

РАДИОЭКОЛОГИЯ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ, ПОДВЕРЖЕННОГО МНОГОЛЕТНЕМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ БЕЛОЯРСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

В. Н. Трапезникова, А. В. Трапезников, А. В. Коржавин

Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН, Екатеринбург, РФ,
vera_zar@mail.ru

Представлены результаты радиоэкологических исследований водоема-охладителя Белоярской атомной электростанции за более чем двадцатилетний период, начиная с ввода в эксплуатацию первых двух энергоблоков до пуска четвертого блока. Показано, что после вывода из эксплуатации I и II блоков БАЭС содержание ^{60}Co и ^{137}Cs в воде, донных отложениях Белоярского водохранилища снизилось в десятки и сотни раз. Более высокое содержание ^{137}Cs отмечено в донных отложениях Промливневого канала, Теплого залива и в районе Биофизической станции.

Ключевые слова: водоем-охладитель АЭС, многолетняя динамика, накопление радионуклидов, вода, донные отложения

Первый энергоблок Белоярской АЭС им. И. В. Курчатова с канальным водографитовым реактором на тепловых нейтронах АМБ-100 введен в эксплуатацию в 1964 г., второй – АМБ-200 – в 1967 г. В 1980 г. пущен третий блок на быстрых нейтронах БН-600 и в 2015 г. – четвертый энергоблок БН-800. К 1989 г. первые два блока выведены из эксплуатации, в настоящее время функционируют третий энергоблок, к сентябрю 2016 г. планируется вывести на промышленную мощность четвертый. В качестве водоема-охладителя АЭС используется Белоярское водохранилище, образованное в 1959–1963 гг. путём зарегулирования русла р. Пышмы в 75 км от её истока. Протяженность водоема – примерно 20 км, ширина – до 3 км. Зеркало водохранилища имеет площадь 47 км² [1].

В качестве материала исследования использованы вода и донные отложения. В природных образцах оценены уровни содержания широкого спектра радионуклидов: ^{14}C , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{214}Pb , ^{210}Po , ^{214}Po , ^{214}Bi , ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{228}Th , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{234}U , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am , а также суммарная α - и β -активность. Для определения содержания γ -излучающих радионуклидов 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 ^{137}Cs 1 Бк/кг. Определение ^{90}Sr в образцах с низкой активностью проводили после радиохимической обработки, измерения β -активности выполняли 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 использовали методику, разработанную сотрудниками RISØ National Laboratory (Дания) [2]. Определение изотопного состава полученного образца проводили на многоканальном альфа-спектрометре фирмы “Ortec” (США) с поверхностно-барьерными детекторами и программным обеспечением “Alpha Vision-32”. Ошибка счета не превышала 10 %, а нижний предел определения составлял 0,01 Бк/кг. Статистическая обработка результатов заключалась в оп-

ределении среднеарифметического значения и стандартного отклонения среднего арифметического.

Содержание радионуклидов в воде Теплого залива и Промливневого канала, через который поступают дренажные и поверхностные воды с территории атомной станции в Белоярское водохранилище, представлены в табл. 1. При сравнении концентраций ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде водоема-охладителя в 1976–1987 гг. и уровней содержания радионуклидов в 2011 г., установлено, что объемная активность ^{60}Co в воде Теплого залива за более чем 20-летний период уменьшилась с 250,0 до 0,3 Бк/м³, то есть более чем в 800 раз. В Промливневом канале содержание данного нуклида снизилось с 5600 до 1 Бк/м³, т. е. в 5600 раз. Объемная активность ^{90}Sr в воде Теплого залива за рассматриваемый период изменилась от 61 до 21 Бк/м³, т. е. в 3 раза, а в Промливневом канале содержание этого радионуклида уменьшилось от 160 до 28 Бк/м³, т. е. в 5,7 раза. Объемная активность ^{137}Cs в воде Теплого залива за более чем 20-летний период снизилась с 310 до 2,9 Бк/м³, то есть более чем в 100 раз, а содержание данного нуклида в воде из Промливневого канала упало с 3240,0 до 8,4 Бк/м³, то есть снизилось в 386 раз [3, 4].

Табл. 1 Содержание радионуклидов в воде водоема-охладителя Белоярской АЭС, 2011 г.

Точка контроля	Радионуклиды, Бк/м³											
	Cs-134	Cs-137	Sr-90	Co-60	Ra-226	Th-228	Th-230	Th-232	Bi-214	Am-241	Pu-238	U-238
Промливневый канал	0,19±0,14	8,42±0,67	28,0±5	1,06±0,22	<2,0	6,4±0,5	2,8±0,2	<1,9	<0,24	<0,2	<0,19	11,3±5,6
Теплый залив	<0.15	2.93±0.21	21.0±2	<0.3	<3.9	8.2±1.0	8.7±0.8	<3.6	<0.46	<0.2	0.19	12.3±3.7

Точка контроля	Радионуклиды, Бк/м³										
	Pb-214	U-234	Pu-239,240	Ra-228	Rn-222	Pb-210	Po-210	Po-214	C-14	α-активность	β-активность
Промливневый канал	4,4±0,5	<77	0,015	<0,75	<3000	<20	<26	<20	15,6±4,7	50,2±18,3	107,5±2,5
Теплый залив	6,9±0,7	240±100	0,024	<0,75	<3000	<20	<26	<20	18,3±5,5	49,3±0,5	117,8±5,0

На основании результатов многолетних натурных исследований 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.

