

СОДЕРЖАНИЕ ^{137}Cs В *SUILLUS LUTEUS* НА ТЕРРИТОРИЯХ С РАЗНЫМИ УРОВНЯМИ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ (КИЕВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Н. Е. Зарубина, С. В. Телецкая, А. И. Головач

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Накопление ^{137}Cs *Suillus luteus* проходило в два этапа. С 1986 г. до середины 90-х годов отмечалось ежегодное увеличение уровней удельной активности ^{137}Cs ; на втором этапе (с середины 90-х годов по настоящее время) происходит постепенное снижение содержания ^{137}Cs в *S. luteus*. В пробах, отобранных осенью 1986 г. на полигонах Киевской области, содержание ^{137}Cs варьировало в пределах 80 - 800 Бк/кг сырой массы. Через 10 лет после аварии разброс значений удельной активности ^{137}Cs на «грязных» и сравнительно «чистых» территориях увеличился до 2000 раз. На втором этапе скорость снижения содержания ^{137}Cs в *S. luteus* различна для территорий с разным уровнем загрязнения почв.

Введение

Количество съедобных грибов на территории Украины достигает 500 видов, однако наиболее распространенными среди них на территории Украинского Полесья являются 10 - 15 видов, к которым относится и *Suillus luteus* [1].

Suillus luteus ((L.: Fr.) S. F. Gray) – масленок обыкновенный – принадлежит к классу базидиомицетов (BASIDIOMYCETES), семейства болевых (Boletaceae). *S. luteus* является облигатным микоризообразователем и в большинстве районов своего обширного ареала образует микоризу с видами сосен из подрода двухвойных (Diploxylon) (на территории Украинского Полесья образует микоризу с сосной обыкновенной (*Pinus silvestris* L.)) [2]. Основная часть мицелия *S. luteus* локализована в почве в приповерхностном слое 0 - 5 см [3, 4].

По данным литературных источников и собственных исследований *S. luteus* накапливает значительные количества радионуклидов, в том числе ^{137}Cs [5 - 7].

При проведении исследований на территориях с разным уровнем загрязнения почв были отмечены большие внутривидовые различия удельной активности ^{137}Cs в плодовых телах *S. luteus* – до трех порядков [8].

На территории Республики Беларусь *S. luteus*, наряду с *Xerocomus badius* ((Fr.) Kuhn. ex Gilb.) - польским грибом и *Rhizoglyphus foetidus* ((Batsch: Fr.) Fr.) – свиной тонкой, был предложен в качестве индикатора загрязнения ^{137}Cs лесных экосистем после аварии на ЧАЭС [9].

Целью данной работы было изучение внутривидовой вариативности аккумуляции ^{137}Cs *S. luteus* на территории Чернобыльской зоны отчуждения и Киевской области за пределами зоны в лесных экосистемах с разными уровнями загрязнения почв.

Материалы и методики

Начиная с 1986 г., с целью получения достоверных результатов проведенных исследований и уменьшения ошибки при сравнении значений удельной активности радионуклидов в пробах проводился отбор однородного материала – нечервивые плодовые тела *S. luteus* одного возраста, практически одного размера, без явных повреждений и в местах их значительного скопления согласно методикам [10, 11].

Отбор проводился в осенний период в сентябре - ноябре, начиная с 1986 г. В связи с тем, что на территории исследований осенью часто случаются засухи и массового появления плодовых тел не отмечается, в такие годы пробы не отбирались.

Плодовые тела *S. luteus* отбирались с площади не более 25 м² в количестве не менее трех экземпляров в одной пробе. В среднем в каждой пробе было пять - семь плодовых тел. Из отобранных грибов в лабораторных условиях готовились пробы для измерения содержания аварийных радионуклидов. Содержание радионуклидов определялось в сырых грибах.

Исследования проводились на различных полигонах Чернобыльской зоны отчуждения и Киевской области в сосновых насаждениях (тип экотопов А1 – бор сухой и А2 – бор свежий).

Результаты исследований

Первые данные о накоплении ^{137}Cs *S. luteus* после аварии на ЧАЭС относятся к сентябрю 1986 г. В первый год аварии уровни удельной активности ^{137}Cs в этом виде сравнительно невысоки. Разброс значений содержания радионуклидов в сентябре 1986 г. максимально составляет один порядок. При этом на уровни загрязнения *S. luteus* практически не влияет расстояние от станции (табл. 1). Проведенный корреляционный

анализ не показал достоверной зависимости уровней содержания ^{137}Cs в плодовых телах этого вида грибов от расстояния до станции.

