

УДК 630\*551.521

## Особенности поступления $^{137}\text{Cs}$ в компоненты фитомассы растений кустарничкового яруса из загрязненных радионуклидами автоморфных и гидроморфных почв в насаждениях сосновой и березовой формаций

Н.И. Булко<sup>1</sup>, Н.В. Митин<sup>2</sup>, М.А. ШАБАЛЕВА<sup>3</sup>,  
Н.В. ТОЛКАЧЕВА<sup>1</sup>, А.М. ПОТАПЕНКО<sup>1</sup>, А.К. КОЗЛОВ<sup>1</sup>

Изучены особенности накопления  $^{137}\text{Cs}$  растениями кустарничкового яруса в сосновых и березовых древостоях на почвах различного генезиса. Установлено наличие видоспецифичности потребления радионуклида в одинаковых условиях произрастания. К 2015 г., за 18 лет с начала наблюдений загрязненность кустарничков снизилась существенно. Показано, что различия в водообеспеченности почв обуславливают различия в КП  $^{137}\text{Cs}$  в фитомассу кустарничков до 2-х порядков.

**Ключевые слова:** кустарничковый ярус, радионуклиды, автоморфные почвы, гидроморфные почвы.

The features of  $^{137}\text{Cs}$  accumulation by low shrubs of an herbaceous layer 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, in 18 years since the beginning of observations the contamination of low shrubs had decreased significantly. It is shown that differences in water availability of soils cause differences in  $^{137}\text{Cs}$  TF in the phytomass of low shrubs to 2 orders of magnitude.

**Keywords:** shrubs of herbaceous layer, radionuclides, automorphic soils, hydromorphic soils.

**Введение.** Радиоактивное загрязнение большинства кустарничковых растений после аварии на ЧАЭС изучалось в Беларуси: в первые годы после аварии О.О. Ермаковой, О.Т. Кузьмич, А.П. Казей (1986–1993 гг.) в процессе изучения накопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  живым напочвенным покровом в различных лесных формациях [1].

Достаточно детальные исследования накопления  $^{137}\text{Cs}$  кустарничковым ярусом из ягодных видов семейства Vacciniaceae в период 1990–2003 гг. были проведены в Беларуси И.М. Булавиком [2], на Украине – В.П. Красновым, А.А. Орловым [3]. О.М. Храмченковой и В.А. Собченко [4] в черничниках Гомельской области была установлена зависимость загрязнения ягод от наличия в местах произрастания черники мохового покрова.

Было показано, в частности, что уровень загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  фитомассы кустарничков является функцией глубины расположения корневых систем. При наличии поверхностной корневой системы (вереск, черника, брусника) отмечена повышенная аккумуляция  $^{137}\text{Cs}$ . А.И. Щегловым отмечалась зависимость накопления ими  $^{137}\text{Cs}$  от водообеспеченности почв [5]. Достаточно подробно изучалось накопление  $^{137}\text{Cs}$  ягодными растениями в странах Западной Европы, а также нами спустя 20 лет после аварии при плотностях загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  до 120–150 кБк/кг [6], [7].

На объектах наших исследований в дальней зоне аварии на ЧАЭС произрастают 8 видов полукустарников и кустарничков. Из них 5 видов образовывали монодоминантный ярус с проективным покрытием 60 и более %: малина и ежевика (*Rubus idaeus* Z. и *Rubus caesius* Z.) – на объектах «Петуховка» и «Восток», черника (*Vaccinium myrtillus* L.) – на объекте «Ветка», брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.) – на объекте «Лески-5», багульник болотный (*Ledum palustre* L.) – на объекте «Бесядь-3».

Цель исследований – изучить особенности накопления  $^{137}\text{Cs}$  растениями кустарничкового яруса в послеаварийный период на стационарах в дальней зоне аварии на ЧАЭС.

