

РАЗЛИЧИЯ В НАКОПЛЕНИИ ^{137}Cs ОБЛИГАТНЫМИ И ФАКУЛЬТАТИВНЫМИ ПРЕДСТАВИТЕЛЯМИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГРУППЫ ГРИБОВ-СИМБИОТРОФОВ

Н. Е. Зарубина, О. Л. Зарубин

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

На территории исследований (Чернобыльская зона отчуждения и “южный след”) в период с 1986 по 1998 - 2000 гг. содержание ^{137}Cs в факультативном представителе экологической группы грибов-симбиотрофов - свинушке тонкой превышало содержание этого радионуклида в облигатных видах (масленке обыкновенном, польском грибе и др.) в 2 – 20 раз. В последние несколько лет уровни накопления радиоцезия в свинушке тонкой на территории зоны отчуждения резко снизились и в 2001 г. не превышают (на некоторых полигонах в 2 – 5 раз ниже) содержания ^{137}Cs в облигатных видах. Такие особенности накопления ^{137}Cs свинушкой тонкой связаны с местом локализации мицелия этого вида – слое лесной подстилки, которое, в свою очередь, является следствием проявления факультативности этого вида в выборе типа питательного субстрата.

Принадлежность грибов к определенной экологической группе является следствием приспособления каждого вида к условиям обитания. Выделяют такие экологические группы грибов: сапротрофы, ксилотрофы, микотрофы и др. Особое место занимает экологическая группа грибов-симбиотрофов (микоризообразователей), находящихся в симбиозе с корнями высших растений, и образующая микоризу. При этом растение обеспечивает гриб энергией, а гриб снабжает растение водой, микроэлементами, в том числе и радионуклидами.

Облигатными микоризообразователями являются такие известные и широко распространенные на территории Украинского Полесья виды: белый гриб (*Boletus edulis* Bull.), все виды сыроежек (род *Russula*), грибы-млечники (род *Lactarius*), польский гриб (*Xerocomus badius* (Fr.) Kuhn. ex Gilb.) и др. Факультативным представителем грибов-симбиотрофов является свинушка тонкая (*Paxillus involutus* (Batsch: Fr.) Fr.) [1 - 4].

Исследования накопления “глобального” ^{137}Cs макромицетами разных видов до 1986 г. на территории Европы показали, что среди грибов-симбиотрофов наибольшими величинами его удельной активности отличается свинушка тонкая [5, 6]. После аварии на ЧАЭС было отмечено, что этот вид характеризуется самыми высокими уровнями содержания радиоцезия. Однако, наряду со свинушкой тонкой, большие удельные активности ^{137}Cs характерны и для облигатных представителей симбиотрофов – ежевика желтого (*Hydnum repandum* Fr.), горькушки (*Lactarius rufus* Fr.), волнушки (*Lactarius torminosus* (Schaeff.: Fr.) S.F.Gray), рыжика деликатесного (*Lactarius deliciosus* (L.: Fr.) Fr.), козляка (*Suillus bovinus* (L.:Fr.), моховика трещиноватого (*Xerocomus chrysenteron* (Bull.: St-Am.) Quel) и некоторых других [5]. Польский гриб, горькушка и свинушка тонкая были предложены в качестве биоиндикаторов радиоактивного загрязнения лесных экосистем [7 - 9].

Целью исследований было изучение накопления ^{137}Cs облигатными и факультативными представителями экологической группы грибов-симбиотрофов на территории Чернобыльской зоны отчуждения и “южного следа” после аварии на ЧАЭС.

Основные результаты

В процессе работы отбирались образцы польского и белого грибов, масленка обыкновенного (*Suillus luteus* (L.: Fr.) S.F.Gray) (облигатные микоризообразователи) и свинушки тонкой (факультативный микоризообразователь) на полигонах с различными уровнями содержания радиоцезия в почвах. Подготовка проб и измерения в них удельной активности ^{137}Cs проводились с помощью стандартных методов.

На территории зоны отчуждения (полигон “Дитятки”) осенью 1986 г. среди грибов-микоризообразователей максимальным концентратором ^{137}Cs была свинушка тонкая (17,5 ±

1,3 кБк/кг сырой массы). Значительно меньше этого радионуклида было зарегистрировано в облигатных симбиотрофах: белом грибе ($0,55 \pm 0,10$ кБк/кг сырой массы), польском грибе ($0,80 \pm 0,13$ кБк/кг сырой массы) и масленке обыкновенном ($0,85 \pm 0,15$ кБк/кг сырой массы). К середине 90-х годов удельная активность ^{137}Cs в этих видах макромицетов увеличилась в 10 – 35 раз (в 1996 г. содержание ^{137}Cs в белом грибе составляло $5,6 \pm 0,9$, в польском грибе – $26,7 \pm 7,0$, в масленке обыкновенном – $13,7 \pm 4,0$ кБк/кг), в свинушке тонкой – только в 1,5 - 3 раза.

