

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС ПЕРЕД ВВОДОМ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ 4-ГО ЭНЕРГБЛОКА БН-800

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

Представлены результаты исследования воды, донных отложений, водной растительности, рыбы Белоярского водохранилища – водоема-охладителя АЭС на содержание техногенных радионуклидов: ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239, 240}\text{Pu}$ перед вводом в эксплуатацию 4-го энергоблока БН-800 (съемка «нулевого уровня»). Показано, что ранее имели место поступления в водоем ^{137}Cs и, в небольших количествах, $^{239, 240}\text{Pu}$. Более высокое содержание ^{137}Cs было отмечено в донных отложениях Промливневого канала, Теплого залива и в районе Биофизической станции. При этом, объемная активность ^{137}Cs и $^{239, 240}\text{Pu}$ в воде Белоярского водохранилища была на три–четыре порядка величин ниже уровня вмешательства, предусмотренного НРБ – 99/2009. Представлены данные по содержанию ^{90}Sr и ^{137}Cs в двух видах водных растений и рассчитаны коэффициенты накопления для рдеста гребенчатого и роголистника темно-зеленого (2656 и 1381 для ^{137}Cs и 4706 и 2600 для ^{90}Sr соответственно). Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в трех видах рыбы (лещ, плотва, окунь) значительно ниже допустимых величин, предусмотренных СанПиН 2.3.2.1078–01.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, атомная электростанция, водоем-охладитель, радиобиология, техногенные радионуклиды, вода, донные отложения, водная растительность, рыба.

При проектировании и строительстве атомных электростанций, вводе новых энергоблоков особенно остро встают вопросы экологической безопасности. Это связано с тем, что в процессе эксплуатации предприятий ядерного топливного цикла произошли ряд техногенных катастроф, которые сопровождались бесконтрольным выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду и загрязнением обширных территорий. Здесь, прежде всего, следует отметить две крупные аварии, произошедшие на атомных электростанциях: в 1986 г. на Чернобыльской АЭС и в 2011 г. – на АЭС «Фукусима 1» в Японии. В Уральском регионе наиболее известны три значительных ядерных инцидента, произошедших на Производственном объединении «Маяк»: прямой сброс жидких радиоактивных отходов в период 1949–1951 гг. в реку Теча, общей активностью 10^{17} Бк. Аварийная ситуация 1957 г. – взрыв емкости хранилища радиоактивных отходов. Общая площадь загрязненной территории в границах $3,7 \text{ ГБк/км}^2$ ($0,1 \text{ Ки/км}^2$) по ^{90}Sr составила $23\,000 \text{ км}^2$, из

которых около 1000 км^2 – с плотностью загрязнения 74 ГБк/км^2 (2 Ки/км^2). Аварийная ситуация 1967 г. – ветровая эрозия с берегов озера Карачай. Площадь следа, ограниченно-го изолинией $3,7 \text{ ГБк/км}^2$ ($0,1 \text{ Ки/км}^2$) по ^{90}Sr , составляла 1800 км^2 [7].

Ввод в эксплуатацию 4-го энергоблока Белоярской АЭС (БАЭС) требует научного подхода к изучению воздействия атомной станции на природную среду и человека как при эксплуатации в штатном режиме, так и в случае нештатных ситуаций. Для оценки последствий любых аварийных ситуаций, связанных с поступлением радионуклидов в окружающую среду, необходимо знать исходное радиоэкологическое состояние природных экосистем. Данная работа посвящена изучению радиоэкологического состояния водоема-охладителя БАЭС перед пуском в эксплуатацию 4-го энергоблока (съемка «нулевого уровня»).

В качестве водоема-охладителя БАЭС используется Белоярское водохранилище, которое было образовано в 1959–1963 гг. путем зарегулирования русла реки Пышмы в 75 км

Трапезников Александр Викторович – д-р биол. наук, засл. эколог России, зав. отд. континентальной радиоэкологии Ин-та 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-та 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;

Трапезникова Вера Николаевна – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. Ин-та 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;

