

МНОГОЛЕТНИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ЖИДКИХ СБРОСОВ БЕЛОЯРСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

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

Институт экологии растений и животных УрО РАН
Екатеринбург, Россия, mila_mikhaylovska@mail.ru

RESULTS OF LONG-TERM RADIOECOLOGICAL MONITORING OF THE EFFECT ZONE OF LIQUID DISCHARGES FROM THE BELOYARSK NUCLEAR POWER PLANT

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

Institute of Plant and Animal Ecology of the UB RAS, Yekaterinburg, Russia, mila_mikhaylovska@mail.ru

The long-term use of the Olkhovsk bog as a natural filter on the way of the liquid discharges of the Beloyarsk NPP and Institute of Reactor Materials led to radionuclide contamination of the Olkhovsk bog-river system turned into a source of secondary pollution. Over the 35 years of operation of the BNPP, the level of pollution of the upper layers of bottom sediments has decreased due to the redistribution of radionuclides with surface runoff, depth migration and radioactive decay. After the reconstruction of discharges the removal of ^{90}Sr and ^{137}Cs into an open hydrographic network decreased by 2–3 times.

Введение

Белоярская атомная электростанция им. И. В. Курчатова (БАЭС) – один из крупных ядерных объектов Уральского региона. Единственная в мире электростанция, на промплощадке которой эксплуатировались энергоблоки разного типа (АМБ-100, АМБ-200, БН-600, БН-800) работает в штатном режиме с 1964 г. Расположенный рядом Институт реакторных материалов имеет исследовательский реактор бассейнового типа ИВВ-2М мощностью 15 МВт (эксплуатируется с 1966 г.). Оба предприятия расположены в 42 км к востоку от г. Екатеринбурга на берегу Белоярского водохранилища. Штатная работа реакторов сопровождается контролируемыми газоаэрозольными выбросами и сбросами слаборадиоактивных дебалансных вод; в их составе в окружающую среду поступает целый ряд техногенных радионуклидов: ^3H , ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{238,239,240}\text{Pu}$. Количество радионуклидов, поступающих в окружающую среду, как правило, на порядки ниже допустимых норм, принятых в отечественных нормативно-методических документах и рекомендациях МАГАТЭ [3, 6]. Это подтверждено многолетними наблюдениями, показавшими, что загрязнение территории наблюданной зоны $^{239,240}\text{Pu}$ поддерживается на уровне глобального фона ($0,03\text{--}0,30 \text{ кБк}/\text{м}^2$), а ^{90}Sr ($1,2\text{--}3,0 \text{ кБк}/\text{м}^2$) и ^{137}Cs ($2,3\text{--}6,8 \text{ кБк}/\text{м}^2$) – на уровне регионального фона, сложившегося из атмосферных выпадений радионуклидов различного генезиса [4]. Слабое влияние газоаэрозольных выбросов на уровень загрязнения долгоживущими радионуклидами прилежащих территорий отмечено и на других АЭС [3, 5]. В результате деятельности БАЭС и ИРМ загрязненными

оказались участки в зоне влияния жидких сбросов предприятий. Территории ИРМ и БАЭС примыкают друг к другу, сбросы ИРМ подаются на очистные сооружения БАЭС. Поэтому влияние этих предприятий на загрязнение окружающей среды разделить невозможно [3].

Материалы и методы

Зона влияния жидких сбросов – Ольховская болотно-речная система (ОБРС) включает в себя низинное торфяное болото с прилегающими заболоченными участками, вытекающую из него р. Ольховку и полосу пойменных почв (рис. 1). Болото расположено в 5 км к юго-востоку от станции, его площадь около $0,3 \text{ км}^2$. Вектор водного стока направлен с запада на восток. В западную часть болота выведен сбросной канал, по которому многие годы поступали слаборадиоактивные дебалансные воды предприятий и сточные воды г. Заречный. В 2007 г. произведена реконструкция системы сбросов. Дебалансные воды через специализированный трубопровод были выведены в нижнюю часть болота. Хозфекальные стоки БАЭС, как и прежде, поступают в верхнюю часть болота. Ольховское болото связано стоком с открытой гидрографической системой через р. Ольховку. Она течет в общем направлении на восток-северо-восток, впадает с левого берега в р. Пышму, которая входит в Обь-Иртышскую речную систему.

