

УДК 630*443.3

DOI 10.34014/2227-1848-2022-2-148-157

МАКРОМИЦЕТЫ КАК БИОИНДИКАТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАДИОНУКЛИДАМИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Б.П. Чураков¹, У.П. Зырянова²

¹ ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск, Россия;

² ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», г. Ульяновск, Россия

Цель. Определение удельной активности радионуклидов в макромицетах лесных экосистем Ульяновской области, подверженных воздействию радиации в результате Чернобыльской аварии.

Материалы и методы. Материалом для исследований послужили плодовые тела макромицетов (почвенные и дереворазрушающие грибы) в зоне радиационного загрязнения территории. В них определялась удельная активность радионуклидов Cs-137, K-40, Ra-226, Th-232. Исследование проводилось в вегетационный период в лесах Инзенского и Карсунского районов Ульяновской области. Для сравнения были отобраны пробы грибов в Новоспасском районе, где превышения радиационного фона замечено не было (контрольный вариант). Пробные площадки отбирались со сходными лесорастительными условиями. Удельная активность радионуклидов в плодовых телах грибов определялась согласно МУК 2.6.1.1194-03.

Результаты. У почвенных грибов наибольшая средняя удельная активность Cs-137 выявлена в плодовых телах *Leccinum scabrum*, K-40 и Ra-226 – в плодовых телах *Suillus luteus*, Th-232 – в плодовых телах *Macrolepiota procera*.

У дереворазрушающих грибов наибольшая средняя удельная активность Cs-137, K-40 и Ra-226 отмечена в плодовых телах *Fomitopsis pinicola*, а наибольшая удельная радиоактивность Th-232 – в плодовых телах *Coriolus versicolor*. Средняя удельная активность всех радионуклидов в исследованных грибах в зоне радиационного загрязнения местности (Инзенский и Карсунский районы) в основном выше, чем в контрольном варианте (Новоспасский район). В исследованных пробах почвенных и дереворазрушающих грибов не обнаружено превышения предельных норм по содержанию радионуклидов.

Выводы. Представители лесной микобиоты могут быть использованы в качестве биоиндикаторов загрязнения радиоактивными поллютантами окружающей среды.

Ключевые слова: микобиота, радионуклиды, биоиндикаторы, лесные экосистемы, удельная активность, плодовые тела грибов.

Введение. В результате аварии на Чернобыльской АЭС в основную зону загрязнения радионуклидами была включена и Ульяновская область. В четырех административных районах Ульяновской области, включая Инзенский и Карсунский, общей площадью 1060 км², из которых 69,3 км² занимают территории, покрытые лесом, плотность загрязнения почвы Cs-137 составила в 2005 г. 1–5 Ки/км² [1, 2]. На основании Постановления Правительства Российской Федерации от 8 октября 2015 г. № 1074 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» с учетом изменения радиационной обстановки и проведения защитных и реабилитационных мероприятий в

1986–2014 гг. в Ульяновской области были определены территории, входящие в зону проживания с льготным социально-экономическим статусом:

– в Инзенском районе: Оськинское сельское поселение, с. Оськино, Труслейское сельское поселение, разъезд Дубенки, с. Юлово;

– в Карсунском районе: Карсунское городское поселение, дер. Пески.

К одним из главных продуктов побочного лесопользования относятся грибы. Известно, что представители данной группы биоты являются сильными аккумуляторами различных поллютантов, в т.ч. и радионуклидов [3–10]. Так, представители царства грибов поглощают от 10 до 70 % радиоизотопов, в то время как высшие растения – всего несколько про-

центров [6, 11, 12]. Это свойство грибов прежде всего связано с особенностями их строения и осмотрофным способом питания [13]. Интерес исследователей к данному компоненту лесных экосистем вызван тем, что грибы играют важную роль в трансформации радионуклидов в пищевой цепи из леса к человеку.

Одними из основных факторов, определяющих накопление радионуклидов грибами, являются их видовая принадлежность, что обусловлено глубиной залегания и приуроченностью мицелия отдельных видов к наиболее загрязненным слоям органоминеральной толщи почвы, а также способ питания: сапротрофы, ксилотрофы, симбионты.

Цель исследования. Изучение удельной активности радионуклидов в макромицетах лесных экосистем Ульяновской области, подверженных воздействию радиации в результате Чернобыльской аварии.

