

Д. М. Иванов^{1,2}, М. А. Ефремова³, Т. В. Родичева³

ОЦЕНКА РАДИОАКТИВНОСТИ ПЛОДОВЫХ ТЕЛ ГРИБОВ РОДА *LECCINUM* В МИКРОЭКОСИСТЕМАХ ПРИУСЛОВОВОГО ВАЛА р. КРЕМЕНКА (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛ., ГАТЧИНСКИЙ Р-Н)*

Установлено, что содержание радионуклидов в сухих плодовых телах *L. schistophilum*, *L. scabrum* и *L. versipelle* из I–V микроэкосистем на аллювиально-дерновой почве не превышает допустимого уровня в 2500 Бк/кг. В микроэкосистемах I–V активность измеренного материала сопоставима с незагрязненными лесными экосистемами Ленинградской области.

Концентрация ¹³⁷Cs в плодовых телах *L. holopus* и *L. variicolor* из VI микроэкосистемы находится на верхней границе допустимых значений и составляет 2677 ± 270 Бк/кг. В сухой почве микроэкосистемы VI концентрация ¹³⁷Cs составила 334 ± 76 Бк/кг. Накоплению ¹³⁷Cs в плодовых телах VI микроэкосистемы способствует болотно-подзолистая почва, слабокислая реакция среды (рН 5,5) которой обеспечивает миграцию ¹³⁷Cs по почвенному профилю.

Сравнение полученных данных с результатами измерений, проведенных в лесных и болотных экосистемах Ленинградской области, показывает, что уровень активности по ¹³⁷Cs в плодовых телах из VI микроэкосистемы сравним с активностью плодовых тел на верховых сфагновых болотах и в заболоченных участках леса. Библиогр. 11 назв. Табл. 1.

Ключевые слова: *Leccinum*, ¹³⁷Cs, микроэкосистемы приустьевых валов реки.

RADIOACTIVITY ESTIMATION OF FRUIT BODIES OF THE *LECCINUM* GENUS FUNGI IN THE MICROECOSYSTEMS OF THE RIVERBED BANK OF THE R. KREMENKA (LENINGRAD REGION, GATCHINSKY DISTR.)

D. M. Ivanov^{1,2}, M. A. Efremova³, T. V. Rodicheva³

¹ St. Petersburg State University, Universitetskaya nab., 7/9, St. Petersburg, 199034, Russian Federation; goldenflees@mail.ru

² St. Petersburg State University of Civil Aviation, ul. Pilotov, 38, St. Petersburg, 196210, Russian Federation; goldenflees@mail.ru

³ St. Petersburg State Agricultural University, Peterburgskoe shosse, 2, Pushkin, 196601, Russian Federation; marina_efremova@mail.ru, trodicheva@mail.ru

The article proves that the maintenance of ¹³⁷Cs in dry fruit bodies of *L. schistophilum*, *L. scabrum* and *L. versipelle* from I–V microecosystems on alluvial-turfen soil does not exceed an admissible level of 2500 Bq/kg. In microecosystems I–V the activity of the measured material is comparable with not polluted forest ecosystems of Leningrad region.

Concentration of ¹³⁷Cs in fruit bodies of *L. holopus* and *L. variicolor* from VI microecosystem is on the top border of admissible values and makes 2677 ± 270 Bq/kg. In dry soil of VI microecosystem concentration of ¹³⁷Cs makes 334 ± 76 Bq/kg. Accumulation of ¹³⁷Cs in fruit bodies of VI microecosystem is promoted by bog-podsolic ground, subacidic reaction of environment (pH 5,5) which provides migration of ¹³⁷Cs in soil structure.

Comparison of the received data with the results of the measurements, carried out in wood and marsh ecosystems of Leningrad region, shows that the level of ¹³⁷Cs activity in fruit bodies from VI microecosystem is relatively similar to the activity of fruit bodies on sphagnum bogs and in the forested boggy sites. Refs 11. Tables 1.

Keywords: *Leccinum*, ¹³⁷Cs, microecosystems of the riverbed bank of the river.

Д. М. Иванов (goldenflees@mail.ru): Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, 196210, Санкт-Петербург, ул. Пилотов, 38, Российская Федерация; М. А. Ефремова (marina_efremova@mail.ru), Т. В. Родичева (trodicheva@mail.ru): Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 196601, Пушкин, Петербургское шоссе, 2, Российская Федерация

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 10-04-01190-а).

Введение

В пойме р. Кременка на аллювиальных почвах сложились своеобразные условия микоризообразования как по эдафическим условиям, так и по составу доминирующих древесных пород [1].