При разработке общей концепции радиоэкологического мониторинга в районе БАЭС, учитывали пути поступления и набор загрязнителей, среди которых наибольшее внимание уделяли долгоживущим дозообразующим радионуклидам (^{90}Sr , ^{137}Cs).



Рис. 1. Схема района исследований

Ольховская болотно-речная система с сопредельным почвенным покровом была выделена в качестве самостоятельного объекта мониторинга. Основная концепция мониторинга изложена в работах [1, 4]. В соответствии с ландшафтно-географической характеристикой ОБРС мы разделили ее территорию на основные элементы (см. рис. 1). Предложенный подход к формированию сети мониторинга позволяет сократить число проб, располагая контрольные точки (КТ) отбора в различных участках системы, определяемых рельефом территории, гидрологическим режимом и связанных стоком. Для исследований выбрали элементы ОБРС расположенные по вектору стока (КТ 1, 2, 3, 4, 7). В качестве контроля использовали Каменское болото (КТ 8) и р. Каменка (КТ 9) расположенные за пределами влияния жидких сбросов БАЭС. В каждой точке отбирали донные отложения, приболотные и пойменные гидроморфные почвы. Для оценки параметров водного стока отбирали пробы воды в КТ 4.

Методики отбора проб окружающей среды и определения долгоживущих радионуклидов, использованные в ходе радиоэкологических исследований, изложены в работах [1, 2, 4].

Результаты и их обсуждение

В период пуска 3-го энергоблока БН-600 (1978–1980 гг.) максимальное загрязнение Ольховского болота было отмечено в верхней части болота в районе впадения сбросного канала (начало болота). Концентрация ⁹⁰Sr в илистых отложениях достигала 480–3800 Бк/кг, а ¹³⁷Cs 9000–110 000 Бк/кг. В истоке р. Ольховка концентрация ⁹⁰Sr в иле снижалась до 60–870 Бк/кг, а ¹³⁷Cs до 8000–51000 Бк/кг. Совершенствование технологий очистки и ужесточение нормирования сбросов привели к тому, что радиационная нагрузка на Ольховскую болотно-речную систему снижалась с

текущим временем, а фронт загрязнения болота продвигался по направлению вектора стока [2, 4]. По данным службы внешней дозиметрии БАЭС к 2015 г. радионуклиды равномерно загрязнили поверхностный слой донных отложений болота и верхнего течения р. Ольховка. При этом концентрация ⁹⁰Sr в них снизилась до 30–100 Бк/кг, а ¹³⁷Cs до 1000–5000 Бк/кг воздушно сухого вещества [3]. За 35 лет концентрация радионуклидов за счет естественного распада могла снизиться лишь в 2,3 раза. В настоящее время вклад жидких сбросов в загрязнение ОБРС очень мал. Он не компенсирует потерю радионуклидов за счет естественного распада и миграции.

Оценка плотности загрязнения радионуклидами в верхнем 0–30 см слое почв и донных отложений показала, что депонирующие компоненты ОБРС загрязнены ⁹⁰Sr неравномерно без явно выраженного тренда (рис. 2).

Максимальное содержание радионуклида в донных отложениях составило 12,7 кБк/м², что превышает контрольный уровень не более чем в 6 раз. Загрязнение ¹³⁷Cs донных отложений болота на два порядка выше контрольного уровня. Вся территория болота загрязнена в равной степени, достоверных различий плотности загрязнения на разных участках болота нет (U-тест, $n = 6$, $p = 0,96$). Далее она снижается по направлению вектора стока. Загрязнение почв невелико и не выходит за пределы затапливаемой береговой зоны болота. Исключение составляет участок заболачиваемой поймы верхнего течения р. Ольховки, здесь плотность загрязнения ¹³⁷Cs достигает 942,8 кБк/м², а в пойме р. Пышмы снижается на порядок величин. Повышенный уровень загрязнения поймы р. Пышма может быть обусловлен не только стоком из Ольховского болота, но и миграцией радионуклидов с водами реки из Белоярского водохранилища – водоема охладителя БАЭС.

