

УДК 630*551.521

Динамика накопления ^{137}Cs моховым покровом в сосновых и березовых насаждениях дальней и ближней зон аварии на ЧАЭС

Н.И. Булко¹, Н.В. Митин², М.А. ШАБАЛЕВА³, Н.В. ТОЛКАЧЕВА¹, А.К. КОЗЛОВ¹

Исследованы особенности поступления ^{137}Cs в моховый покров загрязненных радионуклидами лесов в дальней и ближней зонах за длительный послеаварийный период. Показаны статистически достоверные различия в накоплении ^{137}Cs моховым ярусом фитоценоза на почвах различной увлажненности и в различные периоды. Отмечено, что динамика поступления радионуклида в моховый покров с течением времени изменяется по синусоиде. Виды мхов различаются по характеру и величине накопления ^{137}Cs . Вследствие этого общее загрязнение мохового покрова зависит от долевого участия в его составе тех или иных видов мхов.

Ключевые слова: моховый покров, насаждения, ЧАЭС, почва, загрязнение.

The features of ^{137}Cs accumulation of bilberry in pine and birch forest stands on soils of various geneses are studied. The presence of species-specific radionuclide accumulation in the same growing conditions was established. By 2015, for 18 years since the beginning of observations, the pollution of the bilberry has decreased significantly. It is shown that differences in water availability of soils cause differences in ^{137}Cs TF in bilberry phytomass up to 2 orders of magnitude.

Keywords: phytomass, soil, plantations, bilberry, radionuclides.

Введение. Моховый ярус древесных насаждений, как правило, только в самых оптимальных для него условиях может доминировать в напочвенном покрове насаждений. Касается это, прежде всего, сосняков мшистых, ельников зеленомошников, сосняков на верховых торфах. В целом же, на объектах дальней и ближней зоны, где проводились исследования, мхи произрастают куртинно, либо их проективное покрытие не превышает 60 %. Преобладающими видами являются мох Шребера, дикранум, кукушкин лен, зеленые и сфагновые мхи.

Содержание ^{137}Cs в моховом покрове с момента аварии снизилось к настоящему времени весьма значительно. Если в 1987–1988 гг. оно в дальней зоне сосняков и березняков мшистых во мхе Шребера составляло $1\text{--}3 \cdot 10^5\text{--}10^6$ Бк/кг, то уже в 1990 г. не превышало $1 \cdot 10^6$ Бк/кг [1], а к настоящему времени снизилось еще на 1–2 порядка [2]. В контексте связи накопления ^{137}Cs черникой с наличием мохового покрова информация о тесной связи содержания ^{137}Cs в моховом покрове и влажности почвы в настоящее время приводится в работе О.М. Храмченковой и В.А. Собченко [3].

Объекты и методика исследований. Объектом исследований являлся моховый покров на 23 стационарных объектах в дальней и ближней зонах аварии на ЧАЭС в период с 1991 по 2014 гг.

Пробы мха отбирались на объектах в местах отбора образцов компонентов ППК для определения поверхностного загрязнения ^{137}Cs на пробных площадях стационаров и объектов. Отбор мха производился планшетной рамкой 20×20 см из 3-х–6-ти точек на каждой ПП.

Пробы высушивались, измельчались и готовились к измерениям. Измерения велись на бета-гамма-радиометре «МКС-АТ1315», сцинтилляционном гамма-спектрометре «Прогресс-320», гамма-спектрометре «КАМАК» со сцинтилляционным детектором $\text{NaI}(\text{Tl})$, 63×63 мм.

Используемая методика позволяла производить измерения активности ^{137}Cs в пробах с относительной погрешностью соответственно: до 20 %, 7–11 %, 10–25 % при нижнем пределе измерения – 3,7–4,0 Бк/кг.

Измерения производились в следующих геометриях: сосуд Маринелли 0,5 л; сосуд цилиндрический «плошка» высотой 50 мм и диаметром 140 мм; сосуд цилиндрический «дента» высотой 32 мм и диаметром 70 мм; сосуды специальной геометрии для измерения содержания ^{137}Cs на «МКС-АТ1315».