Материалы и методы. Исследования проводили в вегетационный период в лесах Инзенского и Карсунского районов Ульяновской области в 2019 г. Для сравнения отбирали пробы грибов в Новоспасском районе, где превышения радиационного фона замечено не было (контрольный участок). Пробные площадки выбирали со схожими лесорастительными условиями [1, 6, 14] с учетом состава насаждений: 5С3Дн2Б, т.е. с преобладанием соответственно *Pinus silvestris* L. и *Quercus robur* L. Лесотаксационная характеристика насаждений: возраст 80 лет, бонитет II, полнота 0,8, живой напочвенный покров представлен лишайниками, осокой и земляникой, почвы светло-серые лесные [1, 6, 14]. Удельную активность радионуклидов определяли в плодовых телах собранных грибов согласно МУК 2.6.1.1194-03. Результаты соотносили с нормами содержания Cs-137 в грибах согласно СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов».

Отбор участков производили по материалам лесоустройства лесничеств, справочной литературе и картографическому материалу [1]. Пробная площадка № 1 – Инзенское лесничество, 53-й квартал, 3-й выдел. Пробная площадка № 2 – Карсунское лесничество, 23-й квартал, 7-й выдел. Пробная площадка

№ 3 (контрольная) – Новоспасское лесничество, 43-й квартал, 5-й выдел. Материалом для работы служили макромицеты, произрастающие на почве и стволах деревьев. Сбор и изучение материала проводили в конце вегетационного периода, поскольку у многих представителей микобиоты в этот период отмечается наивысший пик плодоношения [6]. Определяли удельную активность радионуклида Cs-137 и естественных радионуклидов K-40, Ra-226, Th-232 в плодовых телах макромицетов.

В качестве объектов исследования были выбраны доминантные представители макромицетов из различных экологических групп: четыре почвенных шляпочных гриба, из которых три – симбионты (микоризообразователи): *Suillus luteus* (L.) Roussel, *Russula emetica* (Schaeff.) Pers., *Leccinum scabrum* (Bull.) Gray, один – почвенный (гумусовый) сапротроф *Macrolepiota procera* (Scop.) Singer; четыре гриба-ксилотрофа: *Phellinus pini* (Thore ex Fr.) Pilat. и *Fomitopsis pinicola* (Fr.) Karst. – на сосне, *Coriolus versicolor* (Fr.) Quel. – на дубе, *Fomes fomentarius* (Fr.) Fr. – на березе. Названия грибов приведены в соответствии с электронными информационными ресурсами MycoBank [15].

Базидиомы почвенных макромицетов аккуратно срезали ножом у основания ножки, не задевая при этом субстрата. В связи с известным неравномерным распределением микроэлементов между шляпкой и ножкой почвенных грибов [16–18] исследовали образцы целых плодовых тел. Одна объединенная сборная проба почвенных грибов представляла совокупность плодовых тел нескольких экземпляров одного вида грибов, собранных с одного маршрутного хода, весом 1,2 кг. При этом собирали зрелые грибы без признаков загнивания и не поврежденные насекомыми [8].

Одна объединенная проба ксилотрофов представляла собой совокупность плодовых тел одного вида грибов весом 1,2 кг, собранных с одной породы деревьев в пределах одного маршрутного хода [11]. Пробы грибов помещали в отдельные хлопчатобумажные пакеты. На пакетах отмечали место взятия пробы, таксационное описание участка, дату, вид гриба, породу дерева, на котором произрастал гриб (для ксилотрофов), массу пробы. Всего во

время проведения 16 маршрутных ходов собрали 96 объединенных проб грибов (48 почвенных грибов и 48 грибов-ксилотрофов).

Образцы грибов очищали от мусора и почвы, измельчали, высушивали в сушильном шкафу при температуре 60–65 °С (МУК 2.6.1.1194–03). Затем каждую объединенную пробу тщательно перемешивали и делили на 4 равные части для определения удельной активности Cs-137 и естественных радионуклидов. В основу измерения удельной активности радионуклидов положен относительный метод измерения скоростей счета ионизирую-

щих частиц от исследуемого препарата и от контрольного источника с известной активностью в одной и той же геометрии [16].

Результаты исследований обрабатывались статистическим методом с определением среднего арифметического \bar{X} и ошибки среднего S_x .