Таблица 1. Содержание ^{137}Cs в *S. luteus* в сентябре 1986 г. на территории различных полигонов Киевской области, Бк/кг сырой массы

Место отбора проб	Удельная активность
«Дитятки» (30 км на юг от ЧАЭС)	800 ± 90
«Рудня Дымерская» (60 км на юг от ЧАЭС)	353 ± 26
«Ст. Соколы» (45 км на юго-запад от ЧАЭС)	637 ± 55
«Тетерев» (70 км на юго-запад от ЧАЭС)	77 ± 8
«Процев» (140 км на юго-восток от ЧАЭС)	793 ± 77
«Стайки» (150 км на юго-восток от ЧАЭС)	420 ± 49

В плодовых телах *S. luteus* осенью 1986 г. кроме ^{137}Cs регистрировались и другие аварийные радиоактивные изотопы, регистрируемые методами гамма-спектрометрии. Данные содержания радионуклидов «чернобыльского» выброса в плодовых телах *S. luteus* приведены в табл. 2.

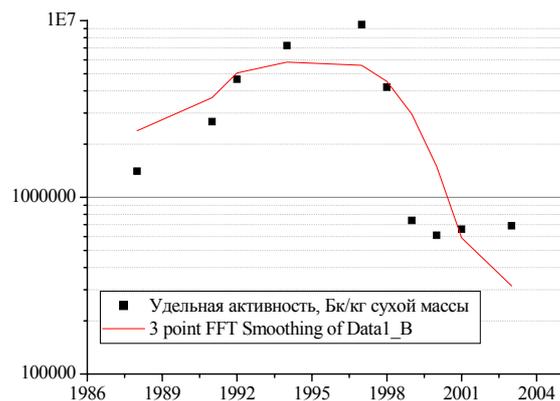
Таблица 2. Содержание аварийных радионуклидов в *S. luteus* в сентябре 1986 г. на территории различных полигонов, Бк/кг сырой массы

Нуклид	Полигон	
	«Ст. Соколы»	«Тетерев»
^{137}Cs	637 ± 55	77 ± 8
^{134}Cs	295 ± 32	35 ± 5
^{144}Ce	4139 ± 310	-
^{141}Ce	466 ± 38	-
^{106}Ru	404 ± 81	29 ± 8
^{103}Ru	206 ± 27	5 ± 2
^{95}Zr	1998 ± 182	-
^{95}Nb	2643 ± 199	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	119 ± 19

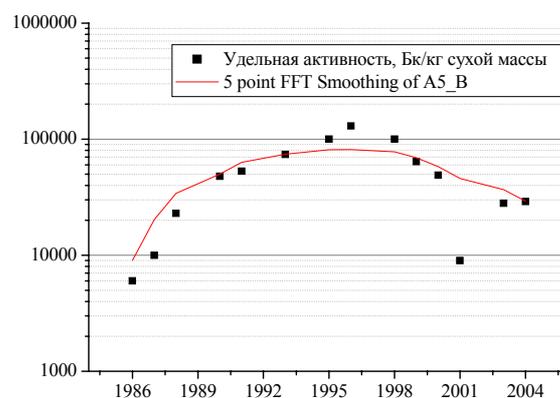
Соотношение удельной активности радионуклидов в пробах соответствует соотношению в выбросах при аварии с учетом периода полураспада короткоживущих изотопов.

Начиная с 1987 г., в плодовых телах *S. luteus* из радионуклидов аварийного происхождения регистрируются только два изотопа цезия – ^{137}Cs и ^{134}Cs .

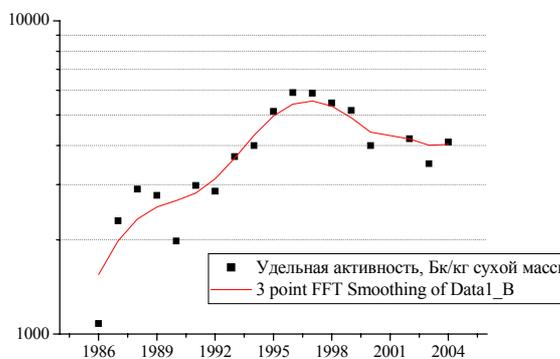
Как и для большинства грибов-симбиотрофов, накопление ^{137}Cs *S. luteus* проходило в два этапа. Первый этап длился с 1986 г. до 1996 - 1998 гг. (в зависимости от полигона пробоотбора) и характеризовался ежегодным увеличением содержания радиоцезия в плодовых телах этого вида грибов (рис. 1).



