

ОСОБЕННОСТИ И ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ ПОСТУПЛЕНИЯ ^{137}Cs В КОМПОНЕНТЫ ФИТОМАССЫ СОСНЫ ИЗ ГИДРОМОРФНЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В ДАЛЬНЕЙ ЗОНЕ АВАРИИ НА ЧАЭС ЗА ДЛИТЕЛЬНЫЙ ПОСЛЕАВАРИЙНЫЙ ПЕРИОД

Булко Н.И.¹, Шабалева М.А.², Митин Н.В.³,
Толкачева Н.В.¹, Козлов А.К.¹

¹ГНУ «Институт леса НАН Беларуси»

(г. Гомель, Беларусь)

²УО «Гомельский медицинский институт»

(г. Гомель, Беларусь)

³УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

(г. Гомель, Беларусь)

Исследованы особенности поступления ^{137}Cs в компоненты фитомассы сосны из гидроморфных торфяных почв территории Северного и Западного следов аварий на ЧАЭС. Показаны изменения в содержании ^{137}Cs в компонентах фитомассы сосны, произрастающей на гидроморфных торфяных почвах, в течение длительного (20-25 лет) промежутка времени.

ВВЕДЕНИЕ

Более половины загрязненных радионуклидами лесов Беларуси представлено сосновой формацией. Из них на территориях с высоким (свыше 15 Ки/км²) уровнем загрязнения произрастает только в зонах отселения 52,5 тыс. га сосновых насаждений. Значительная доля этих лесов произрастает на переувлажненных почвах.

На участках с повышенным увлажнением почв увеличивается биологическая доступность ^{137}Cs [1], что обуславливает его интенсивное поступление в древесные растения. При этом корневое поступление радионуклидов в древесные растения на гидроморфных почвах зависит от увлажненности экотопа, уровня влагообеспеченности в почве, а его интенсивность в 10-15 раз, выше чем на минеральных почвах [2, 3].

Выполненные в 90-е годы прогнозы изменения загрязненности древесных пород с течением времени [4] предсказывали рост накопления ^{137}Cs в компонентах фитомассы сосны на гидроморфных почвах до 2003 г., а в древесине сосны – до 2001 г.

В пределах Западного и Северного следов аварии на ЧАЭС нами в течение 20-25 лет проводились с различной периодичностью исследования на одних и тех же стационарах в сосновых насаждениях на гидроморфных торфяных почвах. Эти исследования позволяют изучить фактическую динамику загрязненности компонентов фитомассы сосны в насаждениях на гидроморф-

ных почвах, сравнить полученные фактические данные с прогнозными оценками, установить возможность реабилитации исследуемых насаждений.

Цель настоящей работы – изучить особенности накопления ^{137}Cs компонентами фитомассы сосны за последние 20-25 лет в ее насаждениях на гидроморфных почвах на территориях Северного и Западного следов аварии на ЧАЭС.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований являлись сосновые насаждения на гидроморфных почвах в дальней зоне аварии на ЧАЭС на территории Северного и Западного следов радиоактивных выпадений на стационарах «Морозовка-1», в Ветковском спецлесхозе, «Головчицы», «Валавск» – в Наровлянском и Ельском лесхозах Гомельской области.

Характеристика сосновых насаждений на стационаре «Валавск». Стационар «Валавск» заложен в 1990 г. в Валавском лесничестве Ельского лесхоза в сосняке осоково-разнотравном на гидроморфных торфяных низинных почвах мезотрофно-евтрофного массива с мощностью торфяной древесно-осоковой залежи 0,7-1,2 м. Для исследований использовали ПП2 стационара.

На момент закладки объекта в подросте: береза, дуб – до 50 шт. на га, в подлеске: крушина ломкая – 25% проективного покрытия, единично – ива ушастая, малина, рябина. В живом напочвенном покрове: черника – куртинно, папоротники: кочедыжник женский, орляк – куртинно; вербейник, кипрей болотный – куртинно, осоки, брусника – единично, мхи – кукушкин лен, Шребера – до 10% проективного покрытия; мхи рода сфагнум – ед. куртины.

В настоящее время в подросте: дуб – до 50 шт./га, в подлеске: малина, ежевика – куртинно, до 20% проективного покрытия; крушина – 30% проективного покрытия; ива ушастая, рябина – единично. В живом напочвенном покрове: черника – 60% проективного покрытия, кочедыжник женский – куртинно; осоки, вербейник, кипрей болотный – куртинно; мхи зеленые – до 20% проективного покрытия; мхи рода сфагнум – куртинно.