Результаты и обсуждение. Результаты определения удельной активности радионуклидов (Cs-137, K-40, Ra-226, Th-232) в плодовых телах почвенных шляпочных грибов лесных экосистем Ульяновской области представлены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Удельная активность радионуклидов в плодовых телах шляпочных грибов в лесничествах Ульяновской области

Specific activity of radionuclides in the fruiting bodies of pileate fungi in the Ulyanovsk region forestries

Наименование лесничества Forestry	Удельная активность, Бк/кг Specific Activity, Bq/kg			
	Cs-137	K-40	Th-232	Ra-226
<i>Suillus luteus</i>				
Инзенское лесничество Inza forestry	124,62±1,3	450,20±1,6	96,66±1,1	373,63±1,1
Карсунское лесничество Karsun forestry	98,12±1,1	290,0±1,3	207,85±1,4	978,66±1,7
Новоспасское лесничество Novospasskoe forestry	0,22±0,3	0,86±0,6	59,39±0,9	78,12±1,0
Среднее / Among-means	74,32	247,02	121,3	476,8
<i>Russula emetica</i>				
Инзенское лесничество Inza forestry	13,86±1,0	197,201±,6	117,46±1,1	197,39±1,5
Карсунское лесничество Karsun forestry	13,550±,9	121,94±1,2	328,43±1,6	188,32±0,9
Новоспасское лесничество Novospasskoe forestry	2,35±0,6	0,1±40,1	0,64±0,5	0,69±0,3
Среднее / Among-means	9,92	106,43	148,84	128,8

Наименование лесничества Forestry	Удельная активность, Бк/кг Specific Activity, Bq/kg			
	Cs-137	K-40	Th-232	Ra-226
<i>Leccinum scabrum</i>				
Инзенское лесничество Inza forestry	347,35±1,4	257,92±1,4	175,73±1,2	138,27±1,2
Карсунское лесничество Karsun forestry	266,81±1,1	435,10±1,8	118,22±1,3	218,15±1,5
Новоспасское лесничество Novospasskoe forestry	26,98±0,3	4,66±0,4	0,14±0,4	0,31±0,2
Среднее / Among-means	213,71	232,56	98,03	118,91
<i>Macrolepiota procera</i>				
Инзенское лесничество Inza forestry	119,61±1,4	496,47±1,8	404,2±1,9	38,95±0,7
Карсунское лесничество Karsun forestry	43,84±0,8	169,46±1,1	141,58±1,6	176,36±0,9
Новоспасское лесничество Novospasskoe forestry	6,81±0,3	0,31±0,1	0,19±0,4	24,50±0,3
Среднее / Average-means	56,75	222,08	181,99	79,94
Средняя удельная активность по лесничествам Average specific activity in forestries				
Инзенское лесничество Inza forestry	151,36	350,44	198,12	187,06
Карсунское лесничество Karsun forestry	105,58	335,88	199,02	390,37
Новоспасское лесничество Novospasskoe forestry	9,09	1,50	15,09	25,91

Как видно из табл. 1, наибольшая средняя удельная активность Cs-137 отмечена в плодовых телах *Leccinum scabrum* (213,71 Бк/кг), K-40 – в плодовых телах *Suillus luteus* (247,02 Бк/кг), Th-232 – в плодовых телах *Macrolepiota procera* (181,99 Бк/кг), Ra-226 – в плодовых телах *Suillus luteus* (476,8 Бк/кг).

Наибольшая удельная активность Cs-137 (347,35 Бк/кг) выявлена в плодовых телах *Leccinum scabrum* в Инзенском лесничестве, что, вероятно, связано с пространственной и временной миграцией радионуклидов в лесных экосистемах. Тогда как в плодовых телах *Russula emetica*, собранных в трех исследуемых районах, удельная активность радиоактивного изотопа данного элемента минимальна (2,35–

13,86 Бк/кг). Также следует отметить, что большая удельная активность Cs-137 отмечена в пробах грибов на пробной площадке в Инзенском лесничестве, где ее среднее значение составило 151,36 Бк/кг.

Согласно нормам СанПиН 2.3.2.1078–01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов», удельная активность Cs-137 в свежих грибах не должна превышать 500 Бк/кг, а в сухих – 2500 Бк/кг. Следовательно, в исследованных пробах грибов не обнаружено превышения норм по исследуемому радионуклиду.

