

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ И МНОГОЛЕТНИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ЖИДКИХ СБРОСОВ БЕЛОЯРСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук
(Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202)

Актуальность. Многолетнее использование Белоярской АЭС (БАЭС) Ольховского болота в качестве естественного фильтра на пути жидких сбросов станции привело к загрязнению радионуклидами Ольховской болотно-речной системы до такой степени, что она превратилась в источник вторичного загрязнения.

Цель – оценить радиоэкологическое состояние зоны жидких сбросов Белоярской АЭС на основе разработанной системы радиоэкологического мониторинга долгоживущих радионуклидов в окружающей среде.

Методология. Исследованы пробы воды, донных отложений и почв в реперных точках болотно-речной системы.

Результаты и их анализ. За 35 лет эксплуатации БАЭС уровень загрязнения верхних слоев донных отложений снизился за счет перераспределения радионуклидов с поверхностным стоком, миграции в глинину и естественного радиоактивного распада. Вынос радионуклидов в открытую гидрографическую сеть после реконструкции сбросов снизился в 2–3 раза и составил для ^{90}Sr $48,2 \cdot 10^6$ Бк·год⁻¹, а ^{137}Cs – $94,8 \cdot 10^6$ Бк·год. Миграция радионуклидов на сопредельные с ОБРС территории по-прежнему ограничена прибрежной полосой затопляемых почв.

Заключение. Радиоэкологическая ситуация, сложившаяся в Ольховской болотно-речной системе, характеризует ее потенциальную опасность. Развитие миграционных процессов (перемещение фронта загрязнения по вектору стока) может привести к увеличению выноса радионуклидов в открытую гидрографическую сеть и требует постоянного контроля. Для взвешенной оценки радиационной опасности Ольховской болотно-речной системы необходимо провести в ней инвентаризацию современных запасов радионуклидов.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, радиоэкология, радионуклиды, радиоактивное загрязнение, болотно-речная система, почва, донные отложения.

Введение

В Уральском регионе одним из крупных ядерных объектов является Белоярская атомная электростанция им. И.В. Курчатова (БАЭС) – единственная в мире электростанция, на промплощадке которой эксплуатировались энергоблоки разного типа, работает в штатном режиме более 50 лет. БАЭС расположена в 42 км к востоку от г. Екатеринбурга на берегу Белоярского водохранилища. Первые 2 энергоблока с реакторами на тепловых нейтронах АМБ-100 и АМБ-200 введены в эксплуатацию в 1964 г., 1967 г. и выведены из эксплуатации в 1983 г., 1990 г. соответственно. С 1980 г. по настоящее время работает энер-

гоблок № 3 с реактором на быстрых нейтронах БН-600, с 2016 г. – энергоблок № 4 БН-800. Расположенный рядом Институт реакторных материалов (ИРМ) имеет исследовательский реактор бассейнового типа ИВВ-2М мощностью 15 МВт (эксплуатируется с 1966 г.).

Штатная работа реакторов сопровождается контролируемыми газоаэрозольными выбросами и сбросами слаборадиоактивных дебалансных вод; в их составе в окружающую среду поступают целый ряд техногенных радионуклидов. Наиболее значимыми являются ^3H , ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{238,239,240}\text{Pu}$. Небольшое количество радионуклидов попадает в окружающую среду от любых реакторных

✉ Михайловская Людмила Николаевна – канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Ин-т экологии растений и животных Уральского отделения РАН (Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202), e-mail: mila_mikhaylovskaya@mail.ru;

Коржавин Александр Васильевич – канд. ветеринар. наук, зам. зав. отд. континентальной радиоэкологии, ст. науч. сотр., Ин-т экологии растений и животных Уральского отделения РАН (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-т экологии растений и животных Уральского отделения РАН (Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202), e-mail: vera_zar@mail.ru;

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

установок, как правило, оно на порядки ниже допустимых норм, принятых в отечественных нормативно-методических документах и рекомендациях МАГАТЭ [3, 6]. Сотрудники отдела континентальной радиоэкологии Института экологии растений и животных с 1978 г. проводили комплексные радиоэкологические исследования в 30-километровой зоне БАЭС. Многолетние наблюдения показали, что загрязнение территории наблюдаемой зоны $^{239,240}\text{Pu}$ поддерживается на уровне глобального фона ($0,03\text{--}0,30\text{ кБк/м}^2$), а ^{90}Sr ($1,2\text{--}3,0\text{ кБк/м}^2$) и ^{137}Cs ($2,3\text{--}6,8\text{ кБк/м}^2$) – 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].

