

УДК 574.41.5:539.163

НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ГРИБАМИ НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ПЛЕЩЕЕВО ОЗЕРО»

А. Н. Пельгунов, Л. А. Пельгунова

*Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
Россия, 119071, Москва, Ленинский просп., 33
E-mail: apelgunov@list.ru*

Поступила в редакцию 07.03.14 г.

Накопление радионуклидов грибами на территории Национального парка «Плещеево озеро». – Пельгунов А. Н., Пельгунова Л. А. – Приводятся данные о накоплении радионуклидов (естественного и техногенного происхождения) в пяти видах грибов. По данным, полученным в результате работы, можно считать район экологически чистым, а найденные техногенные радионуклиды относятся в основном к глобальным выпадениям в результате испытания ядерного оружия и следам Чернобыльской катастрофы.

Ключевые слова: радионуклиды, грибы, Национальный парк «Плещеево озеро».

Radionuclide accumulation in mushrooms over the territory of the «Pleshcheyevo Lake» National Park. – Pelgunov A. N. and Pelgunova L. A. – The paper presents data on the accumulation of radionuclides (of both natural and anthropogenic origin) in five mushroom species. According to our data, the area can be considered environmentally pure, and the man-made radionuclides found mainly belong to the global nuclear fall-out from nuclear weapons tests and the Chernobyl accident traces.

Key words: radionuclides, mushrooms, «Pleshcheyevo lake» National Park.

ВВЕДЕНИЕ

Национальный парк «Плещеево озеро» расположен в 130 км от Москвы в Переславском районе Ярославской области, практически в центре «Золотого кольца». Данный водоём и окружающие его леса является историко-культурным достоянием России. Несмотря на то, что Национальный парк находится в густонаселенном месте, проведенные нами работы по изучению химического состава воды в озере и содержанию тяжелых металлов в рыбах (Пельгунов, 2003) показали, что данное озеро незначительно загрязнено в результате антропогенного воздействия и может служить точкой отсчета в экологических исследованиях водных экосистем.

Настоящая работа посвящена изучению радиоактивного загрязнения наземных экосистем Национального парка «Плещеево озеро».

В последние годы в мировой практике при проведении экологических исследований все большее значение уделяется радиационному фону как одному из основных экологических факторов природной среды. Первоначально детальному обследованию радиационного фона подвергались площадки ядерных объектов в связи с возможными выбросами техногенных радионуклидов при ядерных испытаниях или авариях. Однако для основной массы населения более значительный вклад во внешнее и внутреннее облучение вносят не только искусственные, но и естественные радионуклиды, которые окружают человека в течение всей его жизни.

Грибы являются одним из основных продуктов побочного лесопользования, а также важным объектом радиоэкологии и биоиндикатором химического загрязнения местности (в том числе металлами). Так, например, по накопительной способности цезия (^{137}Cs) грибы значительно превосходят все другие компоненты биотозона. В среднем удельная активность грибов более чем в 20 раз превосходит таковую максимально загрязненного слоя лесной подстилки и почвы и на три математических порядка – древесины (Щеглов и др., 1996).

Учитывая, что грибы в значительных количествах накапливают и другие химические элементы, необходимо изучать накопление ими радионуклидов (естественных и искусственных) и концентрацию тяжелых металлов для экологической характеристики района (Горелышев, Калининко, 2003; Мамахин, 2012; Чураков и др., 2002).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

По данным Атласа загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии (Корт и др., 1998) данная территория загрязнена ^{137}Cs в результате глобальных выпадений (испытание ядерного оружия в 50 – 60-е гг. XX в.) и чернобыльских выпадений в пределах $0.054 - 0.1 \text{ Ки/км}^2$ ($2 - 4 \text{ кБк/м}^2$).

Объект исследования – грибы (Царство грибы: Fungi; Basidiomycetes). На радиометрический анализ были взяты следующие виды грибов:

- 1) Белый гриб (*Boletus edulis*) – относится к симбиотрофам;
- 2) Подосиновик красноголовый (*Leccinum aurantiacum*) – относится к симбиотрофам;
- 3) Подберёзовик обыкновенный (*Leccinum scabrum*) – относится к симбиотрофам;
- 4) Свинуха тонкая (*Paxillus involutus*) – относится к сапрофитам (на подстилке).