Превышение содержания ^{137}Cs на территории Чернобыльской зоны отчуждения и “южного следа” в свинушке тонкой по сравнению с облигатными видами наблюдалось в период с 1986 по 1998 – 2000 гг. в зависимости от места отбора проб.

Динамика накопления радиоцезия свинушкой тонкой и польским грибом на основных полигонах исследований приведена на рис. 1 - 3 (польский гриб и масленок обыкновенный на всей территории исследований являются видами-концентраторами ^{137}Cs среди облигатных представителей симбиотрофов).

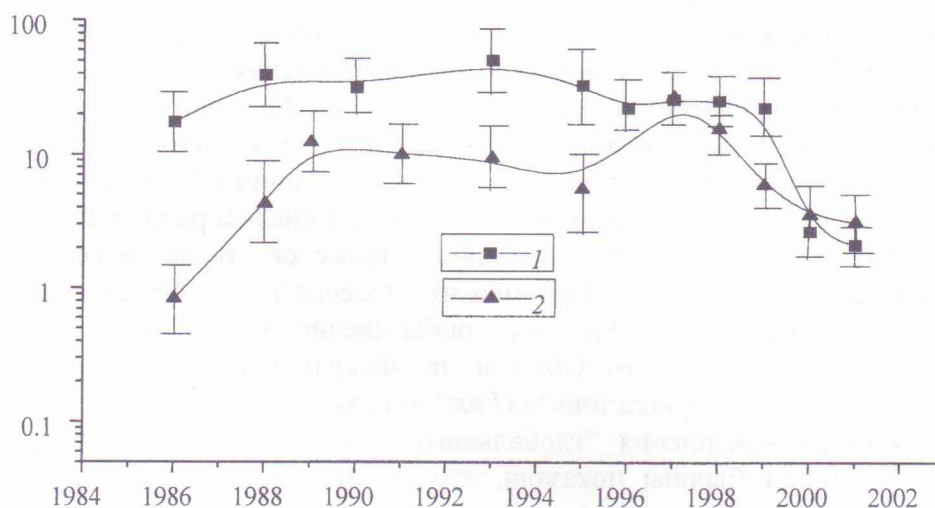


Рис. 1. Динамика содержания ^{137}Cs в свинушке тонкой (1) и польском грибе (2) на территории полигона “Дитятки”, кБк/кг сырой массы, логарифмическая шкала.

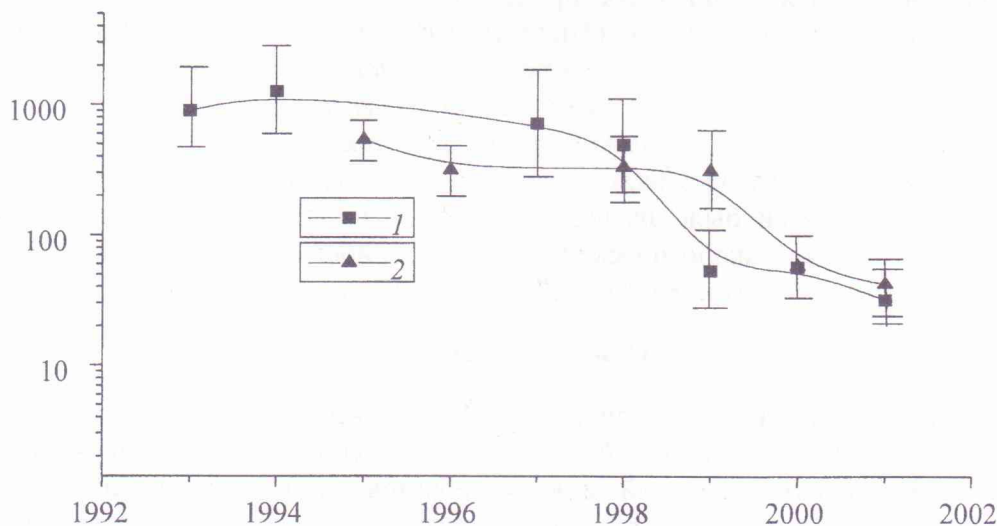


Рис. 2. Динамика содержания ^{137}Cs в свинушке тонкой (1) и польском грибе (2) на территории полигона “Ново-Шепеличи”, кБк/кг сырой массы, логарифмическая шкала.