Помимо накопления искусственного радионуклида Cs-137, в грибах также исследовалась удельная активность природных радио-

нуклидов К-40, Th-232, Ra-226, образующих естественный радиационный фон. Полученные данные указывают на значительный разброс удельной активности этих радионуклидов как по видам грибов, так и по их местопроизрастанию. Это можно объяснить неравномерным распределением естественного ионизирующего излучения, которое может различаться даже в пределах одного выдела [5].

Если же судить по средним показателям удельной активности указанных радионуклидов, то здесь вырисовывается следующая картина. Наибольшая средняя удельная активность Cs-137 и К-40 отмечена в Инзенском лесничестве, Th-232 и Ra-226 – в Карсунском лесничестве. В контрольном варианте (Новоспасское лесничество) наблюдался самый низкий показатель удельной активности по всем радионуклидам.

Что касается видов грибов, то в плодовых телах *Leccinum scabrum* выявлена наибольшая средняя удельная активность Cs-137, в плодовых телах *Suillus luteus* – К-40 и Ra-226, в плодовых телах *Macrolepiota procera* – Th-232. Наименьшая суммарная удельная активность радионуклидов обнаружена в *Russula emetica* (сыроежки).

Все исследованные шляпочные грибы по удельной активности содержащегося в них радионуклида Cs-137 можно расположить в следующий ряд (по мере снижения удельной активности): *Leccinum scabrum* > *Suillus luteus* > *Macrolepiota procera* > *Russula emetica*.

В табл. 2 представлены результаты полевых исследований удельной активности радионуклидов в плодовых телах дереворазрушающих грибов (ксилотрофов).

Таблица 2
Table 2

Specific activity of radionuclides in the fruiting bodies of xylotrophic fungi in the Ulyanovsk region forestries

Наименование лесничества Forestry	Удельная активность, Бк/кг Specific Activity, Bq/kg			
	Cs-137	K-40	Th-232	Ra-226
<i>Phellinus pini</i>				
Инзенское лесничество Inza forestry	10,06±0,7	53,6±21,5	3,52±1,2	1,32±0,1
Карсунское лесничество Karsun forestry	12,45±0,9	30,34±1,1	2,62±0,8	8,18±0,8
Новоспасское лесничество Novospasskoe forestry	1,37±0,3	1,93±0,7	10,8±40,8	7,09±0,6
Среднее / Among-means	7,96	28,63	15,66	5,53
<i>Fomitopsis pinicola</i>				
Инзенское лесничество Inza forestry	33,27±1,8	62,77±1,2	8,54±0,8	3,55±1,8
Карсунское лесничество Karsun forestry	20,74±1,2	96,82±1,9	0,11±0,1	8,65±1,1
Новоспасское лесничество Novospasskoe forestry	1,39±1,5	1,58±0,1	2,70±0,1	3,26±1,5
Среднее / Among-means	221,8	344,72	3,78	344,15

Наименование лесничества Forestry	Удельная активность, Бк/кг Specific Activity, Bq/kg			
	Cs-137	K-40	Th-232	Ra-226
<i>Coriolus versicolor</i>				
Инзенское лесничество Inza forestry	58,64±1,4	82,16±1,3	2,78±1,4	5,36±1,6
Карсунское лесничество Karsun forestry	14,30±0,8	38,25±0,8	1,35±1,3	9,81±0,9
Новоспасское лесничество Novospasskoe forestry	0,23±0,1	99,38±1,1	0,7±0,1	9,58±1,2
Среднее / Among-means	24,39	73,26	79,61	205,25
<i>Fomes fomentarius</i>				
Инзенское лесничество Inza forestry	21,61±1,1	12,34±0,8	8,88±0,7	5,26±0,9
Карсунское лесничество Karsun forestry	10,78±0,8	4,52±0,5	8,07±0,6	9,55±0,8
Новоспасское лесничество Novospasskoe forestry	2,28±0,4	11,46±0,8	1,06±0,1	4,26±0,7
Среднее / Among-means	11,56	9,44	6,00	6,36
Средняя удельная активность по лесничествам Average specific activity in forestries				
Инзенское лесничество Inza forestry	106,14	52,72	33,43	284,12
Карсунское лесничество Karsun forestry	59,82	260,73	41,54	29,05
Новоспасское лесничество Novospasskoe forestry	33,32	28,59	3,82	107,8

Анализ данных табл. 2 показывает, что в плодовых телах *Fomitopsis pinicola* наблюдается наибольшая средняя удельная активность Cs-137 (221,8 Бк/кг), K-40 (344,72 Бк/кг) и Ra-226 (344,15 Бк/кг), а в плодовых телах *Coriolus versicolor* – наибольшая удельная радиоактивность Th-232 (79,61 Бк/кг).