Запас долгоживущих радионуклидов (преимущественно ^{137}Cs) в Ольховском болоте, в которое сбрасывали слаборадиоактивные стоки, составлял около $3,7 \cdot 10^{12}$ Бк, что превратило болото в потенциальный источник загрязнения сопредельных территорий.

Цель исследований – оценка радиоэкологического состояния зоны жидких сбросов

Белоярской АЭС на основе разработанной системы радиоэкологического мониторинга долгоживущих радионуклидов в окружающей среде.

Материал 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. Территория ОБРС разделена дорогой пос. Белоярский – г. Асбест в районе истока р. Ольховка. Река Ольховка забрана в трубу диаметром 1,5 м, проходящую под дорожным полотном.

В настоящее время ОБРС является отчужденной территорией, входящей в санитар-

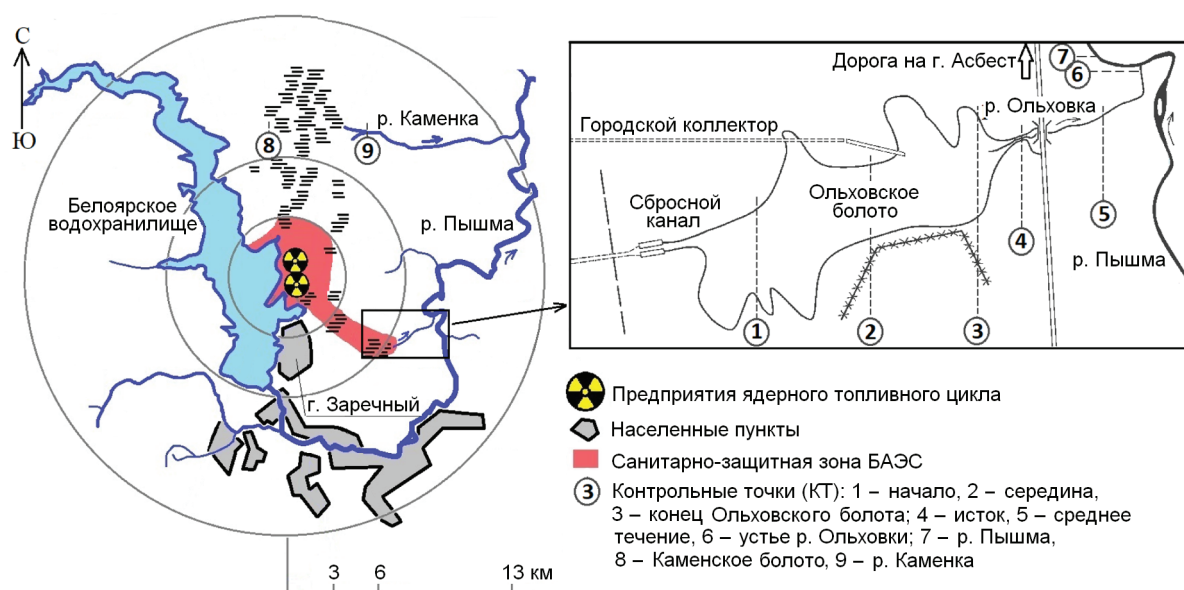


Рис. 1. Схема района исследований.