Таксационная характеристика насаждения на ПП2 стационара «Валавск»:

– на момент закладки объекта: площадь – 0,4 га; состав – 6СЗБ1Олч ед. Ос; тип леса – С. осоково-разнотравный; ТЛУ – В₃-В₄; возраст – 50 лет; бонитет – I; полнота – 0,92; запас – 350 м³/га;

– по состоянию на 2014 г.: площадь – 0,4 га; состав – 7С2Б1Ос; тип леса – С. черничный; ТЛУ – В₃; возраст – 75 лет; бонитет – I_а; полнота – 1,02; запас – 417 м³/га.

Радиационная характеристика ПП2 стационара «Валавск»:

– на момент закладки объекта: МД на высоте 1 м – 0,4 мкЗв/час; на поверхности почвы – 0,5 мкЗв/час; плотность загрязнения почвы ^{137}Cs – 196,6 кБк/м²;

– на 2014 г.: МД на высоте 1 м – 0,19 мкЗв/час; на поверхности почвы – 0,23 мкЗв/час; плотность загрязнения почвы ^{137}Cs – 103,5 кБк/м².

Характеристика соснового насаждения на стационаре «Головчицы».

Стационар «Головчицы» заложен в 1990 г. в Головчицком лесничестве Наровлянского лесхоза в сосняке сфагново-осоковом на гидроморфных почвах с мощностью древесно-сфагнового торфа 0,6-1,0 м. Для исследований использована ПП2 стационара «Головчицы».

На момент закладки объекта подрост представлен единичными деревьями березы, сосны, дуба, ольхи черной; подлесок отсутствовал. В живом напочвенном покрове: черника – куртинно; багульник – куртинно; осока – куртинно; пушица влагалищная – 30% проективного покрытия; клюква мелколистная – куртинно; кипрей болотный – единично; мхи зеленые – куртинно; мхи рода сфагнум – 60% проективного покрытия;

– на 2014 г.: подрост нет; подлесок: ива ушастая – единичные куртины. В живом напочвенном покрове черника: куртинно; багульник – ед. куртины; осоки – куртинно; пушица влагалищная – 60% проективного покрытия; клюква – 10% проективного покрытия; мхи сфагновые – 80% проективного покрытия; зеленые мхи – единичные куртины.

Таксационная характеристика насаждения на ПП2 стационара «Головчицы»:

– на момент закладки: площадь – 0,25 га; состав – 8С2Б ед. Ос; тип леса – С. ос.-сф.; ТЛУ – А₄-А₅; возраст – 60 лет; бонитет – III; запас – 170 м³/га;

– по состоянию на 2014 г.: площадь – 0,4 га; состав – 7С3Б; тип леса – С. ос.-сф.; ТЛУ – А₄-А₅; возраст – 85 лет; бонитет – IV; запас – 115 м³/га.

Радиационная характеристика ПП2 стационара «Головчицы»:

– на момент закладки объекта: МД на высоте 1 м – 0,8 мкЗв/час; на поверхности почвы – 1,0 мкЗв/час; плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs – 668,5 кБк/м²;

– на 2014 г.: МД на высоте 1 м – 0,43 мкЗв/час; на поверхности почвы – 0,47 мкЗв/час; плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs – 311,4 кБк/м².

Характеристика соснового насаждения на стационаре «Морозовка-1».

Стационар «Морозовка-1» заложен в 1990 г. в Ветковском лесничестве Ветковского спецлесхоза в сосняке болотно-травяном на гидроморфных мощных торфяных почвах мезотрофного болота. Для исследований использована секция ПП3 стационара «Морозовка-1».

На момент закладки объекта: подрост был представлен дубом – до 50 шт/га, единично – елью и сосной; подлесок состоял из малины – куртинно; крушины – до 20% проективного покрытия; рябины – единично. В напочвенном покрове багульник – единично; кочедыжник женский – единично; кипрей узколистный и болотный – куртинно; вербейник – куртинно; клюква трехлепестковая – единично; плаун булавовидный – ед. куртины; пушица влагалищная – единичные куртины; зеленые мхи и мхи рода сфагнум – до 5% проективного покрытия; осоки – редко;

– на 2014 г.: в подросте – дуб до 50 шт/га; ель – до 50 шт/га; сосна – единично. В подлеске: крушина ломкая – 50% проективного покрытия; рябина – единично; малина – куртинно; ежевика – куртинно. В живом напочвенном покрове: кочедыжник женский – редко; багульник – единично; плаун булавовидный – единичные куртины; осоки – редко, пушица влагалищная – еди-

ничные куртины, земляника, зеленые мхи – единично; мхи рода сфагнум – 5% проективного покрытия.