Наибольшая суммарная средняя удельная активность радионуклидов выявлена в плодовых телах *Fomitopsis pinicola* на сосне, наименьшая – в плодовых телах *Fomes fomentarius* на березе. Однако этот факт не является доказательством того, что грибы-ксилотрофы сильнее аккумулируют радионуклиды на хвойных породах, чем на лиственных. Напри-

мер, *Phellinus pini* на сосне имеет меньшую удельную радиоактивность, чем *Coriolus versicolor* на дубе.

По суммарной средней удельной активности исследованных радионуклидов дереворазрушающие грибы (ксилотрофы) располагаются в следующий ряд (по мере снижения удельной активности): *Fomitopsis pinicola* > *Coriolus versicolor* > *Phellinus pini* > *Fomes fomentarius*.

В целом нужно отметить, что суммарная средняя удельная радиоактивность шляпочных грибов в исследованных зонах радиационного загрязнения территории (Инзенский и Карсунский районы) выше, чем у деревораз-

рушающих грибов. По нашему мнению, это связано с тем, что мицелий почвенных грибов охватывает большой объем почвы и, соответственно, больше впитывает из нее поллютантов по сравнению с мицелием ксилотрофных грибов, осваивающих локальный участок древесины древесных пород.

Средняя удельная активность всех радионуклидов (Cs-137, K-40, Ra-226, Th-232) в исследованных грибах в зоне радиоактивного загрязнения местности (Инзенский и Карсунский районы) выше, чем в контрольном варианте (Новоспасский район). Исключение составляет радионуклид Ra-226 в грибах-ксилотрофах, который имеет более высокую удельную активность в контрольном варианте (107,8 Бк/кг) по сравнению с таковой в зоне радиационного загрязнения в Карсунском лесничестве (29,05 Бк/кг).

Выводы:

1. У почвенных грибов наибольшая средняя удельная активность Cs-137 выявлена в плодовых телах *Leccinum scabrum*, K-40 – в плодовых телах *Suillus luteus*, Th-232 – в плодовых телах *Macrolepiota procera*, Ra-226 – в плодовых телах *Suillus luteus*.

2. Среди дереворазрушающих грибов наибольшая средняя удельная радиоактивность Cs-137, K-40 и Ra-226 отмечена у *Fomitopsis pinicola*, а наибольшая удельная радиоактивность Th-232 – в плодовых телах *Coriolus versicolor*.

3. Суммарная средняя удельная радиоактивность шляпочных грибов в исследованных зонах радиационного загрязнения (Инзенский и Карсунский районы) в целом выше, чем дереворазрушающих грибов.

4. Средняя удельная активность всех радионуклидов в исследованных грибах в зоне радиоактивного загрязнения (Инзенский и Карсунский районы) в основном выше, чем в контрольном варианте (Новоспасский район).

5. В исследованных пробах почвенных и дереворазрушающих грибов не обнаружено превышения предельных норм по содержанию радионуклидов.

6. Представители лесной микобиоты могут быть использованы в качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды радиоактивными поллютантами.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Ульяновской области в 2019 году». Ульяновск; 2020. URL: <https://cloud.mail.ru/public/2fDb/79qPrPhPc> (дата обращения: 18.05.2021).
2. Малюта О.В., Конаков Д.Е., Гончаров Е.А. Радиоэкологические исследования лесных экосистем Среднего Поволжья. Лесной журнал. 2010; 4: 132–138. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/radio-ekologicheskie-issledovaniya-lesnyh-ekosistem-srednego-povolzhya> (дата обращения: 05.05.2021).
3. Алексахин Р.М., Нарышкин М.А. Миграция радионуклидов в лесных биогеоценозах. М.; 1977. 144.
4. Елиашевич Н.В. Миграция радионуклидов чернобыльского выброса в системе «почва-растение». Суздаль; 1989. 115.
5. Ефремов А.Л. Индикация радионуклидного загрязнения хвойных лесов по активности почвенной микробиоты. Почвоведение. 1997; 6: 743–749.
6. Зырянова У.П., Чураков Б.П., Пантелеев С.В. Макромицеты как аккумуляторы радионуклидов в лесных экосистемах Ульяновской области. Проблемы озеленения городов и развития лесного комплекса: сборник научных трудов научно-технической конференции, посвященной 160-летию Ф.А. Теплоухова. Пермь: ПГСХА; 2005: 266–274.
7. Калинин С.А., Головешкин В.В., Баленок А.А. Закономерности накопления радионуклидов шляпочными грибами на территории ближней зоны аварии на Чернобыльской АЭС. Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве: сборник докладов Международной научно-практической конференции (16–18 сентября 2020). Обнинск; 2020: 149–152.
8. Куликов Н.В., Нифонова М.Г. О содержании ^{90}Sr и ^{137}Cs в съедобных грибах, произрастающих в окрестностях Белоярской АЭС. Экология АЭС: сборник материалов научного семинара. М.; 1991: 55–59.