Все пробы грибов собирались на территории Национального парка «Плещеево озеро» в августе 2003 г., не ближе 3 – 4 км от шоссе, в радиусе 3 – 5 км к западу от Плещеева озера. Лес смешанный, преобладает сосна, ель, местами осины, берёзы, в болотинах ивняк. Почва в основном дерново-подзолистая, встречаются болотные почвы. Бралась обобщенная проба от 1.4 до 1.9 кг каждого вида. Пробы высушивали в сушильном шкафу при температуре $90 - 100^\circ\text{C}$ до воздушно-сухой массы и измельчались.

Образцы анализировались на низкофоновом цифровом гамма-спектрометре DSPec-jt-2.0 с детектором из сверхчистого германия (фирма AMETEK торговая марка ORTEC, США) по утвержденной методике для данного прибора. Продолжительность набора спектра была индивидуальна для каждой пробы, выбирались автоматически программой расчета и идентификации спектров исходя из задаваемой погрешности, в среднем составляла не менее 48 часов.

Установка включает в себя полностью цифровой спектрометрический комплекс с поддержкой функции SMART-1, коаксиальный гамма-детектор с относительной эффективностью регистрации фотопика на линии 1.33 МэВ 50% и диапа-

НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ГРИБАМИ

зоном регистрируемых энергий гамма-излучения от 40 кэВ до 6 МэВ. Программа обработки сложных гамма-спектров – Gamma Vision A66-B32.

Для защиты от внешнего фона установки и препараты помещены внутри толстой комбинированной защиты, состоящей из 10 мм стали, 150 мм свинца, 240 мм полиэтилена с бором (общий вес защиты 1500 кг).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1 представлены данные об удельной активности искусственных радионуклидов (ИРН) цезия (^{137}Cs) и стронция (^{90}Sr) в образцах. В приведенных данных видно, что в грибах содержание этих элементов намного ниже предельно допустимых удельных активностей (ПДУА) для данных изотопов в грибах по Санитарным нормам и правилам (СанПиН, 2002). Так, по ^{137}Cs ПДК меньше от 80 до 454 раз, по ^{90}Sr – от 8 до 25 раз в зависимости от вида грибов.

Таблица 1

Содержание искусственных радионуклидов в шляпочных грибах, Бк/кг сырой массы

Образец (вид гриба)	^{137}Cs ($\pm 5.6\%$)	^{90}Sr ($\pm 10\%$)
Белый гриб	6.3	3.0
Подберёзовик обыкновенный	1.1	6.0
Подосиновик красноголовый	1.8	2.0
Свинушка тонкая	3.0	3.0

Примечание. Для грибов нормы СанПиН: ^{137}Cs – 500 Бк/кг сырой массы; ^{90}Sr – 50 Бк/кг сырой массы.

Наибольшее количество ^{137}Cs содержит белый гриб, вдвое меньше у свинушки тонкой. Необходимо отметить, что грибы имеют очень высокую накопительную способность в отношении ^{137}Cs , но не в отношении ^{90}Sr и $^{238-240}\text{Pu}$. Коэффициент перехода изотопов плутония в плодовое тело примерно в 100 раз, а ^{90}Sr – в 1000 раз меньше, чем для ^{137}Cs (Щеглов, Цветнова, 2002).

В табл. 2 приведены данные о содержании естественных радионуклидов (ЕРН). Всего в грибах зарегистрировано 5 видов ЕРН. Наибольшее накопление радионуклидов зарегистрировано у свинушки тонкой, наименьшее – у белого гриба, т.е. имеются различия в накоплении у видов, относящихся к разным экологическим группам, – сапрофитам и симбиотрофам. Также из таблицы видно, что свинушка тонкая накапливает каждого изотопа больше (и в сумме), чем другие виды грибов.

Таблица 2

Содержание естественных радионуклидов в шляпочных грибах, Бк/кг сырой массы

Образец (вид гриба)	^{222}Rn ($\pm 15\%$)	^{226}Ra ($\pm 10\%$)	^{232}Th ($\pm 12\%$)	^{238}U ($\pm 10\%$)	^{40}K ($\pm 8\%$)
Белый гриб	1.6	2.9	1.3	0.74	85
Подберёзовик обыкновенный	2.5	5.5	2.1	1.4	73
Подосиновик красноголовый	2.1	3.7	1.9	1.2	95
Свинушка тонкая	3.6	7.8	3.3	1.9	100

Для каждого вида радионуклида вычислен предел годового поступления (ПГП) с воздухом, пищей, водой (Нормы радиационной безопасности, 1999).