Таксационная характеристика насаждения на секции 1 ППЗ стационара «Морозовка-1»:

– на момент закладки: площадь – 0,26 га; состав – 9С1Б+Ос; тип леса – С. бол.-тр.; ТЛУ – В₄; возраст – 96 лет; бонитет – IV; полнота – 0,75; запас – 213 м³/га;

– на 2014 г.: площадь – 0,26 га; состав – 10С+Д+Б; тип леса – С. бол.-тр.; ТЛУ – В₄; возраст – 112 лет; бонитет – III; полнота – 1,22; запас – 305 м³/га.

Радиационная характеристика секции 1 ППЗ стационара «Морозовка-1»:

– на момент закладки объекта: МД на высоте 1 м – 0,58 мкЗв/час, на поверхности почвы – 0,70 мкЗв/час, плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs – 846,9 кБк/м²;

– на 2014 г.: МД на высоте 1 м – 0,42 мкЗв/час, на поверхности почвы – 0,51 мкЗв/час, плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs – 360,2 кБк/м².

Исследование процессов поступления ¹³⁷Cs в компоненты фитомассы сосны основывалось на радиологическом анализе образцов, отобранных с 3-5 модельных деревьев по единой, на 25-летний период методике. Отбирались пробы древесины без коры, коры, одно- и двухлетней хвои, одно- и двухлетних побегов. Модельные деревья подбирались из деревьев основной породы I и II классов роста и развития по Крафту, равномерно расположенных по пробе. Кора отбиралась стругом на расстоянии 1,3 м от нижнего спила ствола, а древесина – напильником опилок бензопилой со сквозными пропилами на всю глубину диаметра на месте отбора коры. В 2003 году древесина отбиралась в виде смешанной пробы из кернов приростным буровом, а кора – высечкой d=20 мм из 25 деревьев сосны I и II классов роста и развития по Крафту, равномерно расположенных по площади пробы. Отбор побегов и хвои производился из верхней части кроны моделей. Пробы высушивались, измельчались и готовились к измерениям. Измерения велись на бета-гамма-радиометре МКС-АТ1315 и сцинтилляционном гамма-спектрометре «Прогресс-320» в следующих геометриях:

– сосуд Маринелле – 1 л;

– сосуд цилиндрический высотой 50 мм и диаметром 140 мм;

– сосуд цилиндрический высотой 32 мм и диаметром 70 мм;

– сосуд специальной геометрии для измерения содержания ¹³⁷Cs на МКС-АТ1315.

Результаты измерений спектрометром обрабатывались по специальным алгоритмам разработчиков этих приборов в IBM – совместимом программном обеспечении.

Статистическая обработка полученных данных осуществлена с помощью программы Microsoft Exel и Statistika.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение поступления ^{137}Cs в деревья сосны в сосновых насаждениях на гидроморфных почвах различного генезиса и степени обводненности производилось в пределах Северного следа радиоактивных выпадений на стационаре «Морозовка-1», в пределах Западного следа – на стационарах «Валавск» и «Головчицы».

На стационаре «Морозовка-1» наблюдения осуществлялись с 1999 г. по 2014 г. – 5 раз, на стационарах «Валавск» и «Головчицы» – с 1990 г. по 1999 г. – по 4 раза.

Динамика поступления ^{137}Cs в компоненты фитомассы сосны на гидроморфных торфяных низинных почвах на территории Западного следа черномыльских выпадений. Известно [4], что на гидроморфных почвах существуют свои, отличные от автоморфных, особенности поступления радионуклидов в произрастающие на них насаждения. Отмечается, что различия обусловлены превалированием корневого поступления ^{137}Cs над процессами самоочищения фитомассы сосны от аэральных выпадений.

Результаты наших исследований в сосновом насаждении, произрастающем на торфяной маломощной низинной, развивающейся на древесно-осоковом торфе, почве (стационар «Валавск») показали (таблица 1), что максимальное содержание ^{137}Cs в 1990 г. было в коре. К 1999 г. содержание в ней радионуклида снизилось в 6,2 раза. Наиболее высокое содержание ^{137}Cs во всех компонентах фитомассы деревьев сосны отмечалось в 1991 г. После этого шло уменьшение удельной активности радионуклида во всех компонентах фитомассы. К 1999 г., по сравнению с 1991 г., содержание ^{137}Cs в древесине уменьшилась в 2 раза, однолетних побегах и хвое – соответственно в 5,7 и 3,4 раза, двухлетней хвое – в 6,1 раза.