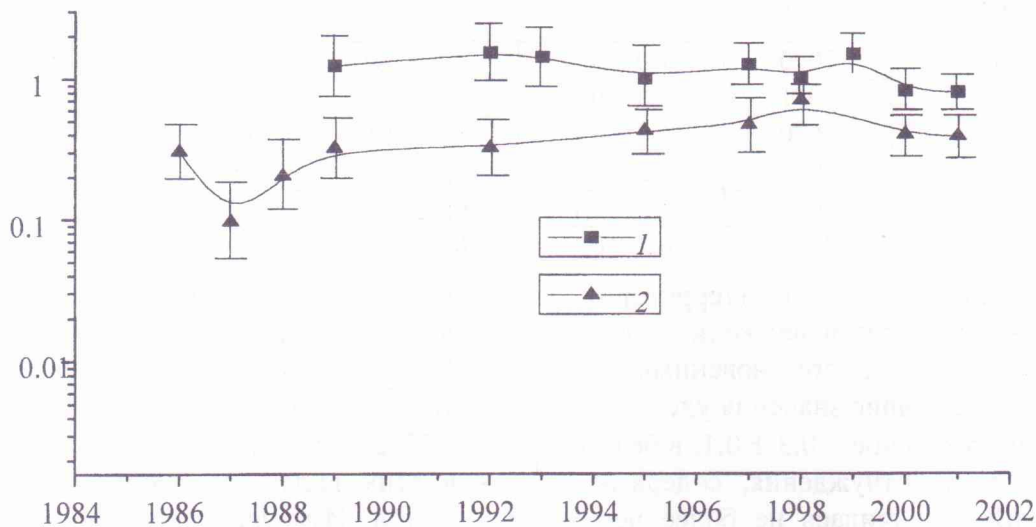


Рис. 3. Динамика содержания ^{137}Cs в свинушке тонкой (1) и польском грибе (2) на территории полигона “Стайки”, кБк/кг сырой массы, логарифмическая шкала.

На территории полигонов, расположенных в Чернобыльской зоне, содержание ^{137}Cs в свинушке тонкой в период с 1986 по 1997 г. значительно превышает содержание этого радионуклида в польском грибе, а также в других облигатных видах грибов-симбиотрофов. К 1998 – 2000 гг. удельная активность ^{137}Cs в польском грибе, масленке обыкновенном и свинушке тонкой практически сравнивается. На полигонах “Дитятки” и “Ново-Шепеличи” содержание радиоцезия в свинушке тонкой в последние несколько лет ниже, чем в облигатных видах грибов-симбиотрофов.

На других полигонах зоны отчуждения (“Янов”, “Парышев”, “Куповатое”, “Черевач” и др.) удельная активность ^{137}Cs в свинушке тонкой в 2000 г. незначительно превышает, а в 2001 г. равна его удельной активности в облигатных микоризообразователях.

В табл. 1 и 2 приведены значения удельной активности ^{137}Cs в свинушке тонкой, масленке обыкновенном, белом грибе и почве (послойно) на территории некоторых полигонов зоны отчуждения в 2000 - 2001 гг.

Таблица 1. Содержание ^{137}Cs в масленке обыкновенном, белом грибе (облигатные симбиотрофы) и свинушке тонкой (факультативный симбиотроф), кБк/кг сырой массы

Полигон	Год	Свиношка тонкая	Белый гриб	Масленок обыкновенный
“Янов”	2000	1500 ± 200	130 ± 30	500 ± 100
	2001	700 ± 120	160 ± 40	500 ± 100
“Опачичи”	2000	3,0 ± 0,8	1,9 ± 0,4	5,0 ± 1,3
	2001	2,5 ± 0,6	1,7 ± 0,3	3,0 ± 0,9
“Черевач”	2000	20 ± 3	2,3 ± 0,7	16 ± 3
	2001	5,0 ± 1,4	0,9 ± 0,1	5,0 ± 0,8
“Парышев”	2000	2,9 ± 0,5	0,9 ± 0,3	2,4 ± 0,3
	2001	1,6 ± 0,3	0,9 ± 0,2	1,8 ± 0,3