**Объекты и методика исследований.** Исследования выполнялись в 1997–2015 гг. на 13 объектах в загрязненных радионуклидами сосновых и березовых насаждениях дальней и ближней зоны. Объекты и стационары расположены на автоморфных песчаных и супесчаных почвах (Петуховка, Петуховка-6, Лески-5, Кузьмич-3, Крюки), на полугидроморфных маломощных торфяных почвах (Ветка, Крюки), на гидроморфных маломощных и мощных торфяных верховых, переходных, низинных почвах (Валавск, Валавск-2, Морозовка-1, Морозовка-2, Морозовка-3, Бесядь-3, Головчицы, Крюки). Плотность загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  на моменты отбора образцов фитомассы составляла 164,45–5069 кБк/м<sup>2</sup>.

Радиологическому анализу подвергались образцы компонентов фитомассы кустарничковых растений, отобранные по единой методике в течение всего периода наблюдений. Места отбора образцов фитомассы кустарничковых растений совпадали с местами отбора компонентов фитомассы растений основного древесного яруса.

Измерения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в образцах кустарничков производилось после их высушивания и измельчения на сцинтилляционном гамма-спектрометре «Прогресс-320» и на бета-гамма-радиометре «МКС-АТ1315».

**Результаты и их обсуждение.** Динамика изменения загрязненности  $^{137}\text{Cs}$  компонентов фитомассы кустарничков прослеживалась в процессе исследований на стационарах в зонах чернобыльского загрязнения радиоцезием за период с 1997 по 2015 гг. Наибольшее количество данных получено нами по чернике. Существенно меньше – по другим видам кустарничков.

Как видно из таблицы 1, у черники и в отдаленный послеаварийный период прослеживается зависимость накопления  $^{137}\text{Cs}$  в фитомассе кустарника от влажности почвы, однако статистически результаты не достоверны. Самые низкие уровни загрязнения фитомассы и ягод  $^{137}\text{Cs}$  и КП  $^{137}\text{Cs}$  были зафиксированы в осушенных сосновых насаждениях (стационар «Валавск» и «Ветка»). Более высокие уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  в фитомассе черники имели место на автоморфных и полугидроморфных почвах объектов «Петуховка», «Петуховка-6», «Кузьмич-3», «Ветка». Наиболее высокое загрязнение кустарничка отмечалось в гидроморфных условиях произрастания («Головчицы», «Морозовка-1», «Морозовка-2», «Морозовка-3», «Бесядь-3»). Особо высокое накопление  $^{137}\text{Cs}$  в черничнике было в 130-летнем сосняке мшистом на объекте «Лески-5» (на уровне накопления  $^{137}\text{Cs}$  на гидроморфных почвах), где отмечалось также достаточно высокое содержание радионуклида в деревьях основного древесного яруса.

Различия в накоплении радионуклида черничником в зависимости от влагообеспеченности почвы достигают по коэффициенту перехода (КП)  $^{137}\text{Cs}$  от одного до двух порядков.

При высоких уровнях загрязнения на трансекте «Крюки» накопление  $^{137}\text{Cs}$  в фитомассе черничника максимально и превышает накопление его в аналогичных условиях при более низких плотностях загрязнения в 5–10 раз.

Для малины лесной, как видно из таблицы 2, характерны достаточно высокие уровни накопления  $^{137}\text{Cs}$  в побегах и листве. Причем, несмотря на циклический характер изменения уровня содержания радионуклида в компонентах фитомассы, максимум поступления его в период 1991–1997 гг. в побеги и листву отмечен на объекте «Петуховка» в 1991 г., на объекте «Восток» в одинаковых условиях произрастания с предыдущим объектом – в 1997 г. При этом к 1997 году содержание  $^{137}\text{Cs}$  и КП  $^{137}\text{Cs}$  в побегах на этом объекте уменьшились в 2 раза, а в листве – в 9 раз. На объекте «Восток», наоборот, загрязнение побегов малины увеличилось в 4 раза, а листьев – в 3,5 раза.