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

Таблица 1

Контрольные точки отбора проб воды, донных отложений и макрофитов

Место отбора проб	Предполагаемый источник поступления радионуклидов в водоем	Географические координаты контрольных точек отбора проб
Район ЛЭП	Сбросной канал 4-го энергоблока БН-800	N 56°87,233'; E 61°27,847'
Район Биофизической станции	Обводной канал	N 56°84,045'; E 61°31,062'
Теплый залив	1-, 2-й и 3-й энергоблоки БАЭС	N 56°82,493'; E 61°32,774'
Промливневый канал	Промплощадки БАЭС и Института реакторных материалов	N 56°83,881'; E 61°30,895'
р. Пышма ниже плотины	Интегральный сброс из водохранилища	N 56°78,833'; E 61°30,865'

от ее истока. Протяженность водоема примерно 20 км, ширина – до 3 км. Зеркало водоема имеет площадь 47 км². При штатном режиме работы радиационное воздействие АЭС на человека и окружающую среду определяется газоаэрозольными выбросами и жидкими сбросами, содержащими радиоактивные вещества, которые поступают в водные экосистемы. В случае БАЭС таковыми являются водоем-охладитель – Белоярское водохранилище и Ольховская болотно-речная экосистема. Коммуникации жидких стоков расположены следующим образом. Дебалансные промышленные воды станции после прохождения через систему водоочистки поступают в Ольховское болото, расположенное в 5 км к юго-востоку от АЭС. Частичный сброс слаборадиоактивных жидких стоков в водоем-охладитель осуществляется через Промливневый канал. Кроме указанного канала, на расстоянии около 0,5 км от него, ниже по течению, расположен водозаборный канал, через который производится забор воды из водоема для систем охлаждения АЭС. Еще ниже (2–2,5 км) расположен водосбросный (теплый) канал, с помощью которого вода после прохождения через системы охлаждения сбрасывается в водоем. В зоне подогрева (Теплый залив) температура воды в летний период в среднем на 6–7 °С выше, чем за ее пределами. В 0,5 км от БАЭС, в сторону верховья водохранилища, расположен еще один канал (Обводной), общей протяженностью около 1,5–2 км. Он берет свое начало около водоочистных сооружений, в него сливаются и воды из котельной БАЭС. Канал впадает в залив водоема-охладителя за Биофизической станцией (Голубой залив).

Как и любая АЭС, Белоярская АЭС является потенциальным источником загрязнения окружающей среды. В связи с вводом в эксплуатацию 4-го энергоблока и увеличением мощности атомной станции есть вероятность увеличения радиационной нагрузки на водоем-охладитель. Решение проблемы сохране-

ния природных ресурсов Белоярского водохранилища сводится в основном к разработке системы ведения радиационного мониторинга данного водоема, предусматривающего на начальном этапе проведение радиоэкологического обследования с целью определения уровней содержания долгоживущих радионуклидов в основных природных компонентах водоема-охладителя.

Материал и методы

Координаты точек отбора проб определяли при помощи спутниковой навигационной системы GPS (табл. 1). Пробы воды для анализов на содержание радионуклидов отбирали в алюминиевые фляги и сразу подкисляли небольшим количеством азотной кислоты, предотвращая сорбцию радионуклидов на стенках сосудов. Для получения объективных результатов все пробы воды отбирали в двух емкостях по 120 л в каждой. Подготовка проб воды заключалась в выпаривании воды до сухого остатка. Сухой остаток помещали в муфельную печь при $t = 450\text{ °C}$ на 8 ч. После остывания остаток растирали пестиком до мелкодисперсного порошка.

Образцы донных отложений отбирали в соответствии с ГОСТом 17.1.5.01–80 [3] с помощью специального пробоотборника с площадью сечения 38,5 см² до глубины 30 см. Полученный керн разделяли на участки по 5 см. Каждую пробу маркировали, упаковывали в отдельный полиэтиленовый пакет. Пробы донных отложений высушивали при комнатной температуре, растирали в ступке до мелкодисперсного состояния, просеивали через сито с диаметром ячеек 1 мм, озоляли при $t = 450\text{ °C}$ в течение 6 ч для удаления органической составляющей, взвешивали и загружали в измерительные кюветы.

Макрофиты отбирали по 3–5 кг сырой массы на повторность. Растения отмывали от загрязнений, взвешивали и высушивали до воздушно-сухого состояния, после чего озоляли в муфельной печи при $t = 450\text{ °C}$.