но-защитную зону БАЭС. Центральная часть болота занята торфянистыми образованиями, чередующимися с толщами илистых отложений. Наиболее интенсивное осадкообразование наблюдается в месте контакта сбросных вод АЭС и болота. В растительном покрове преобладают осоково-рогозовые и осоково-березовые фитоценозы. В береговой зоне болота и р. Ольховка распространены смешанные березово-ольховые травянистые леса, произрастающие на бурых лесных почвах с разной степенью оторфованности и оглеенности [1].

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 связанным 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, 4].

Статистическая обработка данных выполнена с использованием непараметрического критерия Манна-Уитни в программе Statistica 12.0.

Результаты и их анализ

Концептуальный подход к организации радиоэкологического мониторинга зоны влияния БАЭС основан на многолетних исследованиях, выявивших динамику накопления и перераспределения радионуклидов в основных компонентах ОБРС; роль стоковых процессов в переносе излучателей из накопительного депо (донные отложения) в зону транзита и факторы среды, обуславливающие изменение радиационной ситуации [4]. При разработке общей концепции организации радиоэкологического мониторинга в районе БАЭС учитывали пути поступления и набор загрязнителей, среди которых наибольшее вни-

мание уделяли долгоживущим дозообразующим радионуклидам (^{90}Sr , ^{137}Cs). Ольховская болотно-речная система с сопредельным почвенным покровом была выделена в качестве самостоятельного объекта мониторинга. Разработанная модель мониторинга включает несколько этапов, на каждом из которых решаются следующие задачи:

1) изучение ландшафтно-географических, климатических и социально-экономических особенностей территории; анализ структуры земельных угодий, типового разнообразия и физико-химических свойств почв, ботанического описания обследуемых природно-территориальных комплексов; оценка антропогенной нагрузки на них, которая неизбежно влечет за собой изменение состояния и свойств основных компонентов окружающей среды;

2) слежение за содержанием загрязнителей в различных объектах окружающей среды: природных водах, донных отложениях, почвенном и растительном покрове, которые играют роль природных планшетов;

3) изучение миграционных процессов проводится классическими методами радиоэкологических ландшафтно-геохимических исследований, позволяющими выявить на территории зоны аккумуляции или рассеяния радионуклидов; оценка физико-химического состояния радионуклидов в почвах, анализ временной динамики параметров радионуклидного загрязнения позволяют получить сведения о скорости и направленности миграционных процессов;

4) оценка вклада БАЭС в радионуклидное загрязнение наблюдаемой зоны, как правило, проводится на основании сравнения с фоновыми уровнями загрязнения сопредельных территорий;

5) оценка состояния экосистем и прогноз возможных негативных последствий воздействия атомной электростанции;

6) разработка рекомендаций по предупреждению и устранению негативных тенденций, связанных с загрязнением экосистем.

Регламент проведения мониторинга определяется объектом и задачами мониторинга, включает: схему размещения контрольных участков и постоянных пробных площадок; перечень объектов мониторинга; наблюдаемые параметры; способы или процедуры определения контролируемых параметров (непосредственные измерения, отбор проб и т. д.); периодичность проведения наблюдений; методы анализа отобранных проб.

В ходе настоящего исследования оценили временную динамику уровней радионуклидного загрязнения разных элементов ОБРС. Поверхностный слой илистых отложений, формирующихся в болоте, в первую очередь поглощает поступившие с водным стоком радионуклиды и наиболее динамично отражает изменение радиозоологической ситуации. В период пуска 3-го энергоблока БН-600 (1978–1980 гг.) максимальное загрязнение Ольховского болота было отмечено в верхней части в районе впадения сбросного канала (начало болота). Концентрация ^{90}Sr в илистых отложениях достигала 480–3800 Бк/кг, а ^{137}Cs – 9000–110 000 Бк/кг. В истоке р. Ольховка концентрация ^{90}Sr в иле снижалась до 60–870 Бк/кг, а ^{137}Cs – до 8000–51 000 Бк/кг. Совершенствование технологий очистки и ужесточение нормирования сбросов привели к тому, что радиационная нагрузка на ОБРС снижалась с течением времени, а фронт загрязнения болота продвигался по направлению вектора стока [1, 4]. Образование прострельной струи (фактически русла на территории болота) привело к вымыванию радионуклидов из верхней части болота. 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 ^{90}Sr в них снизилась до 30–100 Бк/кг, а ^{137}Cs – до 1000–5000 Бк/кг воздушно-сухого вещества [3]. За истекшие 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 потерь радионуклидов за счет естественного распада и миграции. Наблюдаемые изменения пространственного распределения радионуклидов обусловлены миграционными процессами.