Таблица 1 – Динамика удельной активности ^{137}Cs в компонентах фитомассы сосны на гидроморфных торфяных почвах стационара «Валавск»

Год	Активность ^{137}Cs , Бк/кг					
	кора	древесина	побеги однолетние	побеги двухлетние	хвоя однолетняя	хвоя двухлетняя
1990	3038	244	2183	–	1658	733
1991	2338	618	9620	–	6290	2990
1997	1069	307	3563	1547	3960	1517
1999	488	302	1696	799	1852	493

В течение периода наблюдений наибольшие уровни накопления ^{137}Cs отмечены в физиологически активных однолетних побегах и хвое, в которых, как видно из таблицы 2, уровень накопления радионуклида превышал уровень накопления в древесине в среднем за все годы наблюдений в 12,0 и 9,9 раз. Окончание физиологически активных процессов роста в этих компонентах фитомассы ведет к снижению содержания ^{137}Cs в двухлетних побегах и хвое в среднем в 2,4 раза.

Таблица 2 – Кратность различий в удельной активности в компоненты фитомассы сосны в насаждениях на гидроморфных торфяных почвах стационара «Валавск»

Компоненты фитомассы	Годы			
	1990	1991	1997	1999
Кора	12,4	3,8	3,5	1,6
Древесина	1	1	1	1
Побеги однолетние	8,9	15,6	11,6	5,6
Побеги двухлетние	–	–	5,0	2,6
Хвоя однолетняя	6,8	10,2	12,8	6,1
Хвоя двухлетняя	3,0	4,8	4,9	1,6

Для насаждения на ПП2 стационара «Валавск», как видно из таблицы 3, характерны существенные различия в накоплении ^{137}Cs модельными деревьями одного класса роста и развития. В среднем, по всем компонентам фитомассы сосны, кроме коры, они достигают трехкратных величин. В тоже время обращают на себя внимание различия по годам. Если в 1990-1991 гг. различия в накоплении находились примерно на одном уровне, то в 1999 г. для вегетативных органов они достигали 5-6 кратных величин.

Таблица 3 – Колебания в накоплении ^{137}Cs в компонентах фитомассы деревьев сосны одного класса роста и развития на стационаре «Валавск»

Компоненты фитомассы	Годы				
	1990	1991	1997	1999	среднее
Кора	1,4	1,6	1,4	2,5	1,8
Древесина	1,7	2,7	3,9	2,9	3,5
Побеги однолетние	1,1	1,4	1,9	5,6	3,0
Побеги двухлетние	–	–	1,8	4,8	3,3
Хвоя однолетняя	1,8	1,9	1,7	6,6	3,0
Хвоя двухлетняя	2,9	2,7	1,2	5,0	3,0

Динамика КП ^{137}Cs в компоненты фитомассы сосны на маломощной низинной торфяной почве на древесно-осоковом торфе. Как видно из таблицы 4, плотность загрязнения почвы за период наблюдений на ПП2 стационара «Валавск» менялась несущественно и не превышала 6 Ки/км². Однако КП ^{137}Cs в компоненты фитомассы были достаточно велики.

Максимальная их величина отмечалась в 1991 г., а затем шли процессы их уменьшения, обусловленные постоянным снижением удельной активности ^{137}Cs в компонентах фитомассы сосны.

Таблица 4 – Коэффициенты перехода ^{137}Cs в компоненты фитомассы сосны на торфяной низинной почве ПП2 стационара «Валавск»

Год	КП в компоненты фитомассы сосны, $\text{px}10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$						Средняя плотность загрязнения, $\text{кБк}/\text{м}^2$
	кора	древесина	побеги однолетние	побеги двухлетние	хвоя однолетняя	хвоя двухлетняя	
1990	14,0	1,1	10,1	–	7,6	3,4	196,6
1991	10,8	2,8	44,3	–	29,0	13,6	217,2
1997	4,9	1,4	16,4	7,1	18,3	7,0	218,7
1999	2,25	1,4	7,8	3,7	11,0	2,3	216,0

Динамика поступления ^{137}Cs в компонентах фитомассы сосны на мало-мощных торфяных верховых почвах на территории Западного следа черновыльских выпадений. Исследования в сосновых насаждениях на верховых торфяных почвах осуществлялись на ПП2 стационара «Головчицы». Было установлено (таблица 5), что на момент закладки объекта максимальное содержание ^{137}Cs было в коре сосны.