9. Тихомиров Ф.А., Щеглов А.Н., Цветнова О.Б. Грибы как биоиндикатор доступности Cs-137 в почвах зоны радиоактивного загрязнения. Тезисы докладов III Всесоюзной конференции сельскохозяйственной радиологии. Т. 1. Обнинск; 1990: 45–46.
10. Цветнова О.Б., Шатрова Н.М., Щеглов А.И. Накопление радионуклидов и тяжелых металлов грибным комплексом лесных экосистем. Научные труды института ядерных исследований. 2001; 3 (5): 171–176.
11. Арефьев С.П. Специализация дереворазрушающих грибов в связи с жизненным состоянием субстрата. Проблемы лесной фитопатологии и микологии: материалы 5-й Международной конференции. М.; 2002: 16–19.
12. Барсуков О.А., Барсуков К.А. Радиационная экология. М.; 2003. 253.
13. Виленчик М.М. Радиобиологические эффекты и окружающая среда. М.; 1991. 381.
14. Чураков Б.П., Митрофанова Н.А. Анализ видового состава и структуры микобиоты лесов Ульяновской области. Проблемы экологии и охраны природы. Пути их решения. Ульяновск; 2004.
15. Robert V., Stegehuis G., Stalpers J. The MycoBank engine and related databases. 2005. URL: <https://www.mycobank.org/> (дата обращения: 15.06.2021).
16. Haselwandter K. Accumulation of the radioactive nuclide ¹³⁷Cs in fruitbodies of basidiomycetes. Health Phys. 1978; 34 (6): 713–715.
17. Bohac J., Krwolutskii D.A., Antonova T.B. The role of fungi in the biogenous migration of elements and in the accumulation of radionuclides. Agric. Ecosyst. 1989; 28: 31–34.
18. Teherani D.K. Determination of ¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs radioisotopes in various mushrooms from Austria one year after Chernobyl incident. J. Radioanal. and Nucl. Chem. Lett. 1988; 126; 6: 401–406.

Поступила в редакцию 25.03.2022; принята 22.04.2022.

Авторский коллектив

Чураков Борис Петрович – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой лесного хозяйства, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: churakovbp@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3278-7744>.

Зырянова Ульяна Петровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экономики и государственного управления, Ульяновский филиал ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ». 432011, Россия, г. Ульяновск, ул. Корюкина, 20; e-mail: ulyana1503@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0820-2961>.

Образец цитирования

Чураков Б.П., Зырянова У.П. Макромицеты как биоиндикаторы загрязнения радионуклидами лесных экосистем. Ульяновский медико-биологический журнал. 2022; 2: 148–157. DOI: 10.34014/2227-1848-2022-2-148-157.

MACROMYCETES AS BIOINDICATORS OF RADIONUCLIDE CONTAMINATION IN FOREST ECOSYSTEMS

B.P. Churakov¹, U.P. Zyrianova²

¹Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia;

²Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Ulyanovsk, Russia

The aim of the paper is to determine the specific activity of radionuclides in macromycetes in Ulyanovsk region forest ecosystems exposed to radiation after the Chernobyl accident.