Рыбу отлавливали сетями. Масса одной пробы составлял 3 кг сырой массы. На одну повторность приходилось в среднем 30 особей плотвы, 4 леща и т. д. Тушки рыб (без внутренних органов) подсушивали и озоляли при $t = 450^\circ\text{C}$ в муфельной печи.

Для определения содержания ^{137}Cs в образцах природных сред использовали инструментальные методы. Измерения проводили на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектрометре фирмы «Ortec» (США) с коаксиальной детекторной системой на базе высокоочищенного германия (HPGe) с эффективностью 40 % при ошибке измерения не более 10 % и нижнем пределе обнаружения 1 Бк/кг.

Определение ^{90}Sr в образцах с низкой активностью проводили радиохимическим методом, основанном на выщелачивании химических элементов 6-нормальной соляной кислотой с последующим осаждением оксалатов щелочно-земельных элементов и выделением из раствора оксалатов ^{90}Sr в виде карбонатов. Содержание ^{90}Sr определяли по дочернему ^{90}Y . Измерение β -активности проводили на малофоновой установке УМФ-2000 с нижним пределом обнаружения 0,4 Бк/кг и статистической ошибкой измерения не более 10 %.

Для определения содержания изотопов плутония в пробах воды использовали модификацию методики, разработанную сотрудниками RISO National Laboratory (Дания) [8]. Определение изотопов плутония проводили на многоканальном альфа-спектрометре «Ortec» с поверхностно-барьерными детекторами, с программным обеспечением «Alpha Vision-32». Ошибка счета не превышала 10 %, а нижний предел определения составлял 0,01 Бк/кг.

Статистическая обработка результатов заключалась в определении среднеарифметического значения и стандартного отклонения среднего арифметического.

Результаты и их анализ

Содержание техногенных радионуклидов в пробах воды. Содержание ряда техногенных

радионуклидов в воде Белоярского водохранилища представлено в табл. 2.

Согласно НРБ 99/2009 [4], уровни вмешательства при содержании в воде отдельных радионуклидов составляют: ^{90}Sr – 4,90 Бк/кг, ^{137}Cs – 11,0 Бк/кг, $^{239, 240}\text{Pu}$ – 0,55 Бк/кг. Таким образом, содержание представленных в табл. 3 радионуклидов в воде Белоярского водохранилища значительно ниже уровня вмешательства. Объемная активность ^{137}Cs и $^{239, 240}\text{Pu}$ в воде на три–четыре порядка величин ниже уровня вмешательства, содержание ^{90}Sr ниже уровня вмешательства на два порядка величин.

Содержание техногенных радионуклидов в донных отложениях. На основании результатов многолетних натурных исследований, было показано [5], что максимальные запасы ^{90}Sr и ^{137}Cs в Белоярском водохранилище содержатся в грунтах водоема – от 92 % для ^{90}Sr до 98 % для ^{137}Cs . Далее в процентном соотношении следует вода: от 2 % для ^{137}Cs до 8 % – для ^{90}Sr . Относительные запасы радионуклидов в макрофитах водохранилища чрезвычайно малы – от тысячных долей процента – для ^{137}Cs до сотых долей процента – для ^{60}Co . При этом донные отложения водоема выполняют основную барьерную роль, препятствуют выносу радионуклидов за пределы водохранилища, а вода – главную транспортную функцию.

Донные отложения Белоярского водохранилища достаточно пестрые, обычно с примесью песчаных частиц и полуразложившихся остатков древесных растений. Такая пестрота в определенной степени объясняется интенсивным перемешиванием воды с верхним слоем грунта во время штормовой погоды. В Белоярском водохранилище различают следующие типы грунта: илистый сапропель, затопленная почва, песчано-илистый, песчаный и песчано-каменистый. Первый широко распространен в верхней части водоема с более спокойной водой и в некоторых заливах, где хорошо развита водная растительность. Прибрежные мелководья, лишенные расте-

Таблица 2

Содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239, 240}\text{Pu}$ в воде Белоярского водохранилища