Оценка плотности загрязнения радионуклидами в верхнем 0–30-сантиметровом слое почв и донных отложений показала, что депонирующие компоненты ОБРС загрязнены ^{90}Sr неравномерно без явно выраженного тренда (табл. 1). Максимальное содержание радионуклида в донных отложениях составило 12,7 кБк/м², что превышает контрольный уровень не более чем в 6 раз. Загрязнение ^{137}Cs 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 затопляемой береговой зоны болота. Исключение составляет участок заболачиваемой поймы верхнего течения р. Ольховки, здесь плотность загрязнения ^{137}Cs достигает 942,8 кБк/м², а в пойме р. Пышмы – снижается на порядок. Повышенный уровень загрязнения поймы р. Пышмы может быть обусловлен не только стоком из Ольховского болота, но и миграцией радионуклидов с водами реки из Белоярского водохранилища – водоема-охладителя БАЭС.

Сопоставление этих результатов с данными, полученными в период пуска блока БН-600 (1978–1985 гг.), показывает, что фронт радио-

Таблица 1

Плотность загрязнения радионуклидами сопряженных стоком участков Ольховской болотно-речной системы (слой 0–30 см, кБк/м²)

Радионуклид	Место отбора проб	КТ	Донные отложения	Почва	
				затопляемая	суходол
^{90}Sr	Ольховское болото	1	7,0 ± 4,9	1,3 ± 0,4	
		2	10,2 ± 10,0	16,3 ± 11,8	2,5 ± 0,4
		3	7,4 ± 1,0	1,3 ± 0,4	2,7 ± 1,3
	Р. Ольховка	4	2,5 ± 0,8	18,9 ± 3,7	2,4 ± 0,9
	Р. Пышма	7	12,7 ± 15,5	3,4 ± 0,6	
	Каменское болото	8	1,9 ± 0,6	3,2 ± 0,9	1,7 ± 0,5
	Р. Каменка	9	1,8 ± 1,3	4,0 ± 1,0	2,9 ± 1,4
^{137}Cs	Ольховское болото	1	433,6 ± 206,6	6,9 ± 2,3	
		2	193,2 ± 121,5	23,1 ± 6,5	4,4 ± 1,2
		3	384,0 ± 42,5	6,0 ± 2,0	5,3 ± 0,8
	Р. Ольховка	4	36,0 ± 17,8	942,8 ± 338,9	6,5 ± 1,5
	Р. Пышма	7	75,2 ± 52,2	43,4 ± 30,7	
	Каменское болото	8	6,2 ± 1,9	3,2 ± 0,9	5,2 ± 0,4
	Р. Каменка	9	4,7 ± 1,6	4,7 ± 1,6	6,4 ± 1,1