Таблица 2. Содержание ^{137}Cs в почве (послойно), кБк/кг воздушно-сухой массы

Полигон	Год	АoL	АoF	АoH	0 – 5 см
“Янов”	2000	40 ± 10	150 ± 20	180 ± 20	110 ± 30
	2001	20 ± 7	140 ± 20	180 ± 15	100 ± 20

Продолжение табл. 2

Полигон	Год	АoL	АoF	АoH	0 – 5 см
“Опачичи”	2000	1,0 ± 0,3	7,0 ± 2,0	8,0 ± 2,0	0,8 ± 0,3
	2001	0,3 ± 0,1	5,0 ± 1,5	6,5 ± 2,0	0,6 ± 0,1
“Черевач”	2000	1,5 ± 0,4	7,0 ± 2,1	9,0 ± 3,0	0,3 ± 0,1
	2001	1,2 ± 0,3	6,0 ± 2,0	8,5 ± 2,5	0,4 ± 0,1
“Парышев”	2000	0,2 ± 0,1	0,6 ± 0,2	1,2 ± 0,4	0,4 ± 0,1
	2001	0,2 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,3 ± 0,1

На полигоне “Стайки” (территория “южного следа”) содержание ^{137}Cs в свинушке тонкой в 2 – 5 раз превышает количество радиоцезия, который накапливают польский гриб, белый гриб, масленок обыкновенный и др. В 1986 г. на этом полигоне были зарегистрированы следующие значения удельной активности ^{137}Cs : в масленке обыкновенном – $0,4 \pm 0,2$, в польском грибе – $0,3 \pm 0,1$, в белом грибе – $0,12 \pm 0,05$ кБк/кг. Однако, в отличие от территории зоны отчуждения, содержание ^{137}Cs в этих видах макромицетов за время исследований увеличилась не более чем в 1,5 - 3 раза. Изменения величины удельной активности радиоцезия в свинушке тонкой еще меньше: в 1989 г. – $1,2 \pm 0,4$ кБк/кг; в 1992 г. – $1,5 \pm 0,4$ кБк/кг; в 1997 г. – $1,3 \pm 0,1$ кБк/кг (см. рис. 3).

Обсуждение полученных результатов

Основными факторами, влияющими на уровни накопления ^{137}Cs макромицетами, отобранными на одном и том же полигоне, является глубина локализации мицелия каждого вида в почвенном профиле и принадлежность грибов к определенной экологической группе [10 - 13]. Однако эти два фактора являются взаимосвязанными - принадлежность к определенной экологической группе предопределяет и место локализации мицелия. Макромицеты получают биологически доступный растворенный ^{137}Cs из воды того слоя почв, в котором расположен их мицелий [14 - 16].

У факультативных микоризообразователей мицелий находится, в основном, в мертвом органическом веществе и расположен в верхних органических самых загрязненных слоях почвы, у облигатных – в более глубоких органических и минеральном слоях. Благодаря этому факту, более высокие уровни содержания ^{137}Cs отмечаются в факультативных, а не облигатных симбиотрофах [17].

Мицелий свинушки тонкой, являющейся факультативным микоризообразователем, вероятно, располагается в приповерхностном наиболее загрязненном радионуклидами слое почв (лесной подстилке), что и объясняет своеобразную динамику накопления ^{137}Cs этим видом грибов. Подтверждает это предположение и тот факт, что удельная активность радиоцезия на территории зоны отчуждения в свинушке за период с 1986 по 1996 г. увеличилась не более чем в 1,5 – 3 раза (в отличие от облигатных видов), т.е. только за счет выхода цезия из “горячих” частиц, без дополнительных поступлений из вышерасположенных слоев почвы.

С перераспределением ^{137}Cs по вертикальному профилю почв происходит и изменение соотношения содержания этого радионуклида в факультативных и облигатных симбиотрофах, что наблюдается на территории Чернобыльской зоны отчуждения в течение нескольких последних лет (см. рис. 1 и 2, табл. 1).

Отсутствие изменения соотношения содержания радиоцезия в облигатных и факультативных симбиотрофах на территории “южного следа” (см. рис. 3) можно объяснить отличиями первичного загрязнения этого района радионуклидами в результате аварии на ЧАЭС. Если загрязнение почв Чернобыльской зоны отчуждения обусловлено выпадением в основном топливной компоненты или суперпозицией топливной и конденсационной компонент, то на территории полигона “Стайки” загрязнение явилось следствием выпадения конденсационной компоненты, что в свою очередь привело к иным процессам перераспределения ^{137}Cs в почвенном профиле.

