

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
Институт ядерной энергии и промышленности
ФГБУ «Российский фонд фундаментальных исследований»

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ, ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ – 2018**

сборник статей международной научно-практической конференции
24 – 27 сентября 2018 г.



Севастополь, 2018

**РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС**

А.В. Трапезников, д.б.н., зав. отделом, В.Н. Трапезникова, к.б.н., с.н.с.,
А.В. Коржавин, к.вет.н., с.н.с.

*Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, 620144, Россия,
e-mail: vera_zar@mail.ru*

Белоярская атомная электростанция (БАЭС) расположена в Свердловской обл. в г. Заречном, в 60 км от Екатеринбурга. Первый энергоблок с каналным водографитовым реактором на тепловых нейтронах АМБ-100 был введен в эксплуатацию в 1964 г., второй – АМБ-200 – в 1967 г. В 1980 г. был пущен третий энергоблок на быстрых нейтронах БН-600. К 1989 г. первые два блока были выведены из эксплуатации. В настоящее время на станции два действующих блока: 3-й энергоблок с реактором БН-600, первый в мире энергоблок промышленного масштаба с реактором на быстрых нейтронах, и 4-й блок БН-800, который также представляет собой крупнейший в мире действующий энергоблок с реактором на быстрых нейтронах. В качестве водоема-охладителя АЭС используется Белоярское водохранилище, которое было образовано в 1959–1963 гг. путем зарегулирования русла р. Пышмы в 75 км от ее истока.

Как и любая АЭС, Белоярская атомная станция является потенциальным источником загрязнения окружающей среды. Кроме воздушных выбросов атомные станции производят жидкие сбросы, которые поступают в водные экосистемы. В Белоярское водохранилище от АЭС открываются три канала: первый – Промливневый канал (ПЛК); второй – Сбросной канал, в который поступают подогретые воды, прошедшие систему охлаждения АЭС; третий – Обводной канал, дренирующий территорию вокруг АЭС.

Радиационная нагрузка на водоем-охладитель на разных этапах эксплуатации атомной станции была не одинаковой. Условно можно выделить три основных периода. Первый – с 1964 по 1989 год - период максимальной нагрузки, когда на станции функционировало три блока. Второй - с 1989 по 2016 год, после вывода из эксплуатации двух первых блоков работал один третий блок БН-600. Третий – с 2016 г. по настоящее время, после ввода в эксплуатацию 4 энергоблока БН-800.

Проведен сравнительный анализ уровней содержания ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде водоема-охладителя Белоярской АЭС в 70-е и 80-е годы прошлого века и в 2011 г. (табл. 1).

Таблица 1

Содержание ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде Белоярского водохранилища в 1976-1987гг. и в 2011г. (Бк/м³)

Место отбора проб	^{60}Co		^{90}Sr		^{137}Cs	
	1976-1987гг	2011г	1976-1987гг	2011г	1976-1987гг	2011г
Теплый залив	250	<0,3	61	21	310	2,9
Промливневый канал БАЭС	5600	1	160	28	3240	8,4

При сравнении концентраций ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде водоема-охладителя в 1976–1987 гг. и в 2011 г. установлено, что объемная активность ^{60}Co в воде Теплого залива за более чем 20-летний период уменьшилась с 250 Бк/м³ до значения меньше 0,3 Бк/м³, т.е. в 800 и более раз. В Промливневом канале содержание данного нуклида снизилось соответственно 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 в 5,7 раза. Объемная активность ^{137}Cs в воде Теплого залива изменилась от 310 до 2,9 Бк/м³, т.е. уменьшилась более чем в 100 раз, а содержание данного нуклида в воде Промливневого канала упало с 3240 до 8,4 Бк/м³, т.е. уменьшилось в 386 раз (Чеботина и др., 1992).

При сравнении усредненных концентраций ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях Теплового залива водоема-охладителя Белоярской АЭС в 1980-е годы и уровней содержания радионуклидов в 2011 г. (рис. 1) показано, что за более чем 20-летний период содержание ^{60}Co в донных отложениях Теплового залива уменьшилось с 2410 до 10 Бк/кг, т.е. в 240 раз. За это же время концентрация данного радионуклида в донных грунтах Промливневого канала стала меньше в 362 раза.