Таблица 5 – Динамика удельной активности ^{137}Cs в компонентах фитомассы сосны на гидроморфных торфяных почвах стационара «Головчицы»

Год	Активность ^{137}Cs , $\text{Бк}/\text{кг}$					
	кора	древесина	побеги однолетние	побеги двухлетние	хвоя однолетняя	хвоя двухлетняя
1990	11430	2260	19980	–	18650	7880
1991	9380	2410	31080	–	40700	6660
1997	4770	1780	12800	7990	16130	9180
1999	3300	1670	22240	8510	22720	5740

В результате процессов самоочищения коры от радионуклида, осевшего на него из облака, отслаивания верхних ее слоев, удельная активность коры снизилась в 1999 г. в 3,5 раза. Отмечено постепенное снижение загрязненности древесины к 1999 г. – в 1,3 раза. Максимальное накопление радионуклида отмечено также как и на стационаре «Валавск» в 1991 г. во всех компонентах фитомассы сосны, кроме коры. В тоже время, в физиологически активных органах сосны (однолетние хвоя, побеги) отмечена цикличность в их загрязнении. При этом, более низкие уровни загрязнения имели место в 1990 г. и 1997 г., более высокие в 1991 г. и 1999 г.

В тоже время на стационарах «Валавск» и «Головчицы» на гидроморфных почва в пределах Западного следа с 1990 г. по 1999 г. наблюдались существенно более низкие различия в накоплении ^{137}Cs в компонентах деревьев сосны I-II класса роста и развития в исследуемых насаждениях, что говорит либо об определенном «выравнивании» накопления ^{137}Cs деревьями сосны в насаждениях на торфяных почвах Западного следа, либо о меньшей дискретности выпадений на территории Западного следа по сравнению с Северным.

Как видно из таблицы 6, из всех исследуемых компонентов фитомассы сосны наиболее низкий уровень загрязнения имеет древесина. В среднем, однолетние хвоя и побеги за период наблюдений в сравнении с древесиной сильнее загрязнены в 11,9 и 10,6 раза.

Таблица 6 – Кратность различий в удельной активности ^{137}Cs в компонентах фитомассы сосны в насаждениях на гидроморфных торфяных почвах стационара «Головчицы»

Компоненты фитомассы	Годы			
	1990	1991	1997	1999
Кора	5,1	3,9	2,7	2,0
Древесина	1,0	1,0	1,0	1,0
Побеги однолетние	8,8	12,9	7,2	13,3
Побеги двухлетние	–	–	4,5	5,1
Хвоя однолетняя	8,2	16,9	9,1	13,6
Хвоя двухлетняя	3,5	2,8	5,2	3,4

Сравнивая данные таблиц 6 и 2 можно отметить, что в условиях Западного следа как на верховом торфе, так и на низинном, существенных различий в соотношении загрязненности ^{137}Cs компонентов фитомассы сосны, при сравнении с древесиной, нет.

В тоже время, как видно из таблицы 7, различия в накоплении ^{137}Cs компонентами фитомассы отдельных модельных деревьев сосны одного класса возраста на стационаре «Головчицы» на верховых торфах в среднем в два раза меньше, чем на стационаре «Валавск» на низинных торфах, а сам уровень различий не превышает разброса в 1,5-2,0 раза.

Таблица 7 – Колебания в накоплении ^{137}Cs в компонентах фитомассы деревьев сосны одного класса роста и развития на стационаре «Головчицы»

Компоненты фитомассы	Годы				
	1990	1991	1997	1999	среднее
Кора	1,0	2,1	2,0	1,8	1,7
Древесина	1,7	1,5	1,4	1,4	1,5
Побеги однолетние	1,1	1,3	1,5	1,3	1,3
Побеги двухлетние	–	–	1,1	2,1	1,6
Хвоя однолетняя	2,8	2,6	1,2	1,1	2,0
Хвоя двухлетняя	1,7	1,7	1,3	1,1	1,5

Динамика КП ^{137}Cs в компоненты фитомассы сосны на малопродуктивной верховой торфяной почве на древесно-осоковом торфе. Плотность загрязнения почвы, как видно из таблицы 8, в период наблюдений колебалась в пределах 10,7-11,3 Ки/км², а КП ^{137}Cs в компоненты фитомассы сосны сохраняя тенденцию к снижению величины с 1991 г. до 1999 г. от 2 до 6 раз, были тем не менее выше в насаждениях на верховых торфяных почвах Западного следа, чем на торфяных низинных почвах того же следа в 2-6 раз. При этом,

плотность загрязнения почв на стационаре «Головчицы» была выше, чем на стационаре «Валавск» примерно в 2 раза, а максимальный уровень КП ^{137}Cs в компонентах фитомассы (кроме коры) пришелся на 1991 г.

