

УДК 621.039.8+631.4+581.9

© 2007

ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ В РАЙОНЕ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС

Е.Н. Караваева, Л.Н. Михайлова, И.В. Молчанова, А.В. Трапезников
Россия, г. Екатеринбург, Институт экологии растений и животных УрО РАН

Изучено содержание долгоживущих радионуклидов ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в почвах селитебной территории градообразующего предприятия Белоярской АЭС. Для $^{239,240}\text{Pu}$ оно составляет около 100, для ^{90}Sr – 1000 Бк/м², что соответствует уровню глобальных выпадений в поясе между 50° и 60° северной широты. Отмечено повышенное (до 6000 Бк/м²) содержание ^{137}Cs в почвах, включая городские, 30-км зоны Белоярской АЭС, что характерно в целом для Уральского региона. По накоплению ^{90}Sr и ^{137}Cs обследованные виды травянистых растений не отличаются от таковых на фоновых участках.

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Одним из многочисленных ядерных объектов Уральского региона является Белоярская АЭС (БАЭС), расположенная вблизи таких крупных городов, как Екатеринбург и Асбест. Первая очередь БАЭС включала два энергоблока, введенных в эксплуатацию в 1964 и 1967 гг. В 1969 г. они достигли проектной мощности 300 МВт, а к 1989 г. – выведены из эксплуатации. Вторая очередь БАЭС включает энергоблок на быстрых нейтронах БН-600, который былпущен в 1980 г. и эксплуатируется до настоящего времени. Даже при штатной работе реакторов происходили контролируемые выбросы газоаэрозолей в воздушный бассейн и сбросы жидких слаборадиоактивных дебалансных вод, что обусловило поступление в окружающую среду целого ряда техногенных радионуклидов. Наиболее значимыми из них являются ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{65}Zn , ^{60}Co , ^{3}H , $^{238-240}\text{Pu}$.

Ранее авторами проводился многолетний (1978–2002 гг.) радиоэкологический мониторинг ^{90}Sr и ^{137}Cs в 30-км зоне БАЭС [1, 2]. По уровню содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в компонентах природных экосистем проведено ранжирование обследуемой территории с выделением импактной, буферной и фоновой зон. Импактная зона располагается в области максимальных концен-

траций радионуклидов, буферная – примыкает к ней и включает территорию, на которой прослеживается падение градиента радионуклидного загрязнения до фонового уровня, который сформировался в основном за счет глобального загрязнения биосфера в период массированного испытания ядерного оружия (50–60-е гг. XX века). По данным [3] в поясе между 50° и 60° с.ш. интегральная плотность загрязнения ^{90}Sr с учетом радиоактивного распада составляет 1,5 кБк/м², ^{137}Cs – 2,4 кБк/м², а – изотопов плутония варьирует в пределах 30–300 Бк/м² [4]. В настоящее время оценка “фона” представляет довольно трудную задачу, так как в регионах с высокой техногенной нагрузкой, как правило, имеются источники дополнительного поступления радионуклидов в окружающую среду. Например, в работе [5] показано, что плотность загрязнения обследованных участков почвенно-го покрова на Южном Урале варьирует от 4,6 до 6,8 кБк/м². Причиной повышенного содержания ^{137}Cs в почвах Уральского региона, наряду с выбросами атомно-энергетических предприятий, является Чернобыльская авария 1986 [3]. В результате проведенного радиоэкологического мониторинга к импактной зоне была отнесена Ольховская болотно-речная экосистема, в которую БАЭС в течение длительного времени (25 лет) сбрасывала слаборадиоактивные де-