Из данных литературы [18 - 21 и др.] известно, что с течением времени на территориях, загрязненных преимущественно топливной компонентой, количество подвижных форм (водорастворимых, биологически доступных) радиоцезия выросло в десятки раз. Это явилось причиной увеличения содержания этого радионуклида в симбиотрофах на территории Чернобыльской зоны отчуждения, начиная с 1986 до 1995 – 1998 гг. в зависимости от места отбора проб. Однако на территории “южного следа” вследствие загрязнения конденсационной компонентой биологически доступный ^{137}Cs с первого года после аварии по настоящее время активно мигрирует по трофическим цепям, о чем свидетельствует незначительное повышение удельной активности этого радионуклида в макромицетах с течением времени. При этом его основное количество находится в пределах корнеобитаемого слоя почвы. В 2001 г. содержание ^{137}Cs в лесной подстилке на полигоне “Стайки” составляет приблизительно 95 % от общей удельной активности почв (лесная подстилка – $0,6 \pm 0,2$ кБк/кг, 0 – 5-сантиметровый слой почвы – $0,035 \pm 0,004$ кБк/кг воздушно-сухой массы) в отличие от территории Чернобыльской зоны отчуждения (см. табл. 2). Вероятно, особенности динамики содержания ^{137}Cs в облигатных и факультативных симбиотрофах на полигоне “Стайки” связаны именно с этим фактом.

При возможном в будущем перераспределении радиоцезия в почве на территории “южного следа” будет происходить и изменение соотношения содержания радиоцезия в свинушке тонкой и облигатных симбиотрофах – масленке обыкновенном, польском и белом грибах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мюллер Э., Леффлер В. Микология: Пер. с нем. - М.: Мир, 1995. – 343 с.
2. Жизнь растений: В 7 томах. – М.: Просвещение, 1991. – Т. 2: Грибы. – 480 с.
3. Зерова М.Я. Їстівні та отруйні гриби України. – Київ: Наук. думка, 1970. – 138 с.
4. Дудка И.А., Вассер С.П. Грибы. Справочник миколога и грибника. - Киев: Наук. думка, 1987. – 536 с.
5. Heinrich G. Distribution of radiocesium in the different parts of mushrooms // J. Envir. Radioact. – 1993. - Vol. 18, No. 3. - P. 229 - 245.
6. Randa Z., Benada Ja. Mushrooms - Significant Source of Internal Contamination by Radiocaesium // Transfer of Radionuclides in Natural and Semi-Natural Environment / G. Desmet et al. – London – New-York: Elsevier Applied Science, 1990. – P. 169 - 178.
7. 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.
8. Тихомиров Ф.А., Щеглов А.И., Цветнова О.Б. Грибы как биоиндикатор доступности Cs-137 в почвах зоны радиоактивного загрязнения // Тез. докл. III Всесоюз. конф. с.-х. радиологии. – Т. 1. - Обнинск, 1990. – С. 45 – 46.
9. Klan J., Randa Z., Benada J. Et al. Investigation of non-radioactive Rb, Cs and radiocesium in higher fungi // Ces. Mycol. - 1988. - Vol. 42, No. 3. – P. 158 – 169.
10. Анализ путей переноса и дозовое распределение: (Заключит. отчет совместного экспериментального проекта JSP – 5) / Европейская Комиссия, Беларусь, Российская Федерация, Украина. – EUR 16541 EN. - Брюссель, 1996. – 130 с.
11. Tsvetnova O.B., Shcheglov A.I. Cs-137 content in mushrooms of radioactive contaminated zones of the European part of the CIS.// Sci. Total Envir. – 1994. – Vol. 155. – P. 24 – 29.
12. Lambinon J., Fraiture A., Gasia M.C., Guillitte O. La radiocontamination des champignons sauvages en Wallonie (Belgique) cuite a l'accident de Tchernobyl // 4 Sym. Int. Radioecol. Cadarache @Impact accidents orig. – 1988. - Nucl. Envir. – No. 2. - P. E37 – E44.
13. Strandberg M. Radiocesium in a Danish pine forest ecosystem // Sci. Total Envir. – 1994. – Vol. 157. – P. 125 – 132.
14. Федоров В.Н. Аккумуляция радионуклидов грибами в зонах радиоактивного загрязнения // Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси / Под ред. В. И. Парфенова, Б. И. Якушева. – Минск (Беларусь): Наука і тэхніка, 1995. - С. 190 – 197.