Таблица 8 – Коэффициенты перехода ^{137}Cs в компоненты фитомассы сосны на торфяной верховой почве ПП2 стационара «Головчицы»

Год	КП в компоненты фитомассы сосны, $\text{px}10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$						Средняя плотность загрязнения, $\text{кБк}/\text{м}^2$
	кора	древесина	побеги однолетние	побеги двухлетние	хвоя однолетняя	хвоя двухлетняя	
1990	27,5	5,4	48,1	–	44,9	18,9	420,5
1991	22,6	5,8	74,9	–	98,0	16,0	415,4
1997	11,5	4,3	30,9	19,3	38,9	22,1	397,4
1999	7,9	4,0	53,6	20,5	54,7	13,8	414,4

В целом, при практически не существенном изменении плотности загрязнения почвы, в четырех периодах отбора образцов на анализ с 1990 г. по 1999 г., величина КП ^{137}Cs коррелировала с уровнем загрязнения компонентов фитомассы сосны как на стационаре «Головчицы», так и на стационаре «Валавск».

Динамика поступления ^{137}Cs в компоненты фитомассы сосны на мощных торфяных почвах на территории Северного следа чернобыльских выпадений. Динамика поступления ^{137}Cs в компоненты фитомассы деревьев сосны в сосновых насаждениях на гидроморфных торфяных почвах на территории Северного следа выпадений в дальней зоне аварии на ЧАЭС представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Динамика удельной активности ^{137}Cs в компонентах фитомассы сосны в сосняке на гидроморфных мощных торфяных почвах стационара «Морозовка-1»

Год	Активность ^{137}Cs , $\text{Бк}/\text{кг}$					
	кора	древесина	побеги однолетние	побеги двухлетние	хвоя однолетняя	хвоя двухлетняя
1999	12548	2710	31207	14187	32383	13513
2003	6243	1980	–	–	–	–
2004	7012	1667	20637	12020	26350	9762
2006	–	1843	–	–	–	–
2014	7855	1806	23526	13420	27364	14932

Как видно из таблицы 9, на год закладки стационара «Морозовка-1», уровень содержания ^{137}Cs в коре был наиболее высоким за весь период наблюдений (1999-2014 гг.). К 2013 г. завершился процесс самоочищения верхних слоев коры от аэрального загрязнения, приведший к снижению в 2 раза содержания в ней ^{137}Cs . В дальнейшем, как видно из наблюдений 2003-2014 гг., стал превалировать другой путь поступления радионуклида, обусловивший на мощных торфяных почвах корневое поступление радионуклида и некоторое

увеличение загрязнения коры (рост содержания ^{137}Cs в 2014 г. в коре по сравнению с 2003 г. на 26%).

Максимум накопления ^{137}Cs в других компонентах фитомассы сосны также пришелся на 1999 г. – год закладки стационара. К 2014 г. содержание радионуклида в древесине снизилось в 1,5 раза, в однолетней хвое и побегах – в 1,2-1,3 раза. В двухлетних вегетативных органах существенного снижения количества радионуклида не произошло. Необходимо отметить, что при общем тренде снижения содержания ^{137}Cs в 2014 г. по сравнению с 2004 г., во всех компонентах фитомассы сосны, отмечено некоторое увеличение накопления радионуклида. Следовательно, в насаждении сосны на гидроморфных торфяных почвах на территории Северного следа за период наблюдений имел место тренд синусоидального циклического накопления ^{137}Cs в деревьях сосны.

В исследуемом насаждении сосны на стационаре «Морозовка-1» (таблица 10) по уровню накопления ^{137}Cs в компонентах фитомассы модельные деревья сосны одного класса роста и развития различаются не столь существенно, как в насаждениях сосны на гидроморфных почвах в пределах Западного следа (таблицы 3 и 7).

Таблица 10 – Колебания в накоплении ^{137}Cs в компонентах фитомассы между модельными деревьями сосны на стационаре «Морозовка-1»

Компонент фитомассы	Различия в накоплении ^{137}Cs между модельными деревьями сосны, раз					
	1999 г.	2003 г.	2004 г.	2006 г.	2014 г.	среднее
Кора	1,5	1,0	2,5	–	1,1	1,9
Древесина	1,2	1,0	1,4	1,0	1,0	1,1
Побеги однолетние	1,3	–	2,8	–	1,1	1,7
Побеги двухлетние	1,2	–	1,6	–	1,0	1,3
Хвоя однолетняя	1,5	–	1,5	–	1,1	1,4
Хвоя двухлетняя	1,4	–	1,1	–	1,1	1,2

При этом наиболее высокие различия в накоплении ^{137}Cs модельными деревьями сосны отмечены в 2004 г., наиболее низкие в 2014 г. Сравнительный анализ различий в накоплении ^{137}Cs деревьями сосны между тремя объектами показывает, что если за период наблюдений, в пределах Западного следа, в насаждениях на низинных торфах средние различия по древесине составляли 3,5 раза, в т. ч. в 1999 г. – 1,7 раза, а в насаждениях на верховых торфах – в 1,5 раза, в т. ч. в 1999 г. – в 1,7 раза, то в пределах Северного следа в насаждении на мощных торфах – эти различия были в 1,1 раза, в т. ч. в 1999 г. – 1,2 раза. Таким образом, в пределах Северного следа на гидроморфных мощных торфах различия в накоплении ^{137}Cs деревьями сосны одного класса роста и развития существенно ниже, чем деревьями сосны в пределах Западного следа на низинных и верховых торфах.