балансные воды. Эта экосистема расположена в 5-ти км к юго-востоку от Белоярской АЭС. Изучение основных компонентов Ольховского болота позволило определить, что его донные отложения загрязнены преимущественно ^{137}Cs . Полоса гидроморфных почв шириной до 50 м, примыкающих к болоту, определена как буферная зона. Большая часть 30-км зоны за пределами воздействия жидких сбросов атомной станции, условно была отнесена к фоновой территории. Ее обследование показало, что газоаэрозольные выбросы станции не вносят ощутимого вклада в загрязнение примыкающих наземных экосистем ^{90}Sr и ^{137}Cs . Следует отметить, что мониторинг фоновой территории практически не включал обследование городской застройки, окрестностей и рекреационных зон города энергетиков Заречного, а также систематических наблюдений за поведением изотопов плутония. Интерес к исследованию содержания плутония в природных средах и селитебных территориях определяется высокой биологической опасностью его изотопов, имеющих большие периоды полураспада – (^{238}Pu – 87,74 года, ^{239}Pu – 24070 лет, ^{240}Pu – 6580 лет). Важным, является и то, что при эксплуатации БН-600 с 1988 г. осуществляется программа перехода на использование смешанного уран-плутониевого топлива (mixed-oxide fuel или МОКС-топливо) [6]. Помимо наработки нового плутониевого топлива быстрый реактор используется для “сжигания” оружейного плутония. Сокращение его запасов является важной экологической проблемой. Использование плутония в качестве одного из компонентов ядерного топлива возрастет с пуском следующего энергоблока на быстрых нейтронах – БН-800.

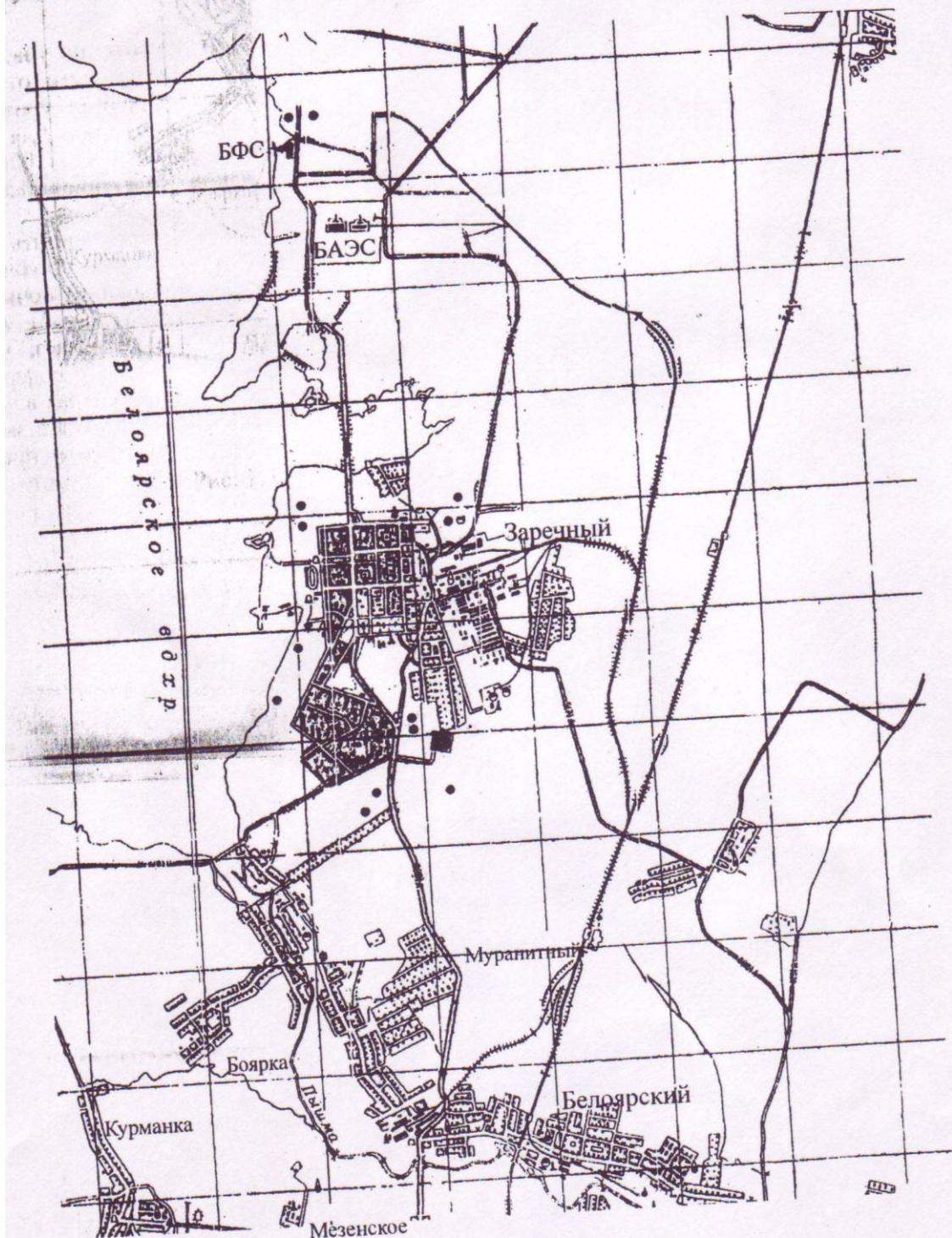
Цель настоящей работы состоит в оценке содержания ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в почвенно-растительном покрове 30-км зоны БАЭС, в которой как самостоятельный объект исследований была выделена селитебная территория – г. Заречный.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Город Заречный расположен на берегу Белоярского водохранилища в 3-х км от атомной станции. Окрестности города представляют собой слабохолмистую равнину, покрытую в большей части сравнительно молодыми бе-

