3.2.1078–01, а критерий ($B + \Delta B$) был выше единицы.

5. В настоящее время рыба Белоярского водохранилища полностью соответствует санитарно-гигиеническим требованиям по радиационному фактору и безопасна для употребления в пищу. Оценка рыбы с использованием критерия радиационной безопасности ($B + \Delta B$) показывает, что во всех видах рыбы, выловленной после 2011 г. на разных участках водоема-охладителя, данный показатель был значительно ниже единицы, что свидетельствует о безопасности рыбы, как пищевого продукта.

Литература

1. ГОСТ 32161–2013. Продукты пищевые. Метод определения содержания цезия ^{137}Cs . М. : Стандартинформ, 2013. 6 с.
2. ГОСТ 32163–2013. Продукты пищевые. Метод определения содержания стронция ^{90}Sr . М. : Стандартинформ, 2013. 12 с.
3. Заключение комиссии по оценке экологической ситуации в районе производственного объ-

единения «Маяк», организованной по решению Президиума АН СССР № 1140–501 // Радиобиология. 1991. Т. 31, вып. 1. С. 436–452.

4. Заключение комиссии под председательством вице-президента АН СССР О.М. Нефедова, организованной распоряжением Президента СССР № РП-1283 от 3 сентября 1991 г., по экологической и радиэкологической обстановке в Челябинской области. М., 1991. 157 с.

5. СанПиН 2.3.2.1078–01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.3.2.1078–01. М., 2001.

6. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Коржавин А.В. Динамика радиэкологического состояния пресноводных экосистем, подверженных многолетнему воздействию атомной электростанции в границах наблюдаемой зоны // Радиационная биология. Радиэкология. 2015. Т. 55, № 3. С. 302–313.

7. Трапезникова В.Н., Трапезников А.В., Куликов Н.В. Накопление ^{137}Cs в промысловых рыбах водоема-охладителя Белоярской АЭС // Экология. 1984. № 6. С. 86–88.

8. Чуканов В.Н., Волобуев, П.В., Дрожко Е.Г. [и др.]. Генезис и концепция Государственной программы Российской Федерации по радиационной реабилитации Уральского региона. Екатеринбург, 1993. 66 с.

9. Экология Ханты-Мансийского автономного округа / под ред. В.В. Плотникова. Тюмень : Софт-Дизайн, 1997. 288 с.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи. Организация экспедиций и отбор проб ихтиофауны из Обь-Иртышской речной системы выполнены при финансовой поддержке проекта Комплексной программы УрО РАН № 18-9-4-9. Отбор проб материала из водоема-охладителя, пробоподготовка и измерение концентраций ^{137}Cs и ^{90}Sr в рыбе, а также интерпретация результатов выполнены в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН.

Поступила 19.02.2019 г.

Для цитирования. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Коржавин А.В., Николкин В.Н., Платаев А.П. Основные принципы оценки безопасности рыбной продукции из водоемов, подверженных воздействию предприятий ядерного топливного цикла // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. 2019. № 1. С. 106–114. DOI 10.25016/2541-7487-2019-0-1-106-114

Basic principles for assessing the safety of fish products from the ponds exposed to the influence of nuclear fuel cycle enterprises

Trapeznikov A.V., Trapeznikova V.N., Korzhavin A.V., Nikolkin V.N., Plataev A.P.

Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science
Ural branch (8th March St., 202, Ekaterinburg, 620144, Russia)

Aleksandr Viktorovich Trapeznikov – Dr. Biol. Sci., Head of the Continental radioecology Department, Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch (8th March Str., 202, Ekaterinburg, 620144, Russia), e-mail: vera_zar@mail.ru;

Vera Nikolaevna Trapeznikova – PhD. Biol. Sci., Senior Research Associate, Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch (8th March Str., 202, Ekaterinburg, 620144, Russia), e-mail: vera_zar@mail.ru;

✉ Aleksandr Vasil'evich Korzhavin – PhD. Vet. Sci., Deputy Head of the Continental radioecology Department, Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch (8th March Str., 202, Ekaterinburg, 620144, Russia), e-mail: bfs_zar@mail.ru;

Viktor Nikolaevich Nikolkin – Research Associate, Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch (8th March Str., 202, Ekaterinburg, 620144, Russia), e-mail: bfs_zar@mail.ru

Anatolij Petrovich Plataev – Junior Research Associate, Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch (8th March Str., 202, Ekaterinburg, 620144, Russia), e-mail: ty1985@mail.ru

Abstract

Relevance. In connection with the development of nuclear energy, many aquatic ecosystems have been exposed to radioactive substances. Fish, as an element of biota, is capable to accumulate radionuclides. However, fish is a traditional food. The control of the technogenic radionuclides accumulation level in the ichthyofauna is an important link in ensuring human security.

Intention. To analyze the long-term data on the content of long-lived technogenic radionuclides ^{90}Sr and ^{137}Cs in the ichthyofauna of the Ob-Irtysh river system for the period from 2004 to 2016 and Beloyarsky pond for the period from 1977 to 2018.

Methodology. Fish as a food product was assessed according to two criteria: a) permissible levels of specific activity of radionuclides (SanPiN 2.3.2.1078-01); b) using the indicator of conformity B and the uncertainty of its definition ΔB (GOST 32161-2013 and GOST 32163-2013).