Результаты измерений обрабатывались по специальным алгоритмам разработчиков этих приборов в IBM-совместимом программном обеспечении. Статистическая обработка полученных данных осуществлена с помощью программ Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. В целом динамика загрязнения мохового яруса сосновых и березовых насаждений на наших объектах в дальней и ближней зонах показана в таблице 1. В ней приводятся обобщенные изменения содержания и коэффициентов перехода ^{137}Cs в растения мохового яруса по объектам в целом (независимо от количества пробных площадей) и по годам исследований. Однако, при статистической обработке материалов исследований учитывалась загрязненность мха на всех пробных площадях на автоморфных почвах в дальней зоне аварии на ЧАЭС за период наблюдений с 1991 по 2014 гг. На каждом из объектов с течением времени шло довольно интенсивное снижение содержания радионуклида в моховом ярусе практически на всех объектах. Так, на стационаре «Петуховка» на автоморфных почвах в 2014 г., по сравнению с 1991 г., содержание ^{137}Cs во мхе стало ниже в 68 раз, а КП уменьшился в 17,6 раза. В тоже время в дальней зоне на стационарах на гидроморфных почвах в силу малой повторяемости наблюдений существенного снижения содержания ^{137}Cs во мхе не отмечено.

В ближней зоне на объектах удельная активность мхов, при сравнении с аналогичными объектами в дальней зоне, существенно (на порядок) выше. Однако с течением времени, загрязненность мха в ближней зоне в сосняках мшистом, черничном, осоковом также снижается (соответственно в 2,74; 3,62; 2,2 раза).

По накоплению ^{137}Cs моховой ярус на автоморфных и гидроморфных почвах достоверно различаются (таблица 2).

Таблица 1 – Динамика загрязненности мохового яруса насаждений сосновой и березовой формаций

Объект 1	Год 2	Главная порода 3	Почва 4	$A_{\text{уд.}}$, Бк/кг 5	КП, м ² /кг 6
Дальняя зона					
Петуховка	1991	С	автоморфная	345633	96,2
	1993			60617	58,1
	1995			19863	9,2
	1997			24424	21,09
	2004			12925	17,9
	2006			10502	12,76
	2014			5067	5,47
Петуховка-4	1997	С	автоморфная	22024	25,4
	2004			11820	7,8
Восток	1995	С	автоморфная	40817	57,27
	1997			9680,5	13,2
	2004			6817	8,05
Лески	1995	С	автоморфная	22995	19,1
	1998			13025	11,3
Лески-2	1998	С	автоморфная	52643	45,2
	2003			36593	30,13
Подкаменьё	1995	С	автоморфная	39563	37,58
	1998			21507	20,85
Шубино	1995	С	автоморфная	23337	35,1
	1998			13327	22,78
Бартоломеевка	1997	С	автоморфная	19895	19,57
Побужье	1998	С	автоморфная	23020	23,7
Высокий Бор	1998	С	автоморфная	29980	31,27
	1999			36508	49,8
Лески-5	2004	С	автоморфная	12354	18,02
	2006			17947	30,78
Добруш	2006	С	автоморфная	10731	16,76
Лунинец	2008	С	автоморфная	5580	42,2
Богутичи	2006	С	автоморфная	4285	20,5
Морозовка-1	2004	С	гидроморфная	33060	75,67
Морозовка-2	2004	Б	гидроморфная	44697	80,78
	2005			39972	97,72
Головчицы	1997	С	гидроморфная	30980	57,0
Кочище	2008	С	гидроморфная	8928	58,26
Валавск-2	2006	С	гидроморфная осуш.	11500	102,3
Ветка	2006	С	полугидроморфная	10660	10,45

Окончание таблицы 1

Ближняя зона					
Желибор	1997	С	автоморфная		
Синцы	1997	Б	автоморфная		
Трансекта «Крюки»	2005	С, ПП1	ксероморфная		
	2012				
	2005	С, ПП2	автоморфная		
	2012				
	2005	С, ПП3	полугидроморфная		
	2012				
	1997	С, ПП4	гидроморфная		
	2000				
2005					
2012					

Таблица 2 – Статистические различия в накоплении ^{137}Cs моховым ярусом на различных категориях почв

Зона	Категория почвы	Средний КП, м ² /кг	Количество измерений, шт.	t-критерий	Достоверность различий (p)
В целом	автоморфная	27,06	115	-8,315	0,000
	гидроморфная	75,15	25		
Ближняя	автоморфная	31,59	10	-1,38	0,194
	гидроморфная	51,81	4		
Дальняя	автоморфная	26,63	105	-8,48	0,000
	гидроморфная	79,59	21		

Достоверность снижения накопления ^{137}Cs в моховом ярусе в насаждениях на автоморфных почвах с течением времени подтверждается статистически (таблица 3).