Место отбора проб	Содержание, Бк/л		
	^{90}Sr	^{137}Cs	$(^{239, 240}\text{Pu}) \cdot 10^{-3}$
Район ЛЭП	$0,014 \pm 0,001$	$0,009 \pm 0,002$	$0,023 \pm 0,007$
Район Биофизической станции	$0,02 \pm 0,003$	$0,019 \pm 0,006$	$0,027 \pm 0,008$
Теплый залив	$0,012 \pm 0,002$	$0,021 \pm 0,009$	$0,034 \pm 0,011$
Промливневый канал	$0,025 \pm 0,002$	$0,016 \pm 0,003$	$0,025 \pm 0,008$
р. Пышма ниже плотины	$0,024 \pm 0,005$	$0,010 \pm 0,002$	$0,019 \pm 0,009$

Таблица 3

Содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в донных отложениях Белоярского водохранилища

Место отбора проб	Слой	Содержание, Бк/кг		
		^{90}Sr	^{137}Cs	$^{239,240}\text{Pu}$
Район ЛЭП	0–5	$17,00 \pm 0,46$	$28,4 \pm 2,1$	$0,07 \pm 0,011$
	5–10	$31,82 \pm 2,13$	$17,6 \pm 1,9$	$0,04 \pm 0,003$
	10–15	$6,25 \pm 0,19$	$15,4 \pm 1,7$	–
	15–20	$8,08 \pm 1,70$	$6,7 \pm 0,8$	–
	20–25	$2,35 \pm 0,20$	$2,4 \pm 0,6$	–
	25–30	$6,16 \pm 0,50$	Меньше 1,2	–
Район Биофизической станции	0–5	$24,00 \pm 1,80$	$38,7 \pm 4,3$	$0,12 \pm 0,005$
	5–10	$37,17 \pm 2,20$	$41,4 \pm 3,8$	$0,07 \pm 0,003$
	10–15	$16,21 \pm 1,60$	$29,6 \pm 4,9$	–
	15–20	$4,14 \pm 0,12$	$47,3 \pm 5,2$	–
	20–25	$7,02 \pm 1,35$	$64,8 \pm 6,9$	–
	25–30	$1,25 \pm 0,41$	$81,8 \pm 7,6$	–
Теплый залив	0–5	$18,62 \pm 0,22$	$74,6 \pm 3,2$	$0,14 \pm 0,006$
	5–10	$20,18 \pm 0,19$	$42,8 \pm 3,9$	$0,11 \pm 0,007$
	10–15	$1,72 \pm 0,15$	$15,7 \pm 2,8$	–
	15–20	$8,64 \pm 0,17$	$4,8 \pm 0,8$	–
	20–25	$6,25 \pm 0,14$	$2,6 \pm 0,5$	–
	25–30	$7,94 \pm 0,23$	$3,3 \pm 0,6$	–
Промливневый канал	0–5	$33,50 \pm 2,10$	$465,5 \pm 10,0$	$0,28 \pm 0,004$
	5–10	$49,35 \pm 1,70$	$310,3 \pm 7,2$	$0,17 \pm 0,006$
	10–15	$28,72 \pm 1,13$	$205,7 \pm 4,4$	–
	15–20	$13,65 \pm 0,66$	$112,5 \pm 3,9$	–
	20–25	$4,28 \pm 0,19$	$98,4 \pm 2,8$	–
	25–30	$2,12 \pm 0,15$	$11,3 \pm 0,9$	–
р. Пышма ниже плотины	0–5	$18,30 \pm 1,20$	$16,6 \pm 1,8$	$0,091 \pm 0,004$
	5–10	$31,16 \pm 1,60$	$21,5 \pm 0,9$	Меньше 0,04
	10–15	$4,12 \pm 0,11$	Меньше 0,66	–
	15–20	$7,28 \pm 0,31$	$4,4 \pm 0,25$	–
	20–25	$1,45 \pm 0,60$	Меньше 1,25	–
	25–30	$2,32 \pm 0,55$	Меньше 0,90	–

ний, заняты преимущественно песчаными и песчано-илистыми грунтами. В районах затопления встречаются также затопленные почвы, покрытые сверху небольшим слоем илистых отложений [6].

Содержание ряда техногенных радионуклидов в донных отложениях Белоярского водохранилища см. в табл. 3.

Содержание радионуклидов в водных растениях. Накопление и прочность фиксации радиоактивных примесей растениями зависят от химической природы радионуклидов, физико-химической формы их нахождения в водной среде, биологических особенностей водных растений, концентрации в воде изотопных и неизотопных носителей, температуры воды, освещенности, трофности водоема, сезона года и других факторов [6,9,10].