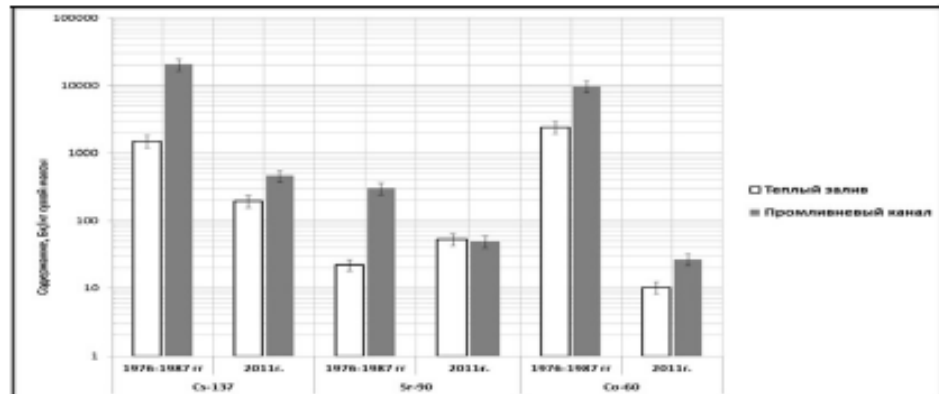


Рис.1. Содержание ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях (затопленная почва) Белоярского водохранилища в 1976-1987 гг. и в 2011 г. (Бк/кг сухой массы)

Содержание ^{90}Sr в донных отложениях Теплового залива, наоборот, увеличилось с 22,4 до 52,7 Бк/кг, а концентрация этого радионуклида в грунтах Промливневого канала уменьшилась с 300 до 49,3 Бк/кг. Уровень содержания ^{137}Cs в затопленной почве Теплового залива за рассматриваемый многолетний период уменьшился в 7 раз с 1490 до 195 Бк/кг, а в донных грунтах Промливневого канала изменился в 44 раза: с 20460 до 466 Бк/кг (Трапезников, 2010).

Сравнительная оценка уровней содержания радионуклидов в водных растениях, отобранных на Белоярском водохранилище в разные годы, представлена на рис. 2.

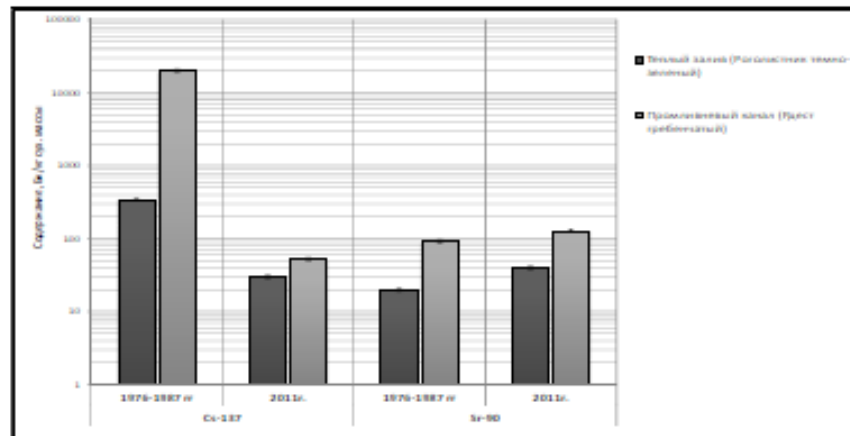


Рис.2. Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в макрофитах Белоярского водохранилища в 1976-1987 гг. и в 2011 г. (Бк/кг сухой массы)

Концентрация ^{137}Cs в роголистнике темно-зеленом из Теплового залива (1980-е годы) составляла 344 Бк/кг сухой массы, а содержание данного радионуклида в роголистнике из того же залива в 2011 г. равнялось 30 Бк/кг сухой массы, т.е. уменьшилось в 11,5 раз. Содержание ^{137}Cs в рдесте гребенчатом из Промливневого канала БАЭС (1980-е годы) составляло 20090 Бк/кг сух. массы, а в 2011 г. – 525. Бк/кг сух. массы. Таким образом, уровень содержания радионуклида снизился в 383 раза (Трапезников, Трапезникова, 2012).