В процессе проведения исследований на объектах при отборе образцов ППК (почвенно-подстилочный комплекс) отбирался обобщенный образец мха. По видовому составу в дальней зоне в сосновых насаждениях в отобранных образцах, как правило, преобладал мох Шребера и дикранум, на полугидроморфных почвах – мох Шребера, дикранум, кукушкин лен, на гидроморфных почвах – сфагновые мхи.

Таблица 3 – Статистические различия в накоплении ^{137}Cs моховым ярусом на различных категориях почв

Зона	Годы отбора образцов	Средний КП, м ² /кг	Количество измерений, шт.	t-критерий	Достоверность различий (p)
Дальняя	1991-1993	77,13	6	4,037	0,0002
	1995-1997	24,87	36		
	1995-1999	30,92	21	2,623	0,011
	2003-2004	17,82	18		
	2006-2008	24,25	20	1,736	0,0973
	2014	5,46	3		

Видовая специфика в потреблении ^{137}Cs мхами в различных условиях произрастания в сосновых и березовых насаждениях прослеживается достаточно четко по уровням их загрязнения в 2014 г. (таблица 4).

Таблица 4 – Накопление ^{137}Cs отдельными видами мхов

Категория почв	Объект, ПП	A _{вд.} Бк/кг/КП, м ² /кг			
		мох Шребера (<i>Pleurozium schreberi</i> (Mitt.))	зеленые мхи (Bryidae)	кукушкин лен (<i>Polytrichum strictum</i> Brid.)	сфагновые мхи (Sphagnaceae)
Гидроморфные	Бесядь, 3	21892/76,4	–	–	18887/65,9
	Морозовка-1,3	30161/93,3	–	–	33604/83,7
	Морозовка-2,3	28473/88,0	57712/178,4	39758/122,9	33428/103,3
	Морозовка-3,2	41260/139	44919/151,3	–	37107/125,0
Автоморфные	Кузьмич-3,1	2615/2,9	–	–	–
	Петуховка-1	5250/5,7	9106/9,8	–	–
	Петуховка-6,1	4155/3,0	6609/4,7	–	–

Наиболее высокий уровень загрязнения отмечается у зеленых мхов, более низкий – у мха Шребера. Промежуточное положение занимают сфагновые мхи. У последних прослеживаются различия от вида почвы, на которой они произрастают: так накопление ^{137}Cs мхом сфагновым в насаждениях на мощных переходных торфах (Морозовка-1, Морозовка-2) выше в 1,8 раза, чем на мощных верховых торфах (Бесядь-3) и в 1,1 раз ниже, чем на мощных низинных торфах (Морозовка-3).

Такие же особенности и в накоплении ^{137}Cs мхом Шребера. На объектах Морозовка-1, Морозовка-2 накопление радионуклида в 1,4 раза выше, чем на Бесяди-3, и в 1,4 ниже, чем на Морозовке-3.

Существенны различия в накоплении видами мха (зеленый и Шребера) на автоморфных и гидроморфных почвах. Содержание ^{137}Cs в зеленых мхах на автоморфных почвах ниже, чем на гидроморфных в 6,5, а во мхе Шребера – в 7,6 раза. При этом КП ^{137}Cs ниже в 13–40 раз.