резово-сосновыми лесами с примесью осины. Леса носят следы интенсивного антропогенного воздействия. Почвенный покров формируется на коре выветривания гранито-гнейсов. Характерной особенностью обследованных почв является маломощный слаборазвитый профиль и близкое к поверхности залегание материнских горных пород. В лесных массивах береговой зоны преобладают примитивно-аккумулятивные или слабо развитые бурые лесные почвы, в профиле которых выделяется маломощная рыхлая лесная подстилка. Гумусовый горизонт мощностью 5–10 см серовато-бурого цвета, легкого механического состава, слабо оструктуренный переходит в горизонт В или ВС, обогащенный продуктами выветривания материнских горных пород. Для определения уровней загрязнения почвенного покрова в смешанном лесу, на окраинах г. Заречный, и в пляжной зоне закладывали пробные площадки с учетом сторон света и расстояния от БАЭС (рис. 1). Почвы отбирали слоями из трех разрезов, расположенных в углах равнобедренного треугольника со стороной 10 м. При таких условиях пробные площадки (треугольники площадью около 40 м²) представительно характеризуют территорию 0,2–0,5 км². Все образцы отбирали с учетом площади, что позволяет оценивать, наряду с удельной активностью, плотность загрязнения радионуклидами обследуемых участков. При приготовлении средней представительной пробы (массой не менее 1 кг) 3 индивидуальные пробы объединяли с учетом объемного веса, тщательно перемешивали и отбирали аликвоту. В непосредственной близости от разрезов в двух-трех повторностях срезали надземную массу доминирующих травянистых растений. Кроме того, пробные участки закладывали на разном удалении от БАЭС за городом в секторах, ориентированных по сторонам света.

Содержание ^{90}Sr в образцах определяли радиохимическим методом по ^{90}Y . Радиометрию полученных препаратов проводили на малофоновой установке (УМф-2000) с нижним пределом обнаружения 0,4 Бк и статистической ошибкой измерений не более 10 %; ^{137}Cs – спектрометрическим способом с использованием многоканального анализатора с германиевым полупроводниковым детектором. Нижний пре-