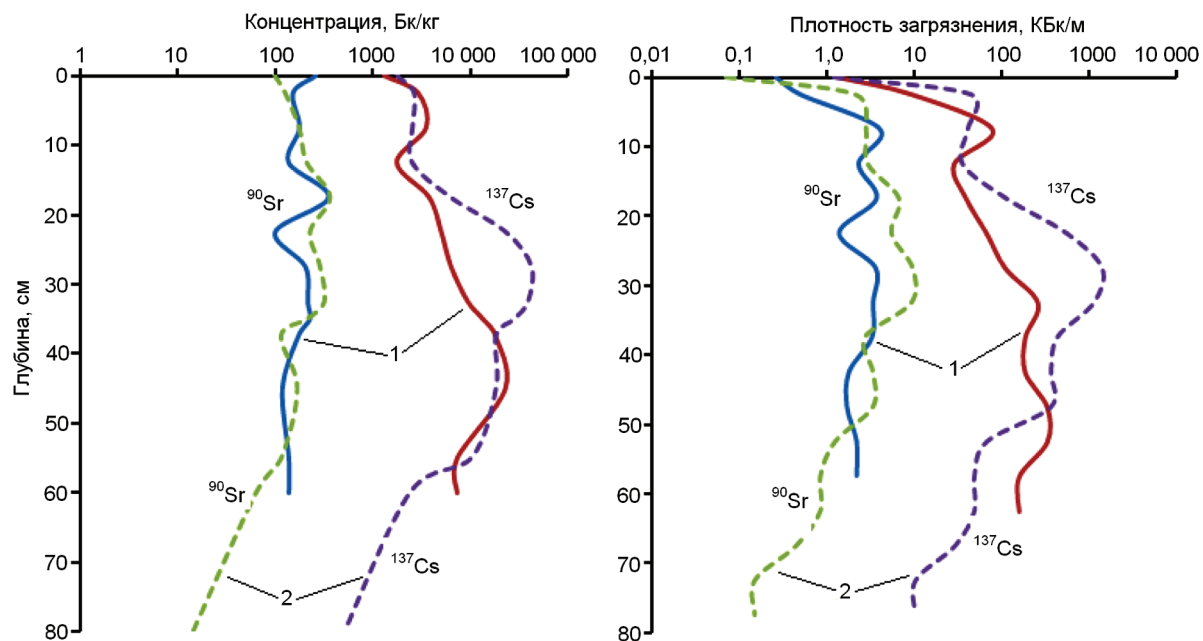


Рис. 2. Вертикальное распределение радионуклидов в торфяно-илистых отложениях болота (1) и аллювиальной торфяно-глеевой почве (2).

нуклидного загрязнения донных отложений продолжает смещаться по вектору стока [1, 4]. Миграция радионуклидов на сопредельную территорию по-прежнему ограничена прибрежной полосой затапливаемых почв.

За период функционирования БН-600 существенно 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 ^{90}Sr более или менее равномерно распределился по глубине аллювиальной торфяно-глеевой почвы и торфяно-илистых донных отложений болота (рис. 2). Концентрация и плотность загрязнения ^{137}Cs увеличиваются с глубиной. В донных отложениях загрязнение ^{137}Cs достигает максимума (678 кБк/м^2) на глубине 40–50 см, в почве (1400 кБк/м^2) – на глубине 30 см.

Сложившееся за многолетний период функционирования БАЭС пространственное распределение радионуклидов в болотно-речной системе определяется, главным образом, параметрами водного стока. В 2007 г. был пущен 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 (табл. 2). Показано, что после пуска обводного канала концентрация ^{90}Sr в воде и частицах твердого стока в период паводка снизилась в 2–4 раза (U-тест, $n = 8$, $p = 0,05$), а ^{137}Cs – в 4 раза. В межень концентрация радионуклидов в компонентах водного стока в большинстве случаев не изменилась (U-тест, $n = 8$, $p = 0,98$).

Масштабы миграции ^{90}Sr в половодье и межень близки, вынос происходит преимущественно с водорастворимыми соединениями (табл. 3). Большая часть ^{137}Cs перемещается за пределы болота в период половодья, равномерно распределяясь между водой

Таблица 2

Удельная активность радионуклидов в компонентах водного стока до (2004 г.) и после (2012 г.) пуска обводного канала, Бк/кг (использованы данные [1])

Радионуклид	Год	Вода		Твердый сток	
		половодье	межень	половодье	межень
^{90}Sr	2004	$0,25 \pm 0,04$	$0,11 \pm 0,04$	206 ± 58	790 ± 244
	2012	$0,07 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,01$	105 ± 30	270 ± 70
^{137}Cs	2004	$0,60 \pm 0,03$	$0,10 \pm 0,01$	5460 ± 686	1420 ± 220
	2012	$0,15 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,01$	1502 ± 740	1335 ± 154

Таблица 3

Вынос радионуклидов из Ольховского болота с водным стоком (использованы данные [1])