В микроэкосистемах поймы р. Кременка были обнаружены участки массового плодоношения видов грибов рода *Leccinum* S. F. Gray, отличающиеся по морфологическим признакам от плодовых тел, собранных в мезоэкосистемах на коренном берегу. Плодовые тела, собранные в микроэкосистемах прируслового вала р. Кременка были идентифицированы методом рестрикционного анализа участков ITS1-5,8S-ITS2 и IGS1 рибосомальной ДНК [1].

В связи с обсуждением перспектив применения представителей изучаемого рода грибов для биомониторинга ^{137}Cs в различных типах леса и болотных сообществах [2–5] представляют интерес данные о содержании ^{137}Cs в плодовых телах грибов, произрастающих в микроэкосистемах поймы, отличающихся по почвенным условиям, как от болотных сообществ, так и от лесных мезоэкосистем коренного берега.

Цель работы — оценить суммарную радиоактивность плодовых тел грибов рода *Leccinum*, собранных в микроэкосистемах прируслового вала р. Кременка.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- провести сбор плодовых тел в период массового плодоношения;
- провести отбор почвенных проб в микроэкосистемах;
- измерить суммарную бета-активность в сухих плодовых телах и в почве;
- провести сравнение полученных данных с результатами оценки содержания ^{137}Cs в плодовых телах, собранных в лесных и болотных мезоэкосистемах Ленинградской области.

Материалы и методы исследования

Географические координаты каждой микроэкосистемы определялись GPS-навигатором eTrex пр-ва Garmin, точность 15 м (приведены в скобках). Местонахождение микроэкосистем показано на плане местности, приведенном в работе [1]. По составу древесных пород и почвенным условиям были выделены следующие микроэкосистемы.

I. Две группы берез 11 и 19 шт. Расположены на границе между лугом и топким участком осоковой поймы глубиной 0,5–1,0 м (N 59°04,734', E 30°27,664').

II. Четыре березы и кустарниковые ивы на границе лугового сообщества (N 59°04,751', E 30°27,678').

III. Узкая полоса берез шириной 1,0–3,0 м посреди затопляемой части поймы (N 59°04,781', E 30°27,644'). В подросте кустарниковая ива, ольха и ель.

IV. Сообщество с доминированием ольхи серой и единичными березами (N 59°04,831', E 30°27,693').

V. Густой подрост молодых елей, береза и кустарниковые ивы (N 59°04,813', E 30°27,660').

VI. Березы разного возраста и подрост из ели, рябины, крушины (N 59°04,823', E 30°27,638').

Почвенный разрез был заложен в I микроэкосистеме. В остальных почвенные пробы отбирались с помощью стальной трубки диаметром 2,5 см. Глубина отбора пробы составляла 10–13 см. Почва в микроэкосистемах I–V — аллювиально-дерновая.

Почва микроэкосистемы VI — болотно-подзолистая. Было проведено определение гранулометрического состава, обменных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , количества гумуса, гидролитической кислотности.

Сбор плодовых тел грибов был осуществлен в периоды массового плодоношения 15–26.08.2011 и 20–29.08.2012. Камеральная обработка плодовых тел и их высушивание были выполнены согласно методике, описанной в работе [2]. Идентификация видов была проведена методом рестрикционного анализа амплифицированных участков рибосомальной ДНК [1]. Материалом для исследования послужили плодовые тела, принадлежащие к следующим видам:

Leccinum versipelle (Fr. et Hök) Snell — подосиновик желто-бурый;

Leccinum scabrum (Bull. : Fr.) S. F. Gray — подберезовик обыкновенный;

Leccinum schistophilum Bon — подберезовик «щебнелюбивый»;

Leccinum variicolor Watling — подберезовик разноцветный;

Leccinum holopus (Rostk.) Watling — подберезовик болотный.

Латинские названия таксонов приводятся по данным Index Fungorum (URL: <http://www.indexfungorum.org/Names/Names.asp>).

Для определения суммарной активности грибов использовался радиометр бета-излучения «Бета». Детектор — газоразрядный счетчик торцового типа СБТ-10, расположенный в свинцовом домике. Измерения выполнялись в условиях толстого слоя. Значение фона детектора измеряли каждые два часа. Измерения активности были проведены для каждого гербарного образца. Время измерения пробы не менее 1000 с. Среднее значение по образцам получено для плодовых тел одного вида из одного местообитания (таблица).

Идентификацию радионуклидного состава в плодовых телах грибов и сухих почвенных образцах проводили на сцинтилляционном гамма-спектрометре МКГБ-01 «РАДЕК». Используемый метод спектроскопии позволяет выявить содержание в пробе естественных радионуклидов ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K и радиоиотопа искусственного происхождения ^{137}Cs .