а



б



в

Рис. 1. Динамика содержания ^{137}Cs в *S. luteus* на полигонах: а – «Ново-Шепеличи»; б – «Дитятки»; в – «Стайки»; логарифмическая шкала.

В 1996 - 1998 гг. наблюдались максимальные уровни удельной активности ^{137}Cs в *S. luteus*. Разброс значений содержания радиоцезия в этом виде грибов в эти годы составлял три порядка для территорий «ближней» зоны и на расстоянии 150 км от станции.

Рост уровней удельной активности ^{137}Cs отмечался не только на полигонах, где загрязнение явилось результатом выпадения топливной компоненты, а также на тех территориях, где загряз-

нение было обусловлено выпадением конденсационной и суперпозицией конденсационной и топливной компонент. Можно предположить, что рост содержания ^{137}Cs в *S. luteus* на территории Киевской области на первом этапе связан не только с выходом этого радионуклида из «горячих» частиц, но и с постепенным увеличением его биологической доступности на протяжении первых 10 - 12 лет после аварии.

Т.е. процесс вовлечения ^{137}Cs из «чернобыльских» выпадений в биологический круговорот имеет значительную временную протяженность.

На втором этапе (с 1996 - 1998 гг. по настоящее время) происходит уменьшение уровней удельной активности ^{137}Cs в *S. luteus*. На территориях с разными уровнями загрязнения почв снижение содержания ^{137}Cs происходит с различной скоростью. На полигонах «ближней» 10-километровой зоны удельная активность ^{137}Cs в *S. luteus* снизилась, практически, на порядок. На территории «южного» следа, включая полигоны, находящиеся на удалении более 30 км от ЧАЭС, а также за пределами зоны отчуждения (Киевская область), зафиксировано снижение уровней удельной активности только в 1,5 - 2 раза, начиная с 1996 - 1998 гг. (рис. 2).

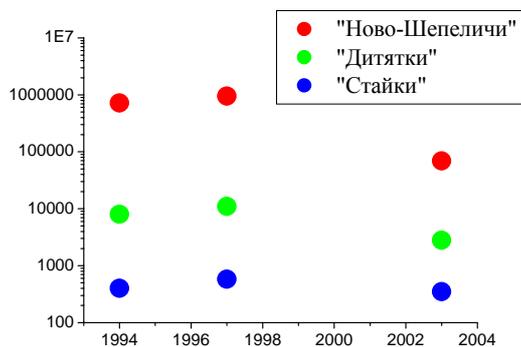


Рис. 2. Содержание ^{137}Cs в *S. luteus* на различных полигонах в 1994, 1997 и 2003 гг., Бк/кг сырой массы, логарифмическая шкала.

На полигонах, где исследования проводятся с 1998 - 1999 гг. (время достижения максимума содержания ^{137}Cs в этом виде грибов не было зафиксировано), в период с 1999 г. по настоящее время скорость снижения содержания радиоцезия в *S. luteus* больше на «грязных», чем на «чистых» территориях. На полигоне «Янов» удельная активность ^{137}Cs в 1999 г. в этом виде грибов составляла 1300000 ± 120000 Бк/кг сырой массы; в 2004 г. – 270000 ± 8000 Бк/кг, т.е. снизилась за пять лет почти в пять раз; на полигоне «Черевач» в 1999 г. – 7800 ± 1200 Бк/кг сырой массы, в 2004 г. – 6200 ± 700 Бк/кг сырой массы; на полигоне «Сухолучье» в 2001 г. – 4700 ± 400 , в 2004 г. – 3200 ± 200 Бк/кг сырой массы.

К 2004 г. разброс значений удельной активности ^{137}Cs в *S. luteus* на территориях с разным уровнем загрязнения почв уменьшился и составляет максимально 200 раз.

На первом этапе накопления не наблюдалось прямой зависимости между загрязнением грибов и загрязнением почв. К середине 90-х годов происходит стабилизация перехода ^{137}Cs по цепи «почва – грибы», т.е. практически весь радиоцезий, содержащийся в почве, доступен для поглощения мицелием. В период стабилизации перехода и в последующие годы наблюдается прямая зависимость между удельной активностью этого радионуклида в грибах и верхнем 5-сантиметровом слое почв, в котором локализован мицелий *S. luteus* (рис. 3). Коэффициент корреляции равен + 0,95.