Содержание радионуклидов в пробах водной растительности представлено в табл. 4. В 2014 г. в достаточных количествах удалось отобрать на водоеме-охладителе два вида водной растительности: роголистник темно-зеленый и рдест гребенчатый.

Результаты исследования ихтиофауны. Рыбы, представляющие в водных экосистемах высшие трофические уровни, непосредственно связаны с пищевыми цепочками человека, поэтому они являются объектами многочисленных исследований [5, 6].

В рамках проводимых исследований выполнено определение техногенных радионуклидов (^{90}Sr и ^{137}Cs) в трех видах рыбы (лещ, плотва, окунь), отловленной из Белоярского водохранилища. Каждый вид рыбы исследован в трех повторностях по 3 кг сырой массы

Таблица 4

Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в водных растениях

Место отбора проб	Вид растения	Радионуклид, Бк/кг	
		^{90}Sr	^{137}Cs
Теплый залив	Роголистник темно-зеленый	$31,20 \pm 1,92$	$29,0 \pm 1,98$
Промливневый канал	Рдест гребенчатый	$117,65 \pm 13,94$	$42,5 \pm 6,85$

Таблица 5

Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в икhtiофауне
Белоярского водохранилища

Вид рыбы	Содержание, Бк/кг	
	^{90}Sr	^{137}Cs
Лещ	$4,36 \pm 0,44$	$1,99 \pm 0,12$
Плотва	$3,31 \pm 0,65$	$3,48 \pm 0,27$
Окунь	$1,94 \pm 0,33$	$4,70 \pm 0,37$

в каждой. Результаты исследования представлены в табл. 5.

Обсуждение. Донные отложения пресных водоемов играют большую роль в процессах очищения воды от радиоактивных примесей. Из-за высокой емкости поглощения и прочной фиксации в них радионуклидов донные отложения осаждают и удерживают на себе значительную часть поступающих с водой радиоактивных веществ, становясь основным источником облучения придонных организмов [5].

Грунты Белоярского водохранилища различаются по способности накапливать радионуклиды. Меньше всего их накапливается в песчаном грунте, характеризующемся облегченным механическим составом и низким содержанием органического вещества. Затопленная почва имеет повышенные концентрации радионуклидов по сравнению с песчаным грунтом, а илистый сапропель накапливает радионуклиды в наибольших количествах. Эта закономерность проявляется как в грунтах верховья водоема, так и в пределах территории водоема, подверженной влиянию АЭС [6].

Результаты наших исследований показывают (см. табл. 3), что в водоеме-охладителе имеют место существенные различия по содержанию радионуклидов в донных отложениях в зависимости от места отбора проб и глубины залегания, особенно по ^{137}Cs . Более высокое содержание данного радионуклида было отмечено в донных отложениях Промливневого канала. В слое от 0 до 20 см его содержание колебалось от 465,5 до 112,5 Бк/кг. В слое донных отложений ниже 25 см наблюдался существенный спад его содержания до 11,3 Бк/кг. Кроме Промливневого канала, более высокие концентрации ^{137}Cs были отмечены в районе Теплого залива и в районе Биофизической станции (Голубой залив). В донных отложениях Теплого залива основное количество ^{137}Cs было сконцентрировано в слое от 0 до 15 см, а в более глубоких слоях отмечался существенный спад его содержания. В районе Биофизической станции наблюдалась несколько иная картина, более высокое содержание радионуклида отмечено на глубине залегания 25–30 см.

По-видимому, это связано со временем загрязнения донных отложений и с теми процессами, которые в них происходят. Относительно чистые участки на Белоярском водохранилище по содержанию ^{137}Cs расположены ближе к верховью водоема (район ЛЭП), а также ниже плотины на р. Пышме.

Содержание $^{239, 240}\text{Pu}$ в донных отложениях на два–три порядка величин меньше, чем ^{137}Cs . Более высокое содержание $^{239, 240}\text{Pu}$ отмечено в донных отложениях Промливневого канала и Теплого залива. Несколько ниже его содержание в донных отложениях Голубого залива (район Биофизической станции), а минимальные количества радионуклида отмечены в донных отложениях в районе ЛЭП и реки Пышмы ниже плотины.