Materials and Methods. The fruiting bodies of macromycetes (soil and wood-destroying fungi) gathered in the radioactive contaminated territories served as the material for the research. The authors determined the specific activity of Cs-137, K-40, Ra-226, Th-232 radionuclides. The study was conducted during the growing season in the Ulyanovsk region forests (Inza and Karsun districts). For comparison, fungi samples (control) were also gathered in the Novospassky region, where the excess background radiation was not observed. Trial sites with similar forest growth conditions were selected. The specific activity of radionuclides in the fungi fruiting bodies was determined according to Guidelines 2.6.1.1194–03.

Results. In soil fungi, the highest average Cs-137 specific activity was found in the fruiting bodies of *Lecaninum scabrum*, K-40 and Ra-226 specific activity – in the fruiting bodies of *Suillus luteus*, and Th-232 specific activity – in the fruiting bodies of *Macrolepiota procera*.

In wood-destroying fungi, the highest average Cs-137, K-40 and Ra-226 specific activity was observed in the fruiting bodies of *Fomitopsis pinicola*, and the highest Th-232 specific radioactivity – in the fruiting bodies of *Coriolus versicolor*. The average specific activity of all radionuclides in the mushrooms from the radioactive contamination territories (Inza and Karsun districts) was mainly higher than in the control (Novospassky district). In the studied samples of soil and wood-destroying fungi, excess radioactive concentrations were not found.

Conclusion. Forest mycobiota can be used as a bioindicator of radioactive environmental pollution.

Key words: mycobiota, radionuclides, bioindicators, forest ecosystems, specific activity, fruiting bodies of fungi.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

References

1. Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii okruzhayushchey sredy Ul'yanovskoy oblasti v 2019 godu» [State report “Environmental conditions in the Ulyanovsk region in 2019”. Ulyanovsk; 2020.]. Ulyanovsk; 2020. Available at: <https://cloud.mail.ru/public/2fDb/79qPrPhPc> (accessed: May 18, 2021) (in Russian).
2. Mal'yuta O.V., Konakov D.E., Goncharov E.A. Radioekologicheskie issledovaniya lesnykh ekosistem Srednego Povolzh'ya [Radioecological studies of forest ecosystems in the Middle Volga region]. *Lesnoy zhurnal*. 2010; 4: 132–138. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/radioekologicheskie-issledovaniya-lesnyh-ekosistem-srednego-povolzhya> (accessed: May 05, 2021) (in Russian).
3. Aleksakhin R.M., Naryshkin M.A. *Migratsiya radionuklidov v lesnykh biogeotsenozakh* [Radionuclide migration in forest biogeocenoses]. Moscow; 1977. 144 (in Russian).
4. Eliashevich N.V. *Migratsiya radionuklidov chernobyl'skogo vybrosa v sisteme «pochva-rastenie»* [Radionuclide migration from the Chernobyl release in the “soil-plant” system]. Suzdal'; 1989. 115 (in Russian).
5. Efremov A.L. Indikatsiya radionuklidnogo zagryazneniya khvoynykh lesov po aktivnosti pochvennoy mikrobioty [Parameters of radionuclide contamination of coniferous forests according to soil microbiota activity]. *Pochvovedenie*. 1997; 6: 743–749 (in Russian).
6. Zyryanova U.P., Churakov B.P., Pantelev S.V. Makromitsety kak akkumulyatory radionuklidov v lesnykh ekosistemakh Ul'yanovskoy oblasti [Macromycetes as radionuclide accumulators in the Ulyanovsk region forest ecosystems]. *Problemy ozeleneniya gorodov i razvitiya lesnogo kompleksa: sbornik nauchnykh trudov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 160-letiyu F.A. Teploukhova* [Problems of urban greening and forest complex development: Proceedings of the scientific and technical conference dedicated to the 160th anniversary of F.A. Teploukhov]. Perm': PGSKhA; 2005: 266–274 (in Russian).
7. Kalinichenko S.A., Goloveshkin V.V., Balenok A.A. Zakonomernosti nakopleniya radionuklidov shlyapochnymi gribami na territorii blizhney zony avarii na Chernobyl'skoy AES [Patterns of radionuclide accumulation by cap mushrooms in the Chernobyl accident near-field region]. *Yaderno-fizicheskie issledovaniya i tekhnologii v sel'skom khozyaystve: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (16–18 sentyabrya 2020) [Nuclear physics research and technologies in agriculture: Proceedings of the International Science-to-Practice Conference (September 16–18, 2020)]. Obninsk; 2020: 149–152 (in Russian).
8. Kulikov N.V., Nifonova M.G. O sodержanii ⁹⁰Sr i ¹³⁷Cs v s^{edobnykh} gribakh, proizrastayushchikh v okrestnostyakh Beloyarskoy AES [Content of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs in edible mushrooms growing near the Beloyarsk NPP]. *Ekologiya AES: sbornik materialov nauchnogo seminar* [On the content of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs in edible mushrooms growing in the vicinity of the Beloyarsk NPP. Ecology of nuclear power plant: Proceedings of a scientific seminar]. Moscow; 1991: 55–59 (in Russian).
9. Tikhomirov F.A., Shcheglov A.N., Tsvetnova O.B. Griby kak bioindikator dostupnosti Cs-137 v pochvakh zony radioaktivnogo zagryazneniya [Mushrooms as a bioindicator of Cs-137 in the soils of the radioactive contamination territories]. *Tezisy dokladov III Vsesoyuznoy konferentsii sel'skokhozyaystvennoy radiologii* [Abstracts of the 3rd All-Union Conference on Agricultural Radiology]. T. 1. Obninsk; 1990: 45–46 (in Russian).
10. Tsvetnova O.B., Shatrova N.M., Shcheglov A.I. Nakoplenie radionuklidov i tyazhelykh metallov gribnym kompleksom lesnykh ekosistem [Accumulation of radionuclides and heavy metals by the fungal