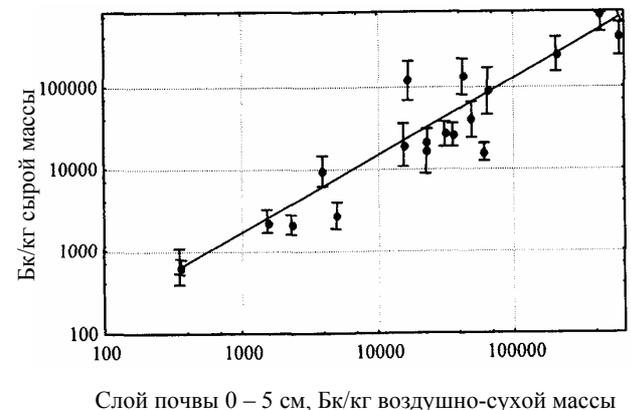


Рис. 3. Содержание ^{137}Cs в *S. luteus* и почве на полигонах с разными уровнями загрязнения в 1999 г., логарифмическая шкала.

При достижении относительной стабилизации перехода радиоцезия по цепи «почва – грибы» практически весь ^{137}Cs из почвы может накапливаться грибным мицелием. Вероятно, какое-то количество ^{137}Cs может поступать обратно в почву из мицелия; какая-то часть радиоцезия попадает в почву при разложении плодовых тел, т.е. переход радиоцезия по цепи «почва – грибы» происходит в двух противоположных направлениях. Часть ^{137}Cs , которая ежегодно попадает в почву из грибов, может необратимо связываться на почвенных частицах (биологическое «старение» радионуклида). Процесс необратимого закрепления ^{137}Cs в почве происходит постоянно, начиная с первого года аварии. Однако количество радиоцезия, поступающее в биологический круговорот из «горячих» частиц до 1996 - 1998 гг., значительно превышало ту его часть, которая необменно закреплялась в почве. Вероятно, к началу второго этапа произошел практически полный выход радиоцезия из «горячих» частиц и его количество, доступное грибному

мицелию, стало ежегодно уменьшаться, что привело к постепенному снижению уровней удельной активности ^{137}Cs в грибах, начиная с 1996 – 1998 гг.

Отличительной особенностью накопления

^{137}Cs *S. luteus* является различие содержания ^{137}Cs в плодовых телах с разным цветом шляпок – темно-коричневым или серо-коричневым, светлым (табл. 3).

Таблица 3. Различия содержания ^{137}Cs в *S. luteus* в зависимости от цвета шляпки, Бк/кг сырой массы

Полигон	Год	Точка	Цвет шляпки*	Удельная активность
«Стайки»	1999		Темно-коричневый	3800 ± 400
			Серо-коричневый	337 ± 35
«Припять»	1999		Темно-коричневый	47000 ± 7000
			Серо-коричневый	7600 ± 1200
«Копачи»	2000	Т. 38	Темно-коричневый	85000 ± 16000
			Серо-коричневый	48000 ± 3500
«Зимовище»	2000		Темно-коричневый	78000 ± 15000
			Серо-коричневый	50000 ± 9000
«Ново-Шепеличи»	2001		Темно-коричневый	66000 ± 15000
			Серо-коричневый	18000 ± 4000

* Данные приведены для плодовых тел целиком, но с удаленной кутикулой.

В темноокрашенных плодовых телах уровни удельной активности ^{137}Cs выше в 1,5 - 10 раз, чем в светлоокрашенных. Причины этого феномена пока не установлены. Возможно, повышенное содержание ^{137}Cs в темноокрашенных плодовых телах связано с большим количеством в них меланина.

Заключение

После достижения относительной стабилизации перехода ^{137}Cs по цепи «почва - *S. luteus*» в период 1996 - 1998 гг. отмечается прямая зависимость между содержанием этого радионуклида в плодовых телах и слое почвы 0 - 5 см (коэффициент корреляции + 0,95), которая сохраняется до настоящего времени.

В связи со значительной скоростью снижения содержания ^{137}Cs в *S. luteus* на территориях с

большими уровнями загрязнения почв разброс значений удельной активности этого радионуклида в *S. luteus* на территории Чернобыльской зоны отчуждения и «южного» следа уменьшился и составляет 200 раз в 2004 г. по сравнению с тремя порядками в 1997 г. Вероятно, дальнейшее снижение концентраций ^{137}Cs приведет к значительному уменьшению разброса уровней удельной активности радиоцезия в этом виде грибов на территории Киевской области.