Содержание ^{90}Sr в донных отложениях водоема-охладителя не отвечает вышеуказанным закономерностям. Так, если содержание данного радионуклида в донных отложениях Промливневого канала несколько выше, чем на других участках, то во всех остальных пробах полученные результаты вполне сопоставимы между собой. Это можно объяснить тем, что механизм поступления ^{90}Sr совсем иной, чем для ^{137}Cs . Если последний радионуклид поступает в водоем-охладитель через Промливневый канал, то ^{90}Sr имеет глобальное происхождение и практически не сбрасывается в Белоярское водохранилище в результате деятельности атомной станции.

Таким образом, поскольку поступающие в водоем-охладитель от работы АЭС радионуклиды в основном концентрируются в донных отложениях, очевидно, что ранее имели место дополнительные поступления в водоем ^{137}Cs и в значительно меньших количествах $^{239, 240}\text{Pu}$. Сбросы в водоем ^{90}Sr минимальны и в основном зависят от глобальных выпадений.

Роль пресноводных растений в процессах концентрирования радионуклидов из водной среды впервые была отмечена В. И. Вернадским [1]. В дальнейшем высокая накопительная способность фитобионтов в отношении искусственных и естественных радионуклидов была подтверждена и другими исследователями. Показано, что водные растения поглощают поступающие в водную среду радионуклиды, при этом концентрация многих из них в тканях растений может длительное время поддерживаться на высоком уровне, превышающем на порядки величин их концентрацию в воде. Накопительную способность растений оценивали величиной коэффициента накопления (КН), представляющего собой

отношение концентрации нуклида в растениях к его концентрации в воде [6, 9, 10].

В 2014 г. рассчитаны коэффициенты накопления для рдеста гребенчатого и роголистника темно-зеленого. КН для рдеста гребенчатого составили 2656 по ^{137}Cs и 4706 по ^{90}Sr . Для роголистника темно-зеленого, соответственно, 1381 по ^{137}Cs и 2600 по ^{90}Sr . Перечисленные растения можно использовать для биоиндикации радиоактивных загрязнений и в других водных экосистемах.

Белоярское водохранилище широко используется для рыболовства и рыбозаведения. На подогретых водах Белоярского водохранилища много лет функционирует рыбное хозяйство по выращиванию садкового карпа. На водоеме ведется промышленный и любительский отлов рыбы. Согласно Гигиеническим требованиям безопасности и ценности пищевых продуктов (СанПиН 2.3.2.1078–01) [2], содержание ^{90}Sr не должно превышать 100 Бк/кг, ^{137}Cs – не выше 130 Бк/кг. Во всех образцах рыбы, отловленной из Белоярского водохранилища, содержание перечисленных радионуклидов значительно ниже допустимой величины.

Выводы

1. Объемная активность ^{137}Cs и $^{239, 240}\text{Pu}$ в воде Белоярского водохранилища на три–четыре порядка величин ниже уровня вмешательства, предусмотренного нормами радиационной безопасности (НРБ 99/2009). Содержание ^{90}Sr ниже уровня вмешательства на два порядка величин.

2. На основании результатов исследования донных отложений, показано, что ранее имели место дополнительные поступления в водоем ^{137}Cs и, в значительно меньших количествах, $^{239, 240}\text{Pu}$. Более высокое содержание ^{137}Cs было отмечено в донных отложениях Промливневого канала и несколько меньше в донных отложениях Теплого залива, а также в районе Биофизической станции. Относительно чистые участки на Белоярском водохранилище по содержанию ^{137}Cs расположены ближе к верховью водоема (район ЛЭП), а также ниже плотины на р. Пышме.

3. Содержание $^{239, 240}\text{Pu}$ в донных отложениях на два–три порядка величин меньше, чем ^{137}Cs . Более высокое содержание радионуклида отмечено в донных отложениях Промливневого канала и Теплого залива, минимальные количества радионуклида – в донных отложениях

в районе ЛЭП и реки Пышмы. Содержание ^{90}Sr в донных отложениях водоема-охладителя мало зависит от сбросов БАЭС и в основном имеет глобальное происхождение.

4. Представлены данные по содержанию ^{90}Sr и ^{137}Cs в двух видах водных растений: роголистнике темно-зеленом и рдесте гребенчатом. Рассчитаны коэффициенты накопления для рдеста гребенчатого и роголистника темно-зеленого (2656 и 1381 для ^{137}Cs и 4706 и 2600 для ^{90}Sr соответственно).

5. Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в трех видах рыбы из Белоярского водохранилища (лещ, плотва, окунь) значительно ниже допустимых величин, предусмотренных СанПиН 2.3.2.1078–01.

Литература

1. Вернадский В.И. О концентрации радия растительными организмами // Докл. АН СССР. Сер. А. 1930. Т. 20. С. 66–70.
2. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов // Санитарно-эпидемиологические правила и нормы : СанПиН 2.3.2.1078–01. М., 2001. С. 13–35.
3. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. ГОСТ 17.1.5.01–80. М. : Изд-во стандартов, 1980. 5 с.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ 99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523–09) : утв. и введены в действие от 01.09.2009 г. М. : Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
5. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н. Пресноводная радиоэкология. Екатеринбург : АкадемНаука, 2012. 544 с.
6. Трапезников А.В., Чеботина М.Я., Трапезникова В.Н. [и др.]. Влияние АЭС на радиоэкологическое состояние водоема-охладителя. Екатеринбург : АкадемНаука, 2008. 400 с.
7. 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.
8. Chen Q., Aarkrog A., Nielsen S.P. [et al.]. Determination of Plutonium in environmental samples by controlled valence in anion exchange // J. Radioanalyt. and Nuclear Chem. 1993. Vol. 172, N 2. P. 281–288.
9. Harvey R. S. Temperature effects on the sorption of radionuclides by freshwater algae // Health Phys. 1970. Vol. 19, N 2. P. 293–297.
10. Harvey R. S. Temperature effects on the sorption of ^{137}Cs , ^{85}Sr and ^{65}Zn by freshwater shrimp // Radionuclides in ecosystems : Proc. 3th Nat. Symp. Radioecol., Oak Ridge, TN, 10–12 May 1971. Springfield, 1971. Vol. I. P. 599–602.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований Президиума УрО РАН, проект № 15-2-4-12 и гранта РФФИ-Ямал № 16-45-890653.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи.

Поступила 22.01.2016

Для цитирования. Трапезников А.В., Коржавин А.В., Трапезникова В.Н., Платаев А.П. Радиоэкологическое исследование водоема-охладителя Белоярской АЭС перед вводом в эксплуатацию 4-го энергоблока БН-800 // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. 2016. № 2. С. 82–88. DOI 10.25016/2541-7487-2016-0-2-82-88

Radioecological research of the Beloyarskaya NPP cooling pond before the Unit No 4 BN-800 commissioning

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

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

Aleksandr Viktorovich Trapeznikov – Dr. Biol. Sci., Head of the Continental radioecology Department; e-mail: vera_zar@mail.ru;
Aleksandr Vasil'evich Korzhavin – PhD. Veterinary Sci., Deputy Head of the Continental radioecology Department; e-mail: bfs_zar@mail.ru;

Vera Nikolaevna Trapeznikova – PhD. Biol. Sci., Senior Research Associate;

Petrovich Plataev Anatolij – Junior Research Associate; e-mail: ty1985@mail.ru.

Abstract. The study presents the results of the research of the bottom sediments, aquatic vegetation, fish of the Beloyarskoe storage pond – the cooling pond of the NPP – for the purpose of determination of the artificial radionuclides: ^{90}Sr , ^{137}Cs , and $^{239, 240}\text{Pu}$ content before the Unit #4 BN-800 commissioning («zero level» survey). It is shown that earlier the pond received ^{137}Cs and, in small amount, $^{239, 240}\text{Pu}$. The higher content of ^{137}Cs was found in the bottom sediments of the industrial and storm discharge channel, Teplyi bay, and in the area of the Biophysical station. At that ^{137}Cs and $^{239, 240}\text{Pu}$ volumetric activity in the water of the Beloyarskoe storage pond was 3–4 orders of magnitude below the intervention level, and ^{90}Sr content was two orders of magnitude below the intervention level, provided by Radiation safety regulations (NRB-99/2009). The data on ^{90}Sr и ^{137}Cs content in two species of the aquatic vegetation are presented and the accumulation coefficient for *Potamogeton pectinatus* and *Ceratophyllum demersum* were calculated (2656 and 1381 for ^{137}Cs and 4706 and 2600 for ^{90}Sr correspondingly). ^{90}Sr and ^{137}Cs content in three species of fish (bream, roach, perch) is considerably below the permissible values provided by the Sanitary and epidemiological requirements and codes 2.3.2.1078–01.