Радионуклид	Год	Вынос, %				Всего, n · 10 ⁶ Бк·год ⁻¹
		вода		твердый сток		
		половодье	межень	половодье	межень	
⁹⁰ Sr	2004	55,4	35,9	4,1	4,5	99,2
	2012	32,0	59,7	4,4	3,9	48,2
¹³⁷ Cs	2004	47,0	11,5	38,7	2,8	281,1
	2012	35,1	23,6	31,5	9,7	94,8

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

Анализ временной динамики параметров радионуклидного загрязнения донных отложений и почв позволяет заключить, что радиоэкологическая ситуация в Ольховской болотно-речной системе изменилась. Фронт радионуклидного загрязнения продвинулся как по горизонтальному, так и вертикальному векторам стока. В настоящее время наиболее загрязненным элементом являются донные отложения Ольховского болота, в которых на начальных этапах накопилось $3,7 \cdot 10^{12}$ Бк (100 Ки) радионуклидов (преимущественно ¹³⁷Cs) [4]. За 35-летний период содержание радионуклидов в болоте снизилось в основном за счет двух факторов:

- под влиянием миграционных процессов;
- естественного распада радионуклидов.

При этом, можно предположить, что миграционные процессы оказали наиболее значимое влияние. Так, за счет естественного распада запас радионуклидов мог снизиться, примерно, в 2,3 раза, а фактически загрязнение верхних слоев донных отложений уменьшилось на порядок величин.

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.

Объемная активность радионуклидов в воде, поступающей из Ольховского болота в открытую гидрографическую сеть, на 2 порядка величин ниже уровня вмешательства (¹³⁷Cs – 11 Бк/кг, ⁹⁰Sr – 4,9 Бк/кг), предусмотренного НРБ-99/2009 [2]. Уровень радионуклидного загрязнения донных отложений и почв позволяет квалифицировать их как радиоактивные отходы лишь в наиболее загрязненных элементах Ольховской болотно-речной системы, содержание ¹³⁷Cs в которых – не менее 10 кБк/кг [2].

Радиоэкологическая ситуация, сложившаяся в Ольховской болотно-речной системе, характеризует ее потенциальную опасность. Развитие миграционных процессов (перемещение фронта загрязнения по вектору стока) может привести к увеличению выноса радионуклидов в открытую гидрографическую сеть и требует постоянного контроля. Для взвешенной оценки радиационной опасности Ольховской болотно-речной системы сотрудниками Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук на 2020 г. была разработана «Программа комплексного радиационного обследования Ольховской болотно-речной системы после изменения гидрологического режима (строительства обводного коллектора)», которая согласована со всеми заинтересованными службами Белоярской АЭС и готова к реализации. Она включает в себя изучение изменения ландшафтно-географических характеристик системы, их влияние на масштабы миграции радионуклидов, оценку параметров не только жидкого, но и твердого водного стока, а также инвентаризацию современных запасов радионуклидов с учетом глубины их вертикальной миграции в почвах и донных отложениях.

Литература

1. Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Михайловская Л.Н. Итоги многолетних радиоэкологических исследований природных экосистем в зоне жидких сбросов Белоярской атомной электростанции // Вопросы радиационной безопасности. 2009. № 4. С. 19–27.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523–09): утв. и введ. 01.09.2009 г. М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.

3. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2014 году : ежегодник / ред. кол.: Шершакова В.М., Булгакова В.Г., Крышева И.И. [и др.]. Обнинск : НПО Тайфун, Росгидромет, 2015. 346 с.

4. Трапезников А.В., Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Трапезникова В.Н. Миграция радионуклидов в пресноводных и наземных экосистемах : в 2 т. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2007. Т. 2. 400 с.

5. Цветнова О.Б., Якубовская П.М., Щеглов А.И. Радиоэкологическая характеристика почвенно-растительного покрова и водных объектов в зоне влияния Нововоронежской атомной электростанции // 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.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи. Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН, тема № АААА-А19-119032090023-О.