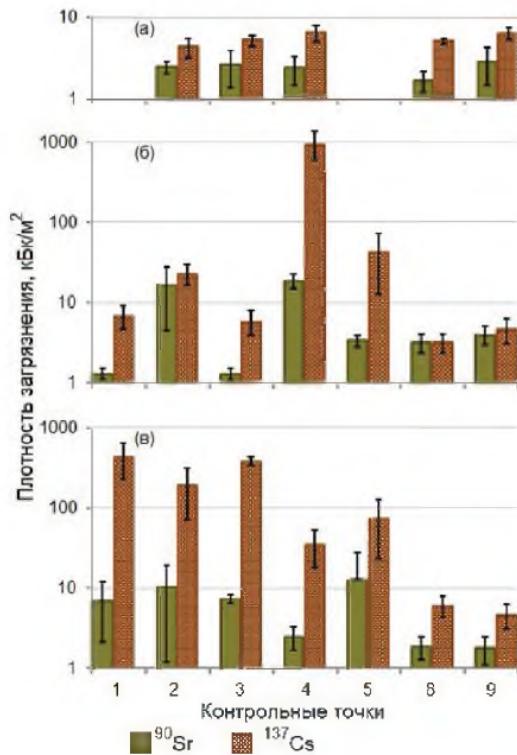


Рис. 2. Плотность загрязнения радионуклидами сопряженных стоком участков Ольховской болотно-речной системы (а – суходол, б – затапливаемый берег; в – водные системы)

Таблица 1. Вертикальное распределение радионуклидов в торфяно-илистых отложениях болота (1) и аллювиальной торфяно-глеевой почве (2), % от содержания в профиле

Глубина, см	⁹⁰ Sr		¹³⁷ Cs	
	1	2	1	2
0–5	2,48	3,99	0,65	0,95
5–10	13,29	5,40	4,82	0,87
10–15	7,57	5,65	1,75	0,76
15–20	12,13	12,85	2,41	2,41
20–25	4,54	10,55	4,15	11,72
25–30	11,84	18,42	6,78	29,78
30–35	10,90	17,83	12,19	23,97
35–40	11,08	5,23	12,00	9,15
40–50	11,64	12,94	41,14	15,56
50–70	14,51	4,96	14,09	4,14
70–90	–	1,14	–	0,88
90–110	–	0,76	–	1,84

Сопоставление этих результатов с данными, полученными в период пуска блока БН-600 (1978–1985 гг.), показывает, что фронт радионуклидного загрязнения донных отложений продолжает смещаться по вектору стока [1, 2, 4]. Миграция радионуклидов на сопредельную территорию по-прежнему ограничена прибрежной полосой затапливаемых почв.

Изменилось вертикальное распределение радионуклидов в почвах и донных отложениях. Так в 1978–1980 гг. максимальные концентрации радионуклидов наблюдались в верхних слоях донных отложений и почв, а вертикальное распределение характеризовалось плавным снижением с глубиной [4]. На примере наиболее загрязненных элементов ОБРС показано, что через 35 лет ⁹⁰Sr более или менее равномерно распределился по глубине аллювиальной торфяно-глеевой почвы и торфяно-илистых донных отложений болота (табл. 1). Содержание ¹³⁷Cs увеличивается с глубиной, достигая максимума на глубине 25–35 см.

Сложившееся за многолетний период функционирования БАЭС пространственное распределение радионуклидов в болотно-речной системе определяется главным образом параметрами водного стока. В 2007 г. былпущен обводной канал и, как следствие, изменился гидрологический режим Ольховского болота. Оценка параметров водного стока, проведена в истоке р. Ольховка до и после реконструкции системы сбросов (рис. 3). Масштабы миграции ⁹⁰Sr в половодье и межень близки, вынос происходит преимущественно с водорасторимыми соединениями. Большая часть ¹³⁷Cs перемещается за пределы болота в период половодья, равномерно распределяясь между водой и частицами твердого стока. В меженный период вклад твердого стока снижается. Годовой вынос ⁹⁰Sr из Ольховского болота с водным стоком за период исследований снизился в 2 раза, а ¹³⁷Cs в 3 раза и составил $48,2 \cdot 10^6$ Бк • год⁻¹ и $94,8 \cdot 10^6$ Бк • год⁻¹, соответственно.