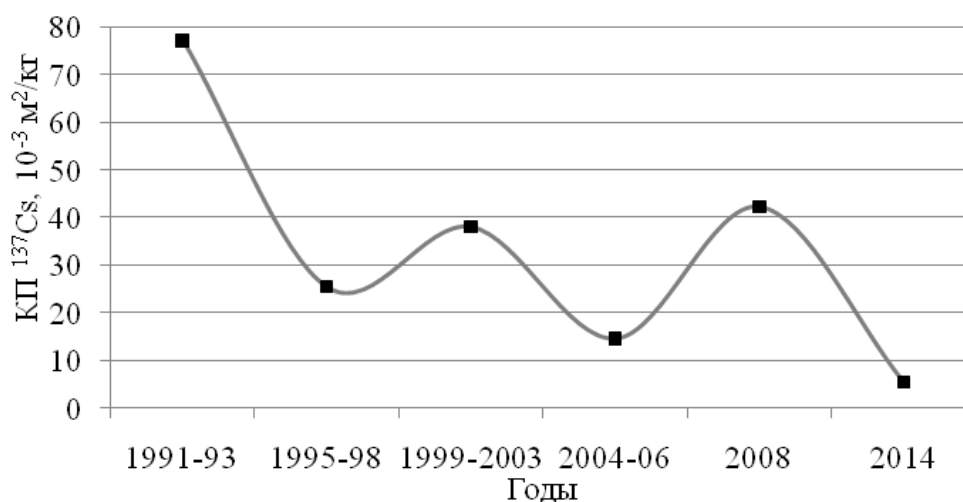


Рисунок 1 – Динамика накопления ^{137}Cs в моховом ярусе сосновых и березовых насаждений на автоморфных почвах в дальней зоне аварии на ЧАЭС

В тоже время, анализ накопления ^{137}Cs моховым ярусом на автоморфных почвах по КП (рисунок 1) показал, что при общем тренде снижение загрязненности мохового покрова с течением времени сохраняется синусоидальный характер накопления в нем радионуклида. Аналогичный характер его накопления в компонентах фитомассы основного древесного яруса [4]. Складывается впечатление, что на процессы миграции ^{137}Cs по восходящей ветви биологического круговорота в насаждениях сосновой и березовой формации на автоморфных почвах существенное влияние оказывает внешний фактор, возможно комплекс метеоусловий, складывающийся за определенный период времени.

Заключение. Выявлены следующие особенности поступления ^{137}Cs в моховый покров:

- с 1991 по 2014 гг. шло интенсивное снижение загрязненности мохового покрова на отдельных объектах в насаждениях на автоморфных почвах – КП ^{137}Cs уменьшился в 17,6 раза. В целом накопление ^{137}Cs в моховом покрове на автоморфных почвах существенно ниже, чем на гидроморфных почвах;

- отмечается видоспецифичность накопления ^{137}Cs мхами. Наиболее высокий уровень загрязнения у зеленых мхов;

- в моховом покрове насаждений в дальней зоне накопление ^{137}Cs на порядок ниже, чем в насаждениях ближней зоны;

- по накоплению ^{137}Cs и КП ^{137}Cs моховый покров насаждений на автоморфных почвах достоверно отличается от мохового покрова на гидроморфных почвах;

- установлены достоверные различия в КП ^{137}Cs и уровне загрязнения им мохового покрова по годовым периодам. При этом сохраняется синусоидальный характер накопления ^{137}Cs моховым покровом в насаждениях на автоморфных почвах в период наблюдений 1991–2014 гг.

Литература

1. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси / В.И. Парфенов ; под общ. ред. В.И. Парфенова, Б.И. Якушева. – Мн. : Навука і тэхніка, 1995. – 549 с.
2. Булко, Н.И. Особенности длительной миграции чернобыльского ^{137}Cs в автоморфных и гидроморфных почвах сосновых фитоценозов в дальней зоне аварии на ЧАЭС / Н.И. Булко [и др.] // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. Института леса НАН Беларуси. – Вып. 75. – Гомель : Институт леса НАН Беларуси, 2015. – С. 391–404.
3. Храменкова, О.Н. Влияние мохового покрова на содержание ^{137}Cs в ягодах черники (*Vaccinium myrtillus* L.) / О.Н. Храменкова, В.А. Собченко // Радиация и Чернобыль : Ближайшие и отдаленные последствия. – Т. 4 ; под общ. ред. Е.Ф. Конопля. – Гомель : РНИУП «Институт радиологии», 2007. – С. 28–33.
4. Булко, Н.И. Динамика длительных процессов поступления ^{137}Cs в компоненты фитомассы сосны обыкновенной из автоморфных почв в дальней зоне аварии на ЧАЭС / Н.И. Булко [и др.] // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. Института леса НАН Беларуси. – Вып. 76. – Гомель : Институт леса НАН Беларуси, 2016. – С. 371–379.

¹ГНУ «Институт леса НАН Беларуси»

²Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

³Гомельский государственный медицинский университет

Поступила в редакцию 25.04.2018