В 2015 г. существенное снижение загрязнения листьев малины произошло на объекте «Петуховка» по сравнению с 1997 г. На объекте «Кузьмич 3-2» в 2015 г. по загрязнению  $^{137}\text{Cs}$  листья малины отличались от листьев малины на объекте «Петуховка» несущественно. В гидроморфных же условиях в 2015 г. на объекте «Морозовка-1» накопление  $^{137}\text{Cs}$  в листьях малины было выше, чем на объектах в автоморфных условиях произрастания в 7 раз и больше, чем в 2004 г. – в 3,2–3,5 раза.

Таблица 1 – Динамика накопления <sup>137</sup>Cs в фитомассе черники

Объект	ПП	Тип леса	Год	Р, кБк/м <sup>2</sup>	А <sub>уд.</sub> , кБк/кг/КП, м <sup>2</sup> /кг							
					автоморфные	полуавто-морфные	листья+ветки	осушенные	автоморфные	полуавто-морфные	ягоды	осушенные
Валавск	1	С ос-разн.	1999	164,45	-	-	-	3,5/21,2	-	-	-	1,0/5,8
	2	С ос-разн.		173,55	-	-	-	0,7/4,2	-	-	-	0,2/1,2
	1	С ос-разн.	2001	164,45	-	-	-	-	-	-	-	0,8/5,4
	2	С ос-разн.		173,55	-	-	-	1,9/11,3	-	-	-	0,9/5,4
Головчицы	3	С дм.	1999	422,91	-	-	27,6/65,2	-	-	-	2,9/6,8	-
	4	С баг.		543,62	-	-	68,9/126,8	-	-	-	-	-
Морозовка-1	1-1	С бол-гр.	2004	367,58	-	-	34,5/93,9	-	-	-	-	-
	1-3			489,22	-	-	44,1/90,2	-	-	-	-	-
	3			360,2	-	-	40,3/111,8	-	-	-	-	-
Морозовка-2	3-1	Б бол-гр.	2004	551,3	-	-	38,1/69,1	-	-	-	-	-
	3			323,59	-	-	72,9/225,4	-	-	-	-	-
Морозовка-3	2	Б бол-гр.	2015	296,69	-	-	35,9/121,1	-	-	-	-	-
	3			286,59	-	-	64,6/225,3	-	-	-	-	-
	1			600,4	-	-	-	5,4/9,5	-	-	-	-
Ветка	2	С черн.	2006	1232,8	-	7,0/10,7	-	-	-	-	-	-
	3			833,8	-	9,2/14,8	-	-	-	-	-	-
	3			662,68	49,6/74,8	-	-	-	-	-	-	-
Лески-5	1	С мш.	2004	719,13	30,3/42,1	-	-	-	-	-	-	-
	3			927,92	6,7/7,2	-	-	-	-	-	-	-
Петуховка	1	С мш.	2015	1397,6	1,5/1,1	-	-	-	-	-	-	-
	2			887,62	1,5/1,9	-	-	-	-	-	-	-
Кузьмич-3	1	Б мш.	2015	623,0	5,6/9,0	-	-	-	-	-	-	-
	2			4525,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Трансекта	4	С ос.	2005	5069,0	36,6/80,3	-	-	36,6/80,3	-	-	-	-
	3			36,5/80,3	-	-	-	-	-	-	-	-

СКОРИНЫ

Таблица 2 – Динамика накопления  $^{137}\text{Cs}$  в компонентах фитомассы малины и ежевики