Сравнивая различия в накоплении ^{137}Cs компонентами фитомассы сосны в насаждении сосны на стационаре «Морозовка-1» (ППЗ), можно отметить

(таблица 11), что наиболее низкое соотношение кора/древесина было в 2003 г. – различия в 3,2 раза, а наиболее высоким – в 1999 г. – различия в 4,3 раза.

Таблица 11 – Кратность различий в удельной активности ^{137}Cs в компонентах фитомассы сосны насаждений на гидроморфных торфяных почвах стационара «Морозовка-1»

Компонент фитомассы	Годы				
	1999	2003	2004	2006	2014
Кора	4,6	3,2	4,2	–	4,3
Древесина	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Побеги однолетние	11,5	–	12,4	–	13,0
Побеги двухлетние	5,2	–	7,2	–	7,4
Хвоя однолетняя	11,9	–	15,8	–	15,1
Хвоя двухлетняя	5,0	–	5,9	–	8,3
Примечание: удельная активность ^{137}Cs в древесине – 1					

Для физиологически активных компонентов фитомассы сосны – однолетних побегов – различия колебались по годам от 11,5 раз (1999 г.) до 12,4-13,0 раз (2004 г., 2014 г.). Для однолетней хвои эти показатели соответственно от 11,9 раза (1999 г.) до 15,1-15,8 раз (2014 г., 2004 г.).

Сравнивая соотношения в накоплении ^{137}Cs между компонентами фитомассы сосны в насаждениях на трех типах гидроморфных торфяных почвах можно сделать вывод, что наиболее низкие соотношения для большинства компонентов фитомасса/древесина имели место в насаждении на низинных торфах, а в насаждениях на мощных и верховых торфах эти соотношения хотя и различались, но не столь существенно.

Динамика КП ^{137}Cs в компоненты фитомассы сосны на мощной торфяной почве на переходных торфах. Плотность загрязнения почвы, как видно из таблицы 12, на стационаре «Морозовка-1», расположенном в пределах Северного следа, носит выраженный дискретный характер. Различия в плотности загрязнения почвы ^{137}Cs по годам отбора на ППЗ стационара «Морозовка-1» достигают 4,1 раз (1999 г., 2004 г.) и колеблются от 17 до 7 Ки/км².

Даже не учитывая этого фактора плотность загрязнения почвы ^{137}Cs на ППЗ стационара «Морозовка-1» снизилась к 2014 г. по сравнению с 1999 г. – в 1,7-2,0 раза. При этом, при общем снижении плотности загрязнения почвы из-за радиоактивного распада ^{137}Cs и некоторого снижения удельной активности в компонентах фитомассы сосны, отмечается разнонаправленный характер КП ^{137}Cs в них. Максимум КП ^{137}Cs в коре, древесине, однолетней хвое и побегах наблюдался в 2004 г., а в двухлетней хвое и побегах – в 2014 г.

Таблица 12 – КП ^{137}Cs в компоненты фитомассы сосны на гидроморфных мощных торфяных почвах на территории Северного следа аварии на ЧАЭС, стационар «Морозовка-1»

Год	КП в компоненты фитомассы сосны, $\text{пх}10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$						Средняя плотность загрязнения, $\text{кБк}/\text{м}^2$
	кора	древесина	побеги однолетние	побеги двухлетние	хвоя однолетняя	хвоя двухлетняя	
1999	20,1	4,4	50,1	22,8	52,0	21,7	622,9
2003	11,2	3,6	–	–	–	–	556,8
2004	27,4	6,5	80,6	46,9	102,9	38,1	256,1
2006	–	5,4	–	–	–	–	338,9
2014	21,7	5,0	65,0	75,6	75,6	41,3	361,9

По величине КП ^{137}Cs в компоненты фитомассы исследуемые насаждения на стационарах на гидроморфных почвах можно расставить в последовательности: КП ^{137}Cs на мощных торфяных почвах Северного следа > КП ^{137}Cs на торфяных верховых почвах Западного следа > КП ^{137}Cs на торфяных низинных почвах Западного следа.