● – точки отбора проб

Рис. 1. Схема отбора проб на территории г. Заречный

дел обнаружения составлял 0,01 Бк, а ошибка счета не превышала 15 %. Содержание изотопов плутония в природных объектах определяли радиохимическим методом, включающим выделение их на ионообменной смоле, электролитическое осаждение на дисках, изготовленных из нержавеющей стали. Измерение содержания изотопов плутония (^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$) проводили с помощью альфа-спектрометра фирмы Canberga-Packard с ошибкой не более 10 %. Предел обнаружения составляет 0,001 Бк.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведено содержание радионуклидов в почвах обследованных участков. Отметим, что ^{238}Pu в образцах находился на пределе обнаружения, т.е. не превышал 0,001 Бк. Поэтому здесь и далее по тексту будут приведены данные лишь для изотопов $^{239,240}\text{Pu}$. Видно, что почвы береговой зоны водохранилища характеризуются наименьшим содержанием радионуклидов. Высокий уровень увлажнения этих почв, хорошая дренированность и направленность вектора поверхностного и внутрипочвенного стока вносят вклад в процесс их самоочищения.

Статистическая обработка материала, характеризующего содержание радионуклидов в почвенном покрове прилежащей к городу территории, не выявила достоверных разли-

чий в зависимости от ориентации участков по сторонам света и их удаленности от БАЭС. Это позволило оценить средний уровень загрязнения почв селитебной зоны. Для $^{239,240}\text{Pu}$ он составляет около 100, для ^{90}Sr – 1000 Бк/м², а уровень содержания ^{137}Cs приближается к 6000 Бк/м².

Представляло интерес сравнить полученные оценки с результатами углубленного радиоэкологического обследования почвенного покрова 30-км зоны БАЭС (табл. 2). Анализ приведенного материала показывает, что на территории выделенных секторов содержание радионуклидов изменяется в 2–7 раз в зависимости от условий, складывающихся в экотопе. Однако различия, существующие в пределах секторов, превышают таковые между ними. Это дало возможность рассчитать средние значения и оценить лимиты вариации содержания исследуемых радионуклидов: 690–1265 Бк/м² (^{90}Sr), 2070–5000 Бк/м² (^{137}Cs), 35–107 Бк/м² ($^{239,240}\text{Pu}$). Сопоставление последних с данными табл. 1, показывает, что содержание каждого из радионуклидов в почвах селитебной зоны укладывается в соответствующий уровень вариабельности. При этом плотности загрязнения ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ почвенного покрова в районе БАЭС не отличаются от таковых для глобальных выпадений в поясе между 50° и 60° с. ш., а ^{137}Cs – превышают их, хотя и укладываются в пределы значений, характерных для Уральского региона. Факт повышенного содержания ^{137}Cs в

Содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в почвах селитебной территории, г. Заречный, Бк/м²

Расстояние от БАЭС, км	Место отбора проб	^{90}Sr	^{137}Cs	$^{239,240}\text{Pu}$
0,5	P-н Биостанции УрО РАН, расстояние от берега Белоярского водохранилища, м: 5	210±50	1050±200	12±3
	200	1420±240	9725±3690	102±53
3,0	Окраина города: северная	915±700	5580±106	60±17
	северо-восточная	790±212	6540±1646	113±81
4,0	западная (пляжная зона)	1100±441	6375±699	62±47
5,0	восточная	620 ±194	4785±820	125±76
	южная	1330±185	6195±415	129±14
Среднее		950±126	5895±376	97±15

ВОПРОСЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ № 1, 2007

Урала требует пристального внимания
специалистов-радиоэкологов и более четкой
идентификации источников загрязнения.