Однако существует достаточно большая вероятность того, что в ближайшие 5 - 10 лет на территории Киевской области на расстоянии меньше чем 100 км от ЧАЭС содержание ^{137}Cs в *S. luteus* будет превышать 500 Бк/кг сырой массы (ДУ-97).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зерова М.Я. Їстівні та отруйні гриби України. - К.: Наук. думка, 1970. - 138 с.
2. Дудка И.А., Вассер С.П. Грибы. Справочник миколога и грибника. - К.: Наук. думка, 1987. - 536 с.
3. Guillitte O., Fraiture A., Lambinon J. Soil-fungi radiocesium transfer in forest ecosystems // Transfer of Radionuclides in Natural and Semi-Natural Environment / Ed. G. Desmet et al. - London - New-York: Elsevier Applied Science, 1990. - P. 468 - 476.
4. Ruhm W., Kammerer L., Hiersche L., Wirth E. The Cs-137/Cs-134 Ratio in Fungi as an Indicator of the Major Mycelium Location in Forest Soil // J. Envir. Radioact. - 1997. - Vol. 35, No. 2. - P. 129 - 148.
5. Беседіна І.С., Гродзинська Г.А., Люгін В.О. Вміст радіоцезію у макроміцетах Придніпровської Нивини (Лівобережний Лісостеп) // Український ботанічний журнал. - 1993. - Т. 50, № 1. - С. 170 - 173.
6. Анализ путей переноса и дозовое распределение: Совместный научный проект JSP-5. Международное сотрудничество по ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы (1991 - 1995). (Заключит. отчет). - С. 12, 67 - 80, 85.
7. Зарубіна Н.Є. Сучасний етап у накопиченні радіоактивного цезію грибами // Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. - Грудень 2002. - № 2 (20). - С. 46 - 52.
8. Heinrich G. Distribution of radiocesium in the different parts of mushrooms // Journ. of envir. radioact. - 1993. - Vol. 18, No. 3 - P. 229 - 245.

9. *Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации* / Под ред В. А. Ипатьева. - Гомель (Беларусь): Ин-т леса НАН Беларуси, 1999. - 452 с.
10. *Методические рекомендации. Оценка радиационной обстановки окружающей среды.* - К., 1988. - 50 с.
11. *Инструкции и методические указания по оценке радиационной обстановки на загрязненной территории* / Под ред. Ю. А. Израэля. - 1989. - 118 с.

ВМІСТ ^{137}Cs В *SUILLUS LUTEUS* НА ТЕРИТОРІЯХ З РІЗНИМИ РІВНЯМИ РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ (КИЇВСЬКА ОБЛАСТЬ)

Н. Є. Зарубіна, С. В. Телецька, А. І. Головач

Накопичення ^{137}Cs *Suillus luteus* проходило в два етапи. З 1986 р. до середини 90-х років відмічено щорічне зростання рівнів питомої активності радіоцезію; на другому етапі (із середини 90-х років по нинішній час) відмічено поступове зниження вмісту ^{137}Cs в *S. luteus*. У пробах, які було відібрано восени 1986 р. на полігонах Київської області, вміст ^{137}Cs варіював у межах 80 - 800 Бк/кг сирової маси. Через 10 років після аварії розкид значень питомої активності ^{137}Cs на «брудних» та порівняно «чистих» територіях зріс до 2000 раз. На другому етапі швидкість зниження вмісту ^{137}Cs в *S. luteus* відрізняється на територіях із різним рівнем забруднення ґрунтів.

THE CONTENT OF ^{137}Cs IN *SUILLUS LUTEUS* IN THE TERRITORIES WITH DIFFERENT LEVELS OF RADIONUCLIDES POLLUTION OF SOIL (KIEV REGION)

N. E. Zarubina, S. V. Teletskaja, A. I. Golovach

Accumulation of ^{137}Cs by *Suillus luteus* passed in two stages. Since 1986 up to the middle of 90th the annual increase in levels of specific activity of radiocesium was marked; at the second stage (from the middle of 90th on present time) there is a gradual decrease in the contents of ^{137}Cs in *S. luteus*. In the tests selected in the autumn of 1986 on ranges of Kiev region, the contents of ^{137}Cs varied within the limits of 80 - 800 Bq/kg of fresh weight. In 10 years after accident the disorder of specific activity values of ^{137}Cs in "dirty" and rather "pure" territories has increased up to 2000 times. At the second stage speed of decrease in the contents of ^{137}Cs in *S. luteus* is differed for the territories with various level of soil pollution.

Поступила в редакцію 08.02.06,
после доработки – 11.04.06.