Увлажненность почв	Объект	ПП	Тип леса	Год	Р, кБк/м <sup>2</sup>	А <sub>уд.</sub> , Бк/кг/КП, м <sup>2</sup> /кг						
						стебли		ягоды		ежевика		
						стебли	листья	стебли	листья	стебли	листья	ягоды
Осушенные	Валавск	1	С ос.-разн.	1999	164,45	-	-	-	-	-	-	-
		2			173,65	-	-	-	-	-	-	-
Гидроморфные	Морозовка-1	1-1	С бол.-гр.	2004	367,55	14210	-	-	-	-	-	-
		1-3			489,22	38,65	8331	-	-	-	-	-
		3			360,2	17,03	45715	-	-	25065	-	-
Автоморфные	Петуховка	2	С мш.	2015	927,92	6481	-	-	-	25065	-	-
		2			1412,29	6,98	69,59	-	-	60,3	-	-
	Петуховка	2	С мш.	1997	9848	7207	-	-	-	-	-	-
		2			1136,27	5,10	55990	-	-	60,3	-	-
	Петуховка	2	С мш.	1995	5025	6305	-	-	-	-	-	-
		2			1673,14	4,42	5,55	-	-	-	-	-
	Петуховка	2	С мш.	1993	10985	25370	-	-	-	-	-	-
		2			1286,12	6,57	15,16	-	-	-	-	-
	Петуховка	2	С мш.	1991	20096	62650	-	-	-	-	-	-
		2			700,78	15,63	48,71	-	-	-	-	-
Восток	Восток	1	С мш.	1997	6523	20930	-	-	-	-	-	-
		1			667,11	9,31	29,87	-	-	-	-	-
		1			907,24	1,7	4,6	-	-	-	-	-
Кузьмич-3	Кузьмич-3	1	С мш.	1993	1714	6037	-	-	-	-	-	-
		2			623,3	1,89	6,65	-	-	-	-	-
Кузьмич-3	Кузьмич-3	2	С мш.	2015	7125	7125	-	-	-	-	-	-
		2			623,3	11,43	11,43	-	-	-	-	-

СКОРИНЫ

Таблица 3 – Особенности накопления <sup>137</sup>Cs в фитомассе брусники, вереска, голубики, дрока красильного

Вид кустарничка	Объект	ПП	Тип леса	Год	P, кБк/м <sup>2</sup>	Фитомасса (листья+стебли)				ягоды	
						автоморфные	гидроморфные	осушенные	автоморфные	гидроморфные	осушенные
Брусника	Валавск	1	С ос.-прав.	1999	164,55	–	–	6,3/3,8	–	–	0,2/1,4
		2			173,55	–	–	6,7/38,8	–	–	0,9/5,1
		3			662,68	3,8/56,6	–	–	–	–	–
Вереск	Лески-5	1	С мш.	2004	719,13	19,5/27,2	–	–	–	–	–
		3			662,68	65,9/99,4	–	–	–	–	–
		1			719,13	28,6/39,7	–	–	–	–	–
Дрок красильный	Лески	3	С мш.	2004	662,68	2,8/4,2	–	–	–	–	–
		1			719,73	3,1/4,3	–	–	–	–	–
		3			286,59	–	25,6/89,31	–	–	–	–

Таблица 4 – Динамика накопления <sup>137</sup>Cs в фитомассе багульника болотного

Объект	ПП	Тип леса	Год	P, кБк/м <sup>2</sup>	A <sub>уд.</sub> , кБк/кг/КП, м <sup>2</sup> /кг	
					гидроморфные	осушенные
Валавск	1	С ос.-разн.	1999	164,45	–	4,2/25,6
	2			173,55	–	8,3/47,8
	1			164,45	–	4,3/26,5
	2			173,55	–	7,8/44,9
Головчицы	3	С дм.	1999	422,91	36,1/85,4	–
	4			543,62	40,5/74,5	–
	3			422,91	28,2/66,6	–
	4			543,62	40,9/75,2	–
Бесядь-3	3	С дм.	2015	286,59	37,4/130,3	–
	3			323,59	44,7/138,17	–

КОПИЯ

Сравнительный анализ накопления  $^{137}\text{Cs}$  компонентами фитомассы малины и ежевики (таблица 2) на разных объектах показывает, что на осушенных землях поступление  $^{137}\text{Cs}$  в ежевику ниже, чем на гидроморфных почвах, а поступление радионуклида в малину ниже на автоморфных, чем на гидроморфных почвах. С течением времени поступление  $^{137}\text{Cs}$  в фитомассу малины на объекте «Петуховка» снижается, на объектах «Морозовка-1» и «Восток» – возрастает.