- complex of forest ecosystems]. *Nauchnye trudy instituta yadernykh issledovaniy*. 2001; 3 (5): 171–176 (in Russian).
11. Aref'ev S.P. Spetsializatsiya derevorazrushayushchikh gribov v svyazi s zhiznennym sostoyaniem substrata [Specialization of wood-destroying fungi in connection with the substrate vital state]. *Problemy lesnoy fitopatologii i mikologii: materialy 5-y Mezhdunarodnoy konferentsii* [Problems of Forest Phytopathology and Mycology: Proceedings of the 5th International Conference]. Moscow.; 2002: 16–19 (in Russian).
 12. Barsukov O.A., Barsukov K.A. *Radiatsionnaya ekologiya* [Radiation ecology.]. Moscow; 2003. 253 (in Russian).
 13. Vilenchik M.M. *Radiobiologicheskie efekty i okruzhayushchaya sreda* [Radiobiological effects and the environment]. Moscow; 1991. 381 (in Russian).
 14. Churakov B.P., Mitrofanova N.A. *Analiz vidovogo sostava i struktury mikrobioty lesov Ul'yanovskoy oblasti. Problemy ekologii i okhrany prirody. Puti ikh resheniya* [Analysis of the species composition and structure of the forest mycobiota in the Ulyanovsk region. Ecological and environmental problems. Solutions]. Ulyanovsk; 2004 (in Russian).
 15. Robert V., Stegehuis G., Stalpers J. *The MycoBank engine and related databases*. 2005. Available at: <https://www.mycobank.org/> (accessed: June 15, 2021).
 16. Haselwandter K. Accumulation of the radioactive nuclide ¹³⁷Cs in fruitbodies of basidiomycetes. *Health Phys.* 1978; 34 (6): 713–715.
 17. Bohac J., Krwolutskii D.A., Antonova T.B. The role of fungi in the biogenous migration of elements and in the accumulation of radionuclides. *Agric. Ecosyst.* 1989; 28: 31–34.
 18. Teherani D.K. Determination of ¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs radioisotopes in various mushrooms from Austria one year after Chernobyl incident. *J. Radioanal. and Nucl. Chem. Lett.* 1988; 126; 6: 401–406.

Received 25 March 2022; accepted 22 April 2022.

Information about the authors

Churakov Boris Petrovich, Doctor of Sciences (Biology), Professor, Head of the Chair of Forestry, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42; e-mail: churakovbp@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3278-7744>.

Zyryanova Ulyana Petrovna, Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Chair of Economics and Public Administration, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Ulyanovsk branch. 432011, Russia, Ulyanovsk, Koryukin St., 20; e-mail: ulyana1503@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0820-2961>.

For citation

Churakov B.P., Zyryanova U.P. Makromitsety kak bioindikatory zagryazneniya radionuklidami lesnykh ekosistem [Macromycetes as bioindicators of radionuclide contamination in forest ecosystems]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal*. 2022; 2: 148–157. DOI: 10.34014/2227-1848-2022-2-148-157 (in Russian).