Сопоставляя прогнозные данные и фактическую динамику накопления ^{137}Cs в насаждениях на торфяных почвах, можно отметить, что в пределах Западного следа в древесине сосны максимум накопления пришелся на 2001 г., а в других физиологически активных компонентах ее фитомассы – на 1991 г., а не на 2003 г. В пределах Северного следа максимум накопления ^{137}Cs за период наблюдений во всех компонентах фитомассы сосны отмечен в 1999 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты многолетних исследований в насаждениях сосны на гидроморфных почвах показали существенные различия в динамике накопления ^{137}Cs компонентами фитомассы сосны на территориях Западного и Северного следов чернобыльских выпадений:

- в насаждениях сосны на гидроморфных почвах в пределах Западного следа аварии максимум накопления ^{137}Cs (по удельной активности) пришелся на 1991 г., а затем шло постепенное снижение уровня загрязнения;

- в насаждениях сосны на гидроморфных почвах в пределах Северного следа выпадений максимум накопления ^{137}Cs пришелся на 1999 г. При этом, если на низинных и верховых торфяных почвах Западного следа максимум КП ^{137}Cs в компоненты фитомассы сосны зарегистрирован в 1999 г., то на мощных торфяных Северного следа – в 2004 г.;

- в пределах Западного следа отсутствует характерная для Северного следа дискретность выпадений;

- более низкие КП ^{137}Cs в компоненты фитомассы сосны отмечены в насаждениях на торфяных низинных почвах, более высокие – на торфяных верховых почвах, наиболее высокие – на мощных торфяных почвах;

- менее всего различаются по уровням накопления модельные деревья одного класса роста и развития на мощных торфяных почвах в пределах

Северного следа (в 1,1-1,2 раза), больше – на верховых торфяных почвах Западного следа (в 1,5-2 раза), более всего на торфяных низинных почвах в пределах Западного следа (до 5-6 раз);

– меньше других разница в соотношении содержания ^{137}Cs в компонентах фитомассы сосны относительно древесины в насаждениях сосны на верховых торфяных почвах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булко, Н.И. Физико-химическое состояние ^{137}Cs в почвах сосновой формации регионов с различными типами чернобыльских выпадений спустя 20 лет после аварии на ЧАЭС / Н.И. Булко [и др.] // Сб. науч. тр., НАН Беларуси Ин-т леса, Гомель, 2009. – Вып. 69: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 516-534.

2. Булко, Н.И. Накопление ^{137}Cs древесными породами в зависимости от условий увлажнения и сложности насаждения / Н.И. Булко, М.А. Шабалева, А.К. Козлов // Сахаровские чтения 2010 г. Экологические проблемы XXI века: мат. X межд. науч. конф., Минск, 20-27 мая 2010 г. / МГУ им. Н.Д. Сахарова. – ч. II. – Минск, 2010. – С. 230.

3. Булко, Н.И. Особенности поведения ^{137}Cs в сосновых насаждениях разных типов леса на территории Западного следа аварии на ЧАЭС / Н.И. Булко, Шабалева М.А., Козлов А.К. // Веснік Мазырскага дзяржаўнага педагагічнага ўніверсітэта ім. І.П. Шамякіна. – 2009. – № 2 (23). – С. 3-14.

4. Щеглов, А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах / А.И. Щеглов. – М.: Наука, 1999. – 268 с.

FEATURES AND DYNAMICS OF THE PROCESS OF ^{137}Cs INTAKE IN COMPONENTS OF PINE PHYTOMASS ON HYDROMORPHIC PEAT SOILS IN THE FAR ZONE OF THE CHERNOBYL ACCIDENT FOR THE LONG POST-ACCIDENT PERIOD

Bulko N.I., Shabaleva M.A., Mitin N.V., Tolkacheva N.V., Kozlov A.K.

Features of ^{137}Cs intake in components of pine phytomass from hydromorphic peat soils of Northern and Western traces of radionuclides deposition in the far zone of the Chernobyl accident were studied. The changes in radionuclides content in the components of pine phytomass, growing on hydromorphic peat soils, during long-term (20-25 years) period of time were shown. It was found that the maximum of ^{137}Cs accumulation in components of pine biomass on hydromorphic peat soils within the Northern trace occurred in 2004, and within the Western trace - in 1991. At the same time the lowest levels of ^{137}Cs TF in components of pine phytomass were determined in plantations on peat fen soils, higher - on upland peat, the highest - on the powerful peaty soils.

Статья поступила в редколлегию 28.03.2017 г.