При сравнении усредненных концентраций ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях Теплого залива водоема-охладителя Белоярской АЭС в 1980-е годы и уровней содержания радионуклидов в 2011 г. показано, что за более чем 20-летний период содержание ^{60}Co в донных отложениях Теплого залива (затопленная почва) уменьшилось с 2410 до 10 Бк/кг, т. е. в 240 раз. За это же время концентрация данного радионуклида в донных грунтах Промливневого канала изменилась от 9770 до 27 Бк/кг и стала меньше в 362 раза. Содержание ^{90}Sr в донных отложениях Теплого залива, наоборот, увеличилось с 22,4 до 52,7 Бк/кг, а концентрация этого радионуклида в грунтах Промливневого канала уменьшилась с 300,0 до 49,3 Бк/кг. Уровень содержания ^{137}Cs в затопленной почве Теплого залива за рассматриваемый многолетний период уменьшился в 7 раз –

с 1490 до 195 Бк/кг. За этот же отрезок времени концентрация данного радионуклида в донных грунтах Промливневого канала снизилась в 44 раза – с 20460 до 466 Бк/кг [3, 4].

Радиоэкологические исследования Белоярского водохранилища, выполненные в 2014 г. перед пуском в эксплуатацию четвертого энергоблока БН-800 (съемка «нулевого уровня»), показали, 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 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. Также более высокие показатели ^{137}Cs отмечены в районе Теплого залива и в районе Биофизической станции (Голубой залив). В районе Биофизической станции более высокое содержание радионуклида отмечено на глубине 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 ^{90}Sr в донных отложениях водоема-охладителя не отвечает вышеуказанным закономерностям. 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.

Содержание $^{239,240}\text{Pu}$ в донных отложениях на 2–3 порядка величин меньше, чем ^{137}Cs . Более высокое содержание $^{239,240}\text{Pu}$ отмечено в донных отложениях Промливневого канала и Теплого залива. Минимальные количества радионуклида отмечены в донных отложениях в районе ЛЭП и реки Пышмы ниже плотины.

Выводы. 1. После вывода из эксплуатации I и II блока БАЭС объемная активность ^{60}Co в воде Теплого залива Белоярского водохранилища уменьшилась в 800 и более раз, а ^{137}Cs – более чем в 100 раз. В Промливневом канале содержание ^{60}Co в воде упало в 5600 раз, а объемная активность ^{137}Cs снизилась в 386 раз. Объемная активность ^{90}Sr в воде Теплого залива за рассматриваемый период уменьшилась в 5,7 раза. Фундаментальное значение данного факта заключается в том, что в большом временном диапазоне работают как механизмы самоочищения водной экосистемы от радионуклидов (за счет распада радиоактивных веществ), так и механизмы перераспределения радионуклидов из воды в другие компоненты, прежде всего, в донные отложения. **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 отмечено в донных отложениях Промливневого канала. Относительно чистые участки 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 2–3 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.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований Президиума УрО РАН, проект № 15-2-4-12.

1. Ленченко В. Г., Сажина Л. А., Шилкова Е. В. Санитарно-гигиенический очерк реки Пышмы и Белоярского водохранилища // Материалы XIII научн. сессии Свердловского НИИ гигиены труда и профпатологии, Свердловск, 1964. С. 102–106.
2. 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. Pp. 281–288.
3. Чеботина М. Я., Трапезников А. В., Трапезникова В. Н., Куликов Н. В. Радиоэкологические исследования Белоярского водохранилища / Под ред. В. Н. Большакова. Свердловск: Изд-во УрО РАН. 1992. С. 19–31.
4. Трапезников А. В. ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в пресноводных экосистемах / Под ред. И. М. Донник. Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2010. 510 с.
5. Трапезников А. В., Чеботина М. Я., Трапезникова В. Н., Гусева В. П., Николин О. А. Влияние АЭС на радиоэкологическое состояние водоема-охладителя. – Екатеринбург : Академ-Наука, 2008. 400 с.

RADIOECOLOGY OF THE COOLING POND EXPOSED TO THE YEARS OF THE IMPACT FROM THE BELOYARSKAYA NUCLEAR POWER PLANT

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

Institute of Plant and Animal Ecology of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, RF, vera_zar@mail.ru

The work presents the results of the radio-ecological studies of the Beloyarskaya nuclear power plant cooling pond for more than twenty years, starting from the commissioning of the first two units till the commissioning of the fourth unit. It is shown that after the decommissioning of the BNPP 1st and 2nd units, ^{60}Co and ^{137}Cs content in water and bottom sediments of the Beloyarskoye storage pond decreased by tens and hundreds of times. The higher content of ^{137}Cs was observed in the bottom sediments of the industrial and storm discharge channel, Teplyi bay, and in the area of the Biophysical station.

Key words: NPP cooling pond, long-term dynamics, radionuclides accumulation, water, bottom sediments