Совсем иная картина наблюдается при накоплении макрофитами ^{90}Sr . Так, уровень содержания радионуклида в роголистнике темно-зеленом из Теплового залива водоема-

охладителя в 1980-е годы составлял 20,1 Бк/кг на сухой вес (рис. 2), а в 2011 г. он составил 40,2 Бк/кг сух. массы, т.е. возрос в 2 раза. В рдесте гребенчатом из Промливневого канала в 1980-е годы, содержание ^{90}Sr составляло 92 Бк/кг, а в 2011 г. равнялось 128 Бк/кг, т.е. увеличилось в 1,4 раза. 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, в основном, глобальное происхождение.

Таким образом, на протяжении более чем 20-летнего периода было отмечено существенное снижение содержания радионуклидов в основных компонентах водоема-охладителя Белоярской АЭС. Так, объемная активность ^{60}Co в воде Теплового залива водоема-охладителя уменьшилась в 800 и более раз, в Промливневом канале – в 5600 раз. Объемная активность ^{137}Cs в воде Теплового залива уменьшилась более чем в 100 раз, а в воде из Промливневого канала снизилось в 386 раз. Также значительно уменьшилось содержание радионуклидов в донных отложениях водоема. Столь существенные изменения радиэкологического состояния водоема-охладителя в 2011 г. по сравнению с 1976–1987 гг. стали возможны под влиянием ряда причин. Во-первых, вывод из эксплуатации I и II блоков Белоярской АЭС. Во-вторых, как результат работы в большом временном диапазоне механизмов самоочищения водной экосистемы от радионуклидов за счет их распада, а также механизмов перераспределения радионуклидов из воды в другие компоненты, прежде всего – в донные отложения.

Следующие масштабные исследования водоема-охладителя были связаны со строительством 4-го энергоблока БН-800. Первое исследование проведено в 2014 г перед пуском нового блока (нулевой уровень), повторное – в 2017 году, сразу после ввода в эксплуатацию БН-800. Результаты исследования воды из водоема-охладителя в 2017 г. показывают, что, несмотря на ввод дополнительных мощностей на БАЭС, во всех реперных точках (включая сбросной канал 4 энергоблока) по сравнению с 2014 г. наблюдалось существенное снижение содержания ^{137}Cs в воде в 1,4–5,9 раза, что указывает на отсутствие дополнительного поступления радионуклида в водоем-охладитель после пуска в эксплуатацию 4-го энергоблока. Так, в сбросном канале 4-го энергоблока объемная активность радионуклида снизилась в 1,4 раза, в районе Биофизической станции в 5,9 раза, в Теплом заливе – в 5,3 раза, а в реке Пышма ниже плотины – в 3 раза.

Изменения содержания ^{90}Sr менее значимы и не имеют общевыраженной тенденции. В воде Теплового залива содержание ^{90}Sr не изменилось, в воде сбросного канала 4-го блока незначительно увеличилось в пределах статистической погрешности, а в районе Биофизической станции и в реке Пышма уменьшилось соответственно в 1,8 и 2,2 раза. Такое разное поведение радионуклидов можно объяснить разными механизмами их поступления в водоем-охладитель. Если основным путем поступления ^{137}Cs в водоем-охладитель всегда считался Промливневый канал, то есть смывы с территории станции, напротив, ^{90}Sr имеет в основном глобальное происхождение и не связан с деятельностью атомной станции.

Отсутствие дополнительного поступления радионуклидов с 4-го энергоблока подтверждается также относительно низким содержанием последних в водных растениях сбросного канала. Пробы рдеста гребенчатого были отобраны параллельно в сбросном канале 4-го блока и в реке Пышма ниже плотины, где интегрируются все сбросы с водоема-охладителя. В результате содержание ^{137}Cs в рдесте гребенчатом из сбросного канала оказалось в 3,1 раза ниже, а ^{90}Sr – в 1,4 раза ниже, чем из реки Пышма.