Содержание $^{239,240}\text{Pu}$, ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах 30-км зоны БАЭС, $\text{Бк}/\text{м}^2$

Таблица 2

Место отбора проб ^{137}Cs	Расстояние от БАЭС, км	$^{239,240}\text{Pu}$	^{90}Sr	^{137}Cs
Северо-восточный сектор				
Смешанный лес	1,0	54	990	6100
Смешанный лес, вырубка	1,5	41	Не опр.	4300
Окрестности д. Режик, луг	5,0	8	1400	4100
Окрестности д. Малиновка, смешанный лес	11,0	23	1300	5300
Окрестности г. Асбест, смешанный лес	28,0	50	Не опр.	5100
Среднее по сектору		35 ± 10	1230 ± 210	4980 ± 430
Юго-восточный сектор				
Смешанный лес	6,0	127	1900	4900
Окрестности н.п. Муранитный, смешанный лес	5,0	113	570	2000
Долина р. Пышмы, смешанный лес.	7,0	165	1750	6800
Окрестности д. Ялунино, смешанный лес	9,0	24	900	2400
Окрестности н.п. Белоярский, луг	10,0	Не опр.	1200	900
Среднее по сектору		107 ± 40	1265 ± 215	3400 ± 860
Западный сектор				
Окрестности н.п. Сарапулка, смешанный лес	10,0	31	900	2600
Окрестности н.п. В. Дуброво, смешанный лес	18,0	25	800	2200
Окрестности г. Березовск, луг	27,0	79	360	1400
Среднее по сектору		45 ± 22	687 ± 226	2066 ± 504

почвах Урала требует пристального внимания специалистов-радиоэкологов и более четкой идентификации источников загрязнения.

В результате исследований, проведенных нами ранее, было показано, что концентрация ^{90}Sr и ^{137}Cs в надземной массе разных видов травянистых растений, произрастающих на новых участках, находится в интервале значений 2–100 $\text{Бк}/\text{кг}$ [5]. В обозначенный интервал укладывается и приведенное ниже содержание этих радионуклидов ($\text{Бк}/\text{кг}$) в опробованных растениях селитебной территории:

Вид растения	^{90}Sr	^{137}Cs
Крапива двудомная	16 ± 3	7 ± 2
Иван-чай узколистный	17 ± 4	$2 \pm 0,4$
Пижма обыкновенная	6 ± 2	$2 \pm 0,5$
Сныть обыкновенная	70 ± 15	$5 \pm 1,0$
Мать-мачеха	60 ± 10	$5 \pm 1,5$

Следует отметить, что при повышенной плотности загрязнения почв ^{137}Cs фиксируется более низкое его содержание в растениях по сравнению со стронцием. Прочная сорбция и низкая миграционная способность этого нуклида в почвах являются барьерами на пути перехода в растения.

Таким образом, почти 50-летний период эксплуатации Белоярской АЭС не привел к какому-либо увеличению содержания долгоживущих радионуклидов в почвенно-растительном покрове 30-км зоны, включая территорию г. Заречный. Повышенная плотность загрязнения почв ^{137}Cs является не столько следствием работы станций, сколько отражением радиоэкологической ситуации, складывающейся в Уральском регионе.

Работа выполнена при поддержке РФФИ: грант №04-05-64172, грант № 04-05-96086.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куликов Н.В., Молчанова И.В., Караваева Е.Н. Радиоэкология почвенно-растительного покрова. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – 172 с.
2. Молчанова И.В., Караваева Е.Н. Экологогеохимические аспекты миграции радионуклидов в почвенно-растительном покрове. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 161 с.
3. Aarkrog A., Dahlgaard H., Nielsen S. P. et. al. Radioactivity inventories from the Kyshtym and Karachay accidents: estimates based on soil samples collected in the South Urals (1990–1995) // Sci. of the Total Environmen. – 1997. – V. 201. – P. 137–154.
4. Материалы российско-американских слушаний: Утилизация плутония: проблемы и решения. – Екатеринбург, 2000. – 89 с.
5. Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Михайловская Л.Н. Радиоэкологические исследования почвенно-растительного покрова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 87 с.
6. Сараев О.М., Ошканов Н.Н., Мальцев В.В. Перспективы безопасной утилизации плутония в виде МОКС-топлива на Белоярской АЭС // Материалы российско-американских слушаний: Утилизация плутония: проблемы и решения. – Екатеринбург, 2000. – С. 57–59.