15. Schell W.R., Linkov I., Belinkaia E. et al. Application of a Dynamic Model for Evaluating Radionuclide Concentration in Fungi // Internat. Cong. Radiat. Protect. - Vienna (Austria), 1996. – Vol. 2. – P. 2-752 – 2-754.
16. Поведение радионуклидов в природных и полуприродных экосистемах: (Заключит. отчет совместного экспериментального проекта № 5) / Европейская Комиссия, Беларусь, Российская Федерация, Украина. – EUR 16531 en. - Брюссель, 1996. – 141 с.
17. Guillitte O., Giovani C., Klemt E. An overview of the role of fungi in the radiocaesium pathway within forests and from forest to man // International Conf. “Ten years after Chernobyl catastrophe”. - Minsk (Belarus). - 1996. - P. 66 - 72.
18. Копейкин В.А. Геохимические последствия Чернобыльской катастрофы // Проблемы Чернобыльской зоны відчуження. – 1995. – Вып. 2. – С. 128 - 137.
19. Бондаренко Г.Н., Кононенко Л.В. Распределение форм нахождения стронция-90 и цезия-137 по вертикальным почвенным разрезам зоны отчуждения ЧАЭС // Сб. докл. Междунар. науч. конф. “Итоги 8 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС”. – Т. 1. – Чернобыль: Минчернобыль Украины. - 1994. - С. 176 - 185.
20. Агапкина Г.И., Щеглов А.И., Тихомиров Ф.А. Формы соединений техногенных радионуклидов в жидкой фазе почв // Тез. докл. III съезда по радиационным исследованиям. – М., 1997. – Т. II. - С. 425 - 426.
21. Архипов А.Н., Озорнов А.Г., Паскевич С.А. Биологическая доступность цезия-137 и стронция-90 в почвах 30-км зоны ЧАЭС // Сб. докл. Междунар. науч. конф. “Итоги 8 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС”. – Т. 1. – Чернобыль: Минчернобыль Украины. - 1994. - С. 337-349.

ВІДМІННОСТІ В НАКОПИЧЕННІ ^{137}Cs ОБЛІГАТНИМИ ТА ФАКУЛЬТАТИВНИМИ ПРЕДСТАВНИКАМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ ГРУПИ ГРИБІВ-СИМБІОТРОФІВ

Н. Є. Зарубіна, О. Л. Зарубін

На території досліджень (Чернобыльська зона відчуження та “південний слід”) у період з 1986 по 1998 - 2000 рр. вміст ^{137}Cs у факультативному представнику екологічної групи грибів-симбіотрофів - свинушці тонкій перевищував вміст цього радіонукліда в облігатних видах (маслюку звичайному, польському грибі та ін.) у 2 - 20 разів. За останні декілька років рівні накопичення радіоцезію у свинушці тонкій на території зони відчуження різко знизилися й у 2001 р. не перевищують (на деяких полігонах у 2 - 5 разів нижче) вмісту ^{137}Cs в облігатних видах. Такі особливості накопичення ^{137}Cs свинушкою тонкою пов'язані з місцем локалізації міцелію цього виду - прошарку лісової підстилки, що, у свою чергу, є результатом прояву факультативності цього виду у виборі типу субстрату живлення.

DISTINCTIONS IN ACCUMULATION OF ^{137}Cs BY OBLIGATORY AND FACULTATIVE REPRESENTATIVES OF ECOLOGICAL GROUP OF MUSHROOMS-SYMBIOTROPHES

N. E. Zarubina, O. L. Zarubin

On the research area (the alienation zone of ChNPP and “southern trace”) the content of ^{137}Cs in the facultative representative of ecological group of symbiotrophes – *Paxillus involutus* thin exceeded the content of this radionuclide in obligatory kinds (*Suillus luteus*, *Xerocomus badius* etc.) in 2 - 20 times during the period of 1986 - 1998 - 2000. For the last years the levels of accumulation of radiocesium in *P. involutus* in the alienation zone of ChNPP have decreased and in 2001 do not exceed (at some polygons in 2 - 5 times below) of ^{137}Cs content in obligatory kinds. Such features of ^{137}Cs accumulation by *P. involutus* are connected to the place of localization of this kind mycelium - the layer of the forest litter, which in turn is the consequence of display of facultativness of this kind in substratum nutritious choise.

Поступила в редакцію 13.02.02,
после доработки – 12.09.02.