Динамика изменения содержания радионуклидов в водоеме-охладителе в период 2014–2017 гг. полностью согласуется с многолетними процессами, происходившими в данной водной экосистеме. Ввод в эксплуатацию энергоблока БН-800 БАЭС не сопровождался дополнительной радиационной нагрузкой на водоем-охладитель и не оказывал отрицательного влияния на процессы самоочищения, которые наметились в данной водной экосистеме после вывода из эксплуатации 1-го и 2-го блоков БАЭС (Трапезников и др., 2015).

Выводы:

1. После вывода из эксплуатации I и II блоков БАЭС объемная активность ^{60}Co в воде Теплового 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 Теплового залива за рассматриваемый период уменьшилась в 5,7 раза. Фундаментальное значение данного факта заключается в том, что в большом временном диапазоне работают как механизмы самоочи-

щения водной экосистемы от радионуклидов за счет их распада, так и механизмы перераспределения радионуклидов из воды в другие компоненты, прежде всего, в донные отложения.

2. После ввода в эксплуатацию энергоблока БН-800 в воде Белоярского водохранилища наблюдалось снижение содержания ^{137}Cs в 1,4–5,9 раза по сравнению с 2014 г. (нулевой уровень перед пуском энергоблока), что свидетельствует об отсутствии дополнительного поступления радионуклида в водоем-охладитель после ввода новых мощностей на Белоярской АЭС.

3. Динамика изменения содержания радионуклидов в водоеме-охладителе в период 2014–2017 гг. в полной мере согласуется с общими процессами самоочищения, которые стали возможны в данной водной экосистеме после вывода из эксплуатации 1-го и 2-го блоков Белоярской АЭС.

Отбор проб материала из водоема-охладителя, измерение концентраций техногенных радионуклидов в воде, донных отложениях и водных растениях, а также интерпретация результатов выполнены в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН, пробоподготовка материала при поддержке проекта Комплексной программы УрО РАН №18-9-4-9.

Список литературы:

1. Трапезников А.В. ^{60}Co , ^{90}Sr и $^{239, 240}\text{Pu}$ в пресноводных экосистемах. Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2010. 510 с.
2. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н. Пресноводная радиоэкология. Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2012. 544 с.
3. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Коржавин А.В. Динамика радиоэкологического состояния пресноводных экосистем, подверженных многолетнему воздействию атомной электростанции в границах наблюдаемой зоны // Радиационная биология. Радиоэкология. 2015. Т. 55, № 2. С. 302–313.
4. Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н. и др. // Радиоэкологические исследования Белоярского водохранилища /Под ред. В.Н. Большакова. Свердловск: Изд-во УрОРАН, 1992. С. 19–31, 42, 50.

THE RESULTS THE LONG-TERM ECOLOGICAL STUDY OF THE BELOYARSKAYA NPP COOLING POND

A.V. Trapeznikov, Dr. Biol. Sci., Head of the Department, V.N. Traeznikova, PhD. Biol. Sci., Senior Research Associate, A.V. Korzhavin, PhD. Vet. Sci, Senior Research Associate
Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch, Ekaterinburg, 620144, Russia, e-mail: vera_zar@mail.ru

Abstract

The long-term dynamics of the radioecological state of the Beloyarskaya NPP cooling pond is presented. It is shown that after the decommissioning of the first two units in 1989, the radioecological situation in the pond began to improve. By 2011, the volume activity of ^{60}Co in the Teply Bay water decreased by 800 or more times, and ^{137}Cs - by more than 100 times. In the industrial and storm discharge channel the content of ^{60}Co in water fell by 5600 times, and the volume activity of ^{137}Cs decreased by 386 times. The fundamental significance of this fact is that, in a large time range, both the mechanisms work: the mechanism of self-purification of the aquatic ecosystem from the radionuclides due to their decay, and the mechanisms of the redistribution of the radionuclides from water to other components, primarily to bottom sediments. The commissioning of BN-800 unit in 2016 was not accompanied by the additional radiation load on the cooling pond. The content of ^{137}Cs in the Beloyarskaya storage pond water decreased by 1.4-5.9 times compared to 2014, before the commissioning of the 4th unit. The dynamics of changes in radionuclide content in the cooling pond in the period of 2014-2017 is fully consistent with the general processes of self-purification that have become possible in this aquatic ecosystem after the decommissioning of the 1st and 2nd units of the Beloyarskaya NPP.