Результаты исследования и их обсуждение

Средние значения суммарной радиоактивности для плодовых тел грибов из разных микроэкосистем приведены в таблице.

Средние значения суммарной радиоактивности грибов

Микро-экосистема	Виды рода <i>Leccinum</i>	Измерено образцов	Q Бк/кг*
I	<i>L. schistophilum</i> , <i>L. scabrum</i> , <i>L. versipelle</i>	12	1613 ± 199
II	<i>L. schistophilum</i> , <i>L. scabrum</i>	5	1225 ± 123
III	<i>L. schistophilum</i>	3	1969 ± 197
IV	<i>L. variicolor</i>	4	1979 ± 238
V	<i>L. holopus</i>	6	1263 ± 130
VI	<i>L. variicolor</i> , <i>L. holopus</i>	4	2677 ± 270

* Уровень значимости $p < 0,05$.

Различие в количестве измеренных образцов объясняется тем, что плодовые тела на вегетативном мицелии появляются от случая к случаю. Факторы, от взаимодействия которых зависит плодоношение базидиальных грибов, образующих эктотрофную микоризу, не выявлены в достаточной мере для того, чтобы объяснить и появление отдельных грибов, и существование «грибных мест» в однородных лесных сообществах.

В предыдущей работе [4] было установлено, что основной вклад в суммарную бета-активность вносит ^{137}Cs . Анализ полученных результатов (см. таблицу) показывает, что содержание ^{137}Cs в сухих плодовых телах грибов из I–V микроэкосистем не превышает допустимого уровня в 2500 Бк/кг, установленного в СанПиН 2.3.2.1078–01 [6]. В микроэкосистемах I–V активность измеренного материала сопоставима с незагрязненными лесными экосистемами [4].

Концентрация ^{137}Cs в плодовых телах из VI микроэкосистемы находится на верхней границе допустимых значений и составляет 2677 ± 270 Бк/кг. В сухой почве микроэкосистемы VI концентрация ^{137}Cs составила 334 ± 76 Бк/кг. Таким образом, содержание радионуклида в плодовых телах в 8 раз больше, чем в почве и характеризуется соответствующим коэффициентом накопления [5].

Накоплению ^{137}Cs в плодовых телах VI микроэкосистемы способствует болотно-подзолистая почва, слабокислая реакция среды (pH 5,5) которой обеспечивает миграцию ^{137}Cs по почвенному профилю.

Сравнение полученных данных с результатами измерений, проведенных в лесных и болотных экосистемах в Ленинградской области [4], показывает, что уровень активности по ^{137}Cs в плодовых телах из VI микроэкосистемы сравним с активностью плодовых тел на верховых сфагновых болотах и в заболоченных участках леса.

Было установлено, что подберезовик болотный — *L. holopus* изменяет морфологические признаки при накоплении ^{137}Cs в плодовых телах [3]. Среди образцов этого вида, собранных в VI микроэкосистеме, плодовых тел с измененными морфологическими признаками обнаружено не было. Анализ полученных ранее данных [4] показывает, что морфологические изменения наблюдаются, когда концентрация ^{137}Cs в плодовых телах в 1,5–2 раза превышает допустимый уровень содержания ^{137}Cs в сухих грибах, составляющий 2500 Бк/кг. Таким образом, в настоящее время нижний предел концентрации, вызывающий изменение морфологических признаков плодовых тел — разрастание гимениального слоя и изменение геометрии трубочек, — лежит в указанном диапазоне.

Эктомикоризным грибам уделяется особое внимание при изучении круговорота ^{137}Cs в экосистемах. Во многих странах проводятся исследования накопления ^{137}Cs в различных природных ресурсах, являющихся пищевыми продуктами, например, в морской рыбе или в тканях северного оленя. В России к таким пищевым ресурсам относятся и дикорастущие съедобные грибы.

В некоторых странах, к примеру, в Англии, Германии и Норвегии использование подобных грибов в пищу не является традиционным, однако изучению накопления ^{137}Cs уделяется много внимания [7, 8]. На основе большого массива экспериментальных данных, обобщенных в работе [9], показано, что мицелий грибов играет первостепенную роль и в аккумуляции ^{137}Cs , и в его круговороте в экосистеме. Причем именно симбиотрофные макромицеты по сравнению с сапротрофными и паразитическими грибами обладают максимальной способностью к накоплению [10]. Особо важную

роль играет установление того факта, что от 15 до 25% ^{137}Cs в почве находится в аккумулярованном состоянии в мицелии грибов, образующих эктотрофную микоризу [11]. Таким образом, признано, что грибы, образующие эктотрофную микоризу в лесных экосистемах, играют существенную роль в круговороте ^{137}Cs .