Поступление  $^{137}\text{Cs}$  в фитомассу брусники, вереска, голубики, дрока красильного отражено в таблице 3, анализ которой показывает, что также как и для черники минимальное накопление радионуклида в кустарничках наблюдалось в осушенных лесах (стационар Валавск). Максимальное накопление отмечено на стационаре «Лески-5», отличающемся холмистым рельефом и аномальными величинами поступления радионуклида во все виды кустарничков. В тоже время, на этом объекте накопление  $^{137}\text{Cs}$  в биомассе дрока минимально и ниже, соответственно, чем в брусничнике и вереске в 6–13 и 9–23 раза, в черничнике – в 10–13 раз.

Загрязнение голубичника на объекте «Бесядь-3» достаточно высокое, хотя и ниже в 2,5 раза, чем черничника на этом же объекте (таблица 3).

Динамика накопления  $^{137}\text{Cs}$  в фитомассе багульника болотного (таблица 4) подтверждает установленную для черничника и брусничника закономерность: минимальное накопление на осушенных землях, наиболее высокое – на гидроморфных почвах.

**Заключение.** Изучены особенности накопления  $^{137}\text{Cs}$  растениями кустарничкового яруса в сосновых и березовых древостоях на почвах различного генезиса. Показаны особенности накопления  $^{137}\text{Cs}$  в фитомассе кустарничковых растений и полукустарников в условиях автоморфных, гидроморфных, полугидроморфных, осушенных почв. Отмечено наличие временных различий в накоплении  $^{137}\text{Cs}$  в фитомассе черники и малины на объектах в сосняке мшистом в ТЛУ А<sub>2</sub>.

К 2015 г., за 18 лет, загрязненность кустарничков существенно снизилась. Установлена видоспецифичность накопления  $^{137}\text{Cs}$  кустарничками в одинаковых условиях произрастания.

### Литература

1. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси / В.И. Парфенов; под общ. ред. В.И. Парфенова, Б.И. Якушева. – Мн. : Навука и тэхніка, 1995. – 549 с.
2. Булавик, И.М. Накопление  $^{137}\text{Cs}$  в пищевой продукции леса / И.М. Булавик, А.Н. Переволоцкий // Проблемы лесоведения и лесоводства в Полесье Украины : науч. тр. Полесской АЛ НИС. – Вып. 4. – Житомир, 1996. – С. 31–35.
3. Краснов, В.П. Радиоэкология ягодных растений / В.П. Краснов, А.А. Орлов. – Житомир : Во- льнь, 2004. – 389 с.
4. Собченко, В.А. Накопление  $^{137}\text{Cs}$  фитомассой черники в различных условиях произрастания / В.А. Собченко, О.М. Храмченкова, А.Н. Переволоцкий // Сахаровские чтения 2003 года. Экологические проблемы XXI века : тез. докл., Минск, 19–20 мая 2003 года. – Минск, 2003. – С. 289–290.
5. Щеглов, А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах / А.И. Щеглов. – М. : Наука, 1999. – 268 с.
6. Разработать прогноз накопления цезия-137 в лесной пищевой продукции и предложения по ее дифференцированному использованию в Могилевской области: отчет о НИР / ГНУ «Институт леса НАН Беларуси»; рук. темы Н.И. Булко. – Гомель, 2015. – 61 с. – № ГР20150474.
7. Разработать прогноз накопления цезия-137 в лесной пищевой продукции и предложения по ее дифференцированному использованию в Гомельской области: отчет о НИР / ГНУ «Институт леса НАН Беларуси»; рук. темы Н.И. Булко. – Гомель, 2010. – 116 с. – № ГР20101067.

<sup>1</sup>ГНУ «Институт леса НАН Беларуси»

<sup>2</sup>Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

<sup>3</sup>Гомельский государственный медицинский университет