Поступила 21.06.2020 г.

Участие авторов: Л.Н. Михайловская – сбор первичных материалов, обработка и анализ результатов исследования, подготовка текста статьи, перевод аннотации на иностранный язык; А.В. Коржавин – сбор первичных материалов, обсуждение результатов исследований, разработка концептуальной модели, редактирование окончательного варианта статьи; В.Н. Трапезникова – сбор данных для разработки концептуальной модели, обсуждение результатов исследований и разработка концептуальной модели, редактирование окончательного варианта статьи; А.В. Трапезников – сбор первичных материалов, обсуждение результатов исследований, разработка концептуальной модели, редактирование окончательного варианта статьи.

Для цитирования. Михайловская Л.Н., Коржавин А.В., Трапезникова В.Н., Трапезников А.В. Концептуальная модель и многолетние результаты радиоэкологического мониторинга зоны влияния жидких сбросов Белоярской атомной электростанции // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2020. № 3. С. 68–75. DOI: 10.25016/2541-7487-2020-0-3-68-75.

Conceptual model and results of long-term radioecological monitoring of the effect zone of liquid discharges from the Beloyarsk nuclear power plant

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

Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
(202, 8th Marta Str., Yekaterinburg, 620144, Russia)

✉ Lyudmila Nikolaevna Mikhailovskaya – PhD Biol. Sci., Senior Researcher, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (202, 8th Marta St., Yekaterinburg, 620144, Russia), e-mail: mila_mikhaylovskaya@mail.ru;

Aleksandr Vasil'evich Korzhavin – PhD Veterinary Sci., Senior Researcher, Deputy Head of the Continental Radioecology Department, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (202, 8th Marta Str., Yekaterinburg, 620144, Russia), e-mail: bfs_zar@mail.ru;

Vera Nikolaevna Trapeznikova – PhD Biol. Sci., Senior Researcher, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (202, 8th Marta Str., Yekaterinburg, 620144, Russia), e-mail: vera_zar@mail.ru;

Aleksandr Viktorovich Trapeznikov – Dr. Biol. Sci., Head of the Continental Radioecology Department, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (202, 8th Marta Str., Yekaterinburg, 620144, Russia), e-mail: vera_zar@mail.ru

Abstract

Relevance. The long-term use of the Olkhovsk bog as a natural filter on the way of the liquid discharges of the Beloyarsk Nuclear Power Plant (BNPP) led to radionuclide contamination of the Olkhovsk bog-river system that became a source of secondary pollution.

Intention. To assess the radioecological state of the BNPP liquid waste zone based on a special system for monitoring environmental pollution by long-lived radionuclides.

Methodology. Samples of water, bottom sediments, and soils were studied at the reference points of the bog-river system.

Results and Discussion. Over the 35 years of the BNPP operation, pollution of the upper layers of bottom sediments has decreased due to redistribution of radionuclides with surface runoff, depth migration and radioactive decay. After the reconstruction of discharges, the removal of radionuclides into open hydrographic network decreased by 2–3 times and amounted to $48.2 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{year}^{-1}$ for ^{90}Sr and $94.8 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{year}^{-1}$ for ^{137}Cs . The migration of radionuclides to adjacent Olkhovsk bog-river system territories is still limited by the coastal strip of flooded soils.

Conclusion. Radioecological situation in the Olkhovsk bog-river system is potentially dangerous. Migration processes (movement of the pollution front along the drain vector) can result in increased transfer of radionuclides into an open hydrographic network and require constant monitoring. For a balanced assessment of the radiation hazard of Olkhovsk bog-river system, it is necessary to assess current stocks of radionuclides.

Keywords: emergency, radioecology, radionuclides, radiological contamination, bog-river system, soil, bottom sediments.