Keywords: emergency situations, a nuclear power plant, the reservoir-cooler of the NPP, radiobiology, technogenic radionuclides, water, bottom sediment, aquatic vegetation, fish.

References

1. Vernadskij V.I. O koncentracii radija rastitel'nyh organizmami. [On radium concentration by the plant organisms]. *Doklady AN SSSR, Seriya A* [USSR Academy of Science reports. Series A]. 1930. Vol. 20, Pp. 66–70. (In Russ.)
2. Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishhevoj cennosti pishhevyyh produktov [Hygienic requirements for safety and nutrient of the foodstuff]. Sanitarno-jepidemiologicheskie pravila i normy (SanPiN 2.3.2.1078–01) [Sanitary and epidemiological requirements and codes 2.3.2.1078–01]. Moskva. 2001. Pp. 13–35. (In Russ.)
3. Gidrosfera. Obshhie trebovaniya k otboru prob donnyh otlozhenij vodnyh ob'ektov dlja analiza na zagryaznennost'. [Hydrosphere. General requirements for bottom sediments sampling of the water bodies for contamination analysis] GOST 17.1.5.01–80 [Government Standard 17.1.5.01–80]. Moskva. 1980. 5 p. (In Russ.)
4. Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009) [Radiation safety regulations (NRB-99/2009)]. Sanitarno-jepidemiologicheskie pravila i normy (SanPiN 2.6.1.2523–09) [Sanitary and epidemiological requirements and codes 2.6.1.2523–09]. Approved and put into effect on 01.09.2009. Moskva. 2009. 100 p. (In Russ.)
5. Trapeznikov A. V., Trapeznikova V. N. Presnovodnaja radiojekologija [Fresh-water radioecology]. Ekaterinburg. 2012. 544 p. (In Russ.)
6. Trapeznikov A. V., Chebotina M. Ja., Trapeznikova V. N. [et al.]. Vlijanie AJeS na radiojekologicheskoe sostojanie vodoema-ohladitelja [The influence of the NPP on the radioecological condition of the cooling pond]. Ekaterinburg. 2008. 400 p. (In Russ.)
7. Chukanov V. N., Volobuev P. V., E. G. Drozhko [et al.]. Genezis i koncepcija Gosudarstvennoj programmy Rossijskoj Federacii po radiacionnoj reabilitacii Ural'skogo regiona [Genesis and conception of the Russian Federation State program for the radiation rehabilitation of the Urals region]. Ekaterinburg. 1993. 66 p. (In Russ.)
8. Chen Q., Aarkrog A., Nielsen S. P. [et al.]. Determination of Plutonium in environmental samples by controlled valence in anion exchange. *J. Radioanalyt. and Nuclear Chem.* 1993. Vol. 172, N2. Pp. 281–288.
9. Harvey R. S. Temperature effects on the sorption of radionuclides by freshwater algae. *Health Phys.* 1970. Vol. 19, N2. Pp. 293–297.
10. Harvey R. S. Temperature effects on the sorption of ^{137}Cs , ^{85}Sr and ^{65}Zn by freshwater shrimp. *Radionuclides in ecosystems: Proc. 3th Nat. Symp. Radioecol.*, Oak Ridge, TN, 10–12 May 1971. Springfield. 1971. Vol. 1. Pp. 599–602.

Received 22.01.2016

For citing. Trapeznikov A. V., Korzhavin A. V., Trapeznikova V. N., Plataev A. P. Radioekologicheskoe issledovanie vodoema-okhladitelja Beloyarskoi AES pered vodom v ekspluatatsiyu 4-go energobloka BN-800. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2016. N 2. Pp. 82–88. (In Russ.)

Trapeznikov A. V., Korzhavin A. V., Trapeznikova V. N., Plataev A. P. Radioecological research of the Beloyarskaya NPP cooling pond before the Unit No 4 BN-800 commissioning. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2016. N 2. Pp. 82–88. DOI 10.25016/2541-7487-2016-0-2-82-88