Заключение

За 35-летний период в зоне жидких сбросов Белоярской АЭС фронт радионуклидного загрязнения продвинулся как по горизонтальному, так и вертикальному векторам стока. В настоящее время Ольховская болотно-речная система является источником вторичного загрязнения окружающей среды.

Изменение гидрологического режима болота после реконструкции системы сбросов привело к снижению выноса ⁹⁰Sr из Ольховского болота с водным стоком в 2 раза, а ¹³⁷Cs в 3 раза до $48,2 \cdot 10^6$ Бк • год⁻¹ и $94,8 \cdot 10^6$ Бк • год⁻¹, соответственно.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН, тема № AAAA-A19-119032090023-0.

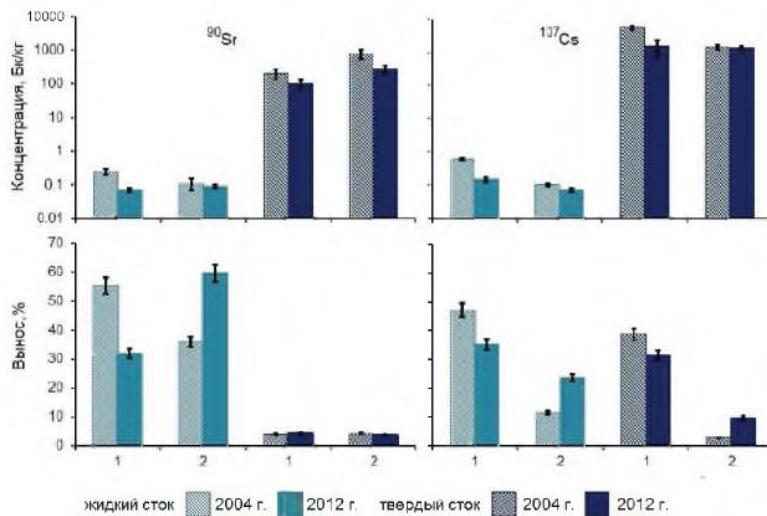


Рис. 3. Параметры выноса радионуклидов в компонентах водного стока до (2004 г.) и после (2012 г.) пуска обводного канала (использованы данные [1, 2]), 1 – половодье, 2 – межень

Литература

1. Михайловская Л. Н. Концептуальная модель и многолетние результаты радиоэкологического мониторинга зоны влияния жидких сбросов Белоярской атомной электростанции / Л. Н. Михайловская, А. В. Коржавин, В. Н. Трапезникова, А. В. Трапезников // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях, 2020. – № 3. – С. 68–75.
2. Молchanova И. В. Итоги многолетних радиоэкологических исследований природных экосистем в зоне жидких сбросов Белоярской атомной электростанции/ И. В. Молчанова, Е. Н. Караваева, Л. Н. Михайловская // Вопросы радиационной безопасности, 2009. – № 4. – С. 19–27.
3. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2014 году : ежегодник / ред. кол.: В. М. Шершаков, В. Г. Булгаков, И. И. Крышев, С. М. Вакуловский, М. Н. Каткова, В. М. Ким, А. И. Крышев. – Обнинск: НПО Тайфун, Росгидромет, 2015. – 346 с.
4. Трапезников А. В. Миграция радионуклидов в пресноводных и наземных экосистемах: в 2 т. / А. В. Трапезников, И. В. Молчанова, Е. Н. Караваева, В. Н. Трапезникова. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2007. – Т. 2. – 400 с.
5. Цветнова О. Б. Радиоэкологическая характеристика почвенно-растительного покрова и водных объектов в зоне влияния Нововоронежской атомной электростанции / О. Б. Цветнова, П. М. Якубовская, А. И. Щеглов // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение, 2016. – № 1. – С. 26–31.
6. Sources and effects of ionizing radiation: Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly with scientific annexes. Vol. 1. Sources. – New York: United Nations, 2008. – 463 p.