Results and Discussion. Fish of all species that live in the river Tetcha, is not suitable for food use according to the criteria of SanPiN 2.3.2.1078-01, GOST 32161-2013 and GOST 32163-2013. The fish of the Ob-Irtysh river system, the habitat of which is located outside the Tetcha, meets the requirements for fish products. In the period from 1977 to 1989 in the Beloyarsk pond the accumulations of technogenic radionuclides in fish in quantities exceeding sanitary and hygienic standards were possible. Currently, the fish of the Beloyarsky pond fully complies with the sanitary and hygienic requirements for the radiation factor and is safe for human consumption.

Conclusion. In the ponds exposed to the atomic energy enterprises, it is necessary to continuously monitor the content of long-lived technogenic radionuclides in fish and assess their amount in accordance with the requirements of SanPiN 2.3.2.1078-01 and using the conformity indicator B and the uncertainty of its determination ΔB .

Keywords: radioecology, emergency situation, long-lived radionuclides, ichthyofauna, radiation safety

References

1. GOST 32161-2013. Produkty pishchevye. Metod opredeleniya sodержaniya tseziya Cs-137 [Foodstuffs. Method for cesium Cs-137 content determination]. Moskva. 2013. 6 p. (In Russ.)
2. GOST 32163-2013. Produkty pishchevye. Metod opredeleniya sodержaniya strontsiya Sr-90 [Foodstuffs. Method for strontium Sr-90 content determination]. Moskva. 2013. 12 p. (In Russ.)
3. Zaklyuchenie komissii po otsenke ekologicheskoi situatsii v raione proizvodstvennogo ob"edineniya «Mayak», organizovannoi po resheniyu Prezidiuma AN SSSR № 1140-501 [The Conclusion of the Commission for the Assessment of the Environmental Situation in the Area of the Mayak Production Association, Organized by Decision of the Presidium of the USSR Academy of Sciences No. 1140-501]. *Radiobiologiya* [Radiobiology]. 1991. Vol. 31, Issue 1. Pp. 436–452. (In Russ.)
4. Zaklyuchenie komissii pod predsedatel'stvom vitse-prezidenta AN SSSR O.M. Nefedova, organizovannoi rasporyazheniem Prezidenta SSSR № RP-1283 ot 3 sentyabrya 1991 g., po ekologicheskoi i radioekologicheskoi obstanovke v Chelyabinskoi oblasti [The Conclusion of the Commission for the Assessment of the Environmental Situation in the Area of the Mayak Production Association, Organized by Decision of the Presidium of the USSR Academy of Sciences N 1140-501]. Moskva. 1991. 157 p. (In Russ.)
5. SanPiN 2.3.2.1078-01. Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoi tsennosti pishchevykh produktov. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normy SanPiN 2.3.2.1078-01 [SanPiN 2.3.2.1078-01. Hygienic Requirements for Food Safety and Nutritional Value of Food Products. State Sanitary Rules and Regulations]. Moskva. 2001. 269 p. (In Russ.)
6. Trapeznikov A.V., Trapeznikova V.N., Korzhavin A.V. Dinamika radioekologicheskogo sostoyaniya presnovodnykh ekosistem, podverzhennykh mnogoletnemu vozdeistviyu atomnoi elektrostantsii v granitsakh nablyudaemoi zony [The Dynamics of the Radioecological State of Freshwater Ecosystems Exposed to the Long-Term Effects of a Nuclear Power Plant within the Boundaries of the Observed Zone]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation Biology. Radioecology]. 2015. Vol. 55, N 3. Pp. 302–313. (In Russ.)
7. Trapeznikova V.N., Trapeznikov A.V., Kulikov N.V. Nakoplenie ^{137}Cs v promyslovnykh rybakh vodoema-okhladitelya Beloyarskoi AES [Accumulation of ^{137}Cs in Commercial Fish in the Cooling Pond of the Beloyarskaya NPP]. *Ekologiya* [Ecology]. 1984. N 6. Pp. 86–88. (In Russ.)
8. Chukanov V.N., Volobuev, P.V., Drozhko E.G. [et al.]. Genezis i kontseptsiya Gosudarstvennoi programmy Rossiiskoi Federatsii po radiatsionnoi reabilitatsii Ural'skogo regiona [The Genesis and Concept of the State Program of the Russian Federation for the Radiation Rehabilitation of the Ural Region]. Ekaterinburg. 1993. 66 p. (In Russ.)
9. Ekologiya Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga [Ecology of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug]. Ed. V.V. Plotnikov. Tyumen'. 1997. 288 p. (In Russ.)

Received 19.02.2019

For citing: Trapeznikov A.V., Trapeznikova V.N., Korzhavin A.V., Nikolkin V.N., Plataev A.P. Osnovnye printsipy otsenki bezopasnosti rybnoi produktsii iz vodoemov, podverzhennykh vozdeistviyu predpriyatii yadernogo toplivnogo tsikla. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2019. N 1. Pp. 106–114. (In Russ.)

Trapeznikov A.V., Trapeznikova V.N., Korzhavin A.V., Nikolkin V.N., Plataev A.P. Basic principles for assessing the safety of fish products from the ponds exposed to the influence of nuclear fuel cycle enterprises. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2019. N 1. Pp. 106–114. DOI 10.25016/2541-7487-2019-0-1-106-114