В работе [7] отмечается, что при определении количества радионуклида, которое может попасть в организм человека, следует учитывать, что городское население употребляет дикорастущих съедобные грибы в пищу эпизодически, несколько раз за сезон, а сельское население в некоторых регионах — ежедневно в течение лета и осени.

Заключение

В пяти микроэкосистемах прируслового вала в пойме р. Кременка на аллювиально-дерновых почвах концентрация ^{137}Cs в сухих плодовых телах ниже допустимых значений. В микроэкосистеме на болотно-подзолистой почве концентрация ^{137}Cs в сухих плодовых телах *L. holopus* и *L. variicolor* находится на верхней границе допустимых значений и составляет 2677 ± 270 Бк/кг. В почве этой микроэкосистемы концентрация ^{137}Cs составила 334 ± 76 Бк/кг.

Литература

1. Иванов Д. М. Идентификация видов рода *Leccinum*, образующих плодовые тела в микроэкосистемах прируслового вала р. Кременка, методом рестрикционного анализа участков рДНК // Вестн. С.-Петербург. ун-та. Сер. 3: Биология. 2013. Вып. 4. С. 58–64.
2. Иванов Д. М. Биомониторинг ^{137}Cs в экосистеме верхового болота по плодовым телам *Leccinum holopus* — подберезовика болотного // Вестн. С.-Петербург. ун-та. Сер. 3: Биология. 2013. Вып. 2. С. 30–35.
3. Иванов Д. М. Идентификация подберезовиков с аномалиями морфологических признаков и превышением содержания ^{137}Cs в плодовых телах методом рестрикционного анализа участков рДНК // Вестн. С.-Петербург. ун-та. Сер. 3: Биология. 2013. Вып. 1. С. 90–95.
4. Иванов Д. М., Ефремова М. А. Оценка суммарной бета-активности в плодовых телах грибов рода *Leccinum*, произрастающих в лесных и болотных экосистемах Ленинградской области // Вестн. С.-Петербург. ун-та. Сер. 3: Биология. 2012. Вып. 2. С. 55–61.
5. Иванов Д. М., Ефремова М. А. Оценка радиоактивности плодовых тел грибов рода *Leccinum*, собранных в районе горного массива Хибины // Вестн. С.-Петербург. ун-та. Сер. 3: Биология. 2012. Вып. 3. С. 52–59.
6. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов // Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.1078-01. Утв. главным государственным санитарным врачом РФ 6 ноября 2001 г., с изменениями от 31 мая 2002 г., 20 августа 2002 г., 15 апреля 2003 г.
7. Radiocaesium activity concentrations in the fruit-bodies of macrofungi in Great Britain and an assessment of dietary intake habits / Barnett C.L., Beresford N.A., Self P.L., Howard B.J., Frankland J.C., Fulker M.J., Dodd B.A., Marriott J.V.R. // Science of The Total Environment. 1999. Vol. 231. P.67–83.
8. Amundsen I., Gulden G., Strand P. Accumulation and long term behaviour of radiocaesium in Norwegian fungi // Science of The Total Environment. 1996. Vol. 184. P.163–171.
9. Gillett A.G., Crout N.M.J. A review of ^{137}Cs transfer to fungi and consequences for modelling environmental transfer // J. Environmental Radioactivity. 2000. Vol. 48. P.95–121.
10. ^{137}Cs availability for soil to understory transfer in different types of forest ecosystems / Fesenko S.V., Soukhova N.V., Sanzharova N.I., Avila R., Spiridonov S.I., Klein D., Badot P.-M. // Science of The Total Environment. 2001. Vol. 269. P.87–103.
11. Vinichuk M.M., Johanson K.J. Accumulation of ^{137}Cs by fungal mycelium in forest ecosystems of Ukraine // J. Environmental Radioactivity. 2003. Vol. 64. P.27–43.

Статья поступила в редакцию 14 октября 2013 г.

Сведения об авторах

Иванов Дмитрий Михайлович — кандидат биологических наук, доцент
Ефремова Марина Анатольевна — кандидат биологических наук, доцент
Родичева Тамара Васильевна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Ivanov Dmitry M. — Ph.D., Associate Professor
Efremova Marina A. — Ph.D., Associate Professor
Rodicheva Tamara V. — Ph.D., Associate Professor