References

1. Molchanova I.V., Karavaeva E.N., Mikhailovskaya L.N. Itogi mnogoletnikh radioekologicheskikh issledovaniy prirodnikh ekosistem v zone zhidkikh sbrosov Beloyarskoi atomnoi elektrostantsii [The Results of Long-Term Radioecological Monitoring of Natural Ecosystems in the Area of Liquid Waste Discharges from the Beloyarsk NPP]. *Voprosy radiatsionnoi bezopasnosti* [Radiation Safety]. 2009. N 4. Pp. 20–26. (In Russ.)
2. Normy radiatsionnoi bezopasnosti (NRB-99/2009): sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy (SanPiN 2.6.1.2523–09) [Sanitary and epidemiological requirements and codes 2.6.1.2523–09]. Moskva. 2009. 100 p. (In Russ.)
3. Radiatsionnaya obstanovka na territorii Rossii i sopredel'nykh gosudarstv v 2014 godu [Radiological Situation in the Territory of Russia and Neighboring Countries in the Year 2014]. Eds.: V.M. Shershakov, V.G. Bulgakov, I.I. Kryshev [et al.]. Obninsk. 2015. 346 p. (In Russ.)
4. Trapeznikov A.V., Molchanova I.V., Karavaeva E.N., Trapeznikova V.N. Migratsiya radionuklidov v presnovodnykh i nazemnykh ekosistemakh [Radionuclides migration in fresh-water and land ecological systems]: in 2 Vol. Ekaterinburg. 2007. Vol. 2. 400 p. (In Russ.)
5. Tsvetnova O.B., Yakubovskaya P.M., Shcheglov A.I. Radioekologicheskaya kharakteristika pochvenno-rastitel'nogo pokrova i vodnykh ob'ektov v zone vliyaniya Novovoronezhskoi atomnoi elektrostantsii [Radioecological characteristic of soil-plant cover and water objects within the impact zone of Novovoronezh nuclear power plant]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie* [Bulletin of Moscow University. Series 17: Soil science]. 2016. N 1. Pp. 26–31. (In Russ.)
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.

Received 21.06.2020

For citing. Mikhailovskaya L.N., Korzhavin A.V., Trapeznikova V.N., Trapeznikov A.V. Kontseptual'naya model' i mnogoletnie rezul'taty radioekologicheskogo monitoringa zony vliyaniya zhidkikh sbrosov Beloyarskoi atomnoi elektrostantsii. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychainykh situatsiyakh*. 2020. N 3. Pp. 68–75. (In Russ.)

Mikhailovskaya L.N., Korzhavin A.V., Trapeznikova V.N., Trapeznikov A.V. Conceptual model and results of long-term radioecological monitoring of the effect zone of liquid discharges from the Beloyarsk nuclear power plant. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2020. N 3. Pp. 68–75. DOI: 10.25016/2541-7487-2020-03-68-75

Вышла в свет книга



Многопрофильная клиника XXI века. Инновации и передовой опыт: материалы IX междунар. науч. конгр. / под ред. С.С. Алексанина. СПб. : Цифрофсет, 2020. 290 с.

ISBN 978-5-905853-56-2. Тираж 500 экз.

Составители: Рыбников В.Ю., Савельева М.В., Курсина О.А.

Представлены 123 материала докладов участников конгресса (10–12.09.2020 г.), расположенных в алфавитном порядке авторов. Тематическими направлениями конгресса явились: коморбидные состояния в кардиологической практике; неотложная ангиология; интегративная пластическая хирургия в многопрофильном медицинском центре МЧС России; патология корня аорты, современные возможности диагностики и лечения; медицина чрезвычайных ситуаций, арктическая медицина; современные эндовидеохирургические методы лечения «сложных грыж» передней брюшной стенки; от заявки до результата лабораторных исследований: роль и место специалистов со средним медицинским образованием; коронавирусная инфекция (COVID-19) и проблема одышки в практике врачей-интернистов; стратегия борьбы с резистентностью: от диагностики к культуре антибиотикотерапии; клиническая лабораторная диагностика при онкопатологии; гипербарическая оксигенация – поддержка в пластической хирургии и при критической ишемии тканей; неотложная помощь в кардиологии; авиационная медицинская эвакуация в чрезвычайных ситуациях: опыт и направления развития и др.