Так, для ^{226}Ra ПГП в год равен $6.7 \cdot 10^2$ Бк, что превышает более чем в 100 раз содержание ^{226}Ra в 1 кг грибов. Для других естественных радионуклидов имеем приблизительно такое же соотношение.

Таблица 3

Суммарная удельная активность искусственных и естественных радионуклидов исследованных видов грибов, Бк/кг сырой массы

Образец (вид гриба)	Удельная активность	
	ИРН	ЕРН
Белый гриб	9.3	91.53
Подберёзовик обыкновенный	7.1	84.5
Подосиновик красноголовый	3.8	103.9
Свинушка тонкая	6.0	116.6

При сравнении суммарной удельной активности естественных и искусственных радионуклидов у разных видов грибов видно, что удельная активность ЕРН превосходит удельную активность ИРН у всех обследованных образцов (табл. 3).

Следовательно, основную дозу облучения от инкорпорированных радионуклидов при использовании в пищу грибов человек или животные будут получать от естественных радионуклидов.

ОБСУЖДЕНИЕ

В европейской части России выявлено около 200 видов и разновидностей шляпочных грибов. Учитывая, что разные виды грибов различно накапливают радионуклиды и другие химические элементы, мы взяли для наших исследований наиболее распространенные в данной местности грибы, относящиеся к разным экологическим группам, но имеющие, как правило, наибольшую концентрацию по исследуемым химическим элементам. Минимальной концентрацией радиоцезия (^{137}Cs) характеризуются представители экологических групп сапротрофов и ксилотрофов (Guillitte et al., 1987; Nimis et al., 1986; Lambinon et al., 1988). Больше всего накапливают ^{137}Cs симбиотрофы. Но среди них очень велико межвидовое варьирование, что объясняется значительными различиями в глубине залегания мицелия. Глубина залегания мицелия варьирует от поверхностного слоя лесной подстилки до 50 – 60 см минерального слоя (Guillitte et al., 1990; Yoshida, Muramatsu, 1994).

В зоне аварии Чернобыльской АЭС максимум содержания ^{137}Cs в почве в конце 1980-х – начале 1990-х гг. практически повсеместно был приурочен к нижнему гумифицированному слою лесной подстилки (Щеглов и др., 1992). В целом по накопительной способности выделяется свинушка тонкая, гриб польский (*Xerocomus badius*) и горькушка (*Lactarius rubus*). Эти виды были предложены для использования в качестве биоиндикаторов радиоактивного загрязнения лесов в результате аварии на ЧАЭС (Тихомиров и др., 1990; Klan et al., 1988; Sansone et al., 1988; Molzahn et al., 1989). Белый гриб, мицелий которого расположен в более глубоких слоях почвы, на примере глобальных выпадений был охарактеризован как вид-концентратор (Щеглов, 2000; Guillitte et al., 1990).

В результате проведения испытаний ядерного оружия в атмосферу Земли поступило значительное количество радиоактивных продуктов деления. ^{90}Sr и ^{137}Cs – два наиболее важных долгоживущих продукта деления в составе глобальных вы-

НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ГРИБАМИ

падений. По подсчетам ученых разных стран, общее количество ^{90}Sr , образовавшегося за счет ядерных испытаний и поступившего в атмосферу, составило 20 млн Кюри, количество ^{137}Cs за этот же период приблизительно равно 30 млн Кюри. Основное количество этих радионуклидов осело на поверхности Земли в Северном полушарии (Старков, Мигунов, 2003).

По полученным данным можно сделать вывод, что Чернобыльская авария 1986 г. практически не затронула данный район. Найденные искусственные радионуклиды являются в основном глобальными выпадениями и связано это с наземными и воздушными ядерными испытаниями 50 – 60-х гг. прошлого столетия. Это видно из того, что наибольшее накопление ^{137}Cs наблюдается у белых грибов. Если бы преобладали Чернобыльские выпадения, то наибольшая концентрация наблюдалась бы у свинушки тонкой, затем у подберёзовика.

Это подтверждают наши данные (не опубликованные), полученные в Брянской области Злынковском районе около д. Савичка (загрязнение почвы ^{137}Cs составило на 1991 г. 973 кБк или 26.3 Ки/км² (Справочник..., 1993). Грибы были собраны в 2003 г., обрабатывались и исследовались так же, как собранные в Национальном парке «Плещеево озеро».

Наибольшее накопление ^{137}Cs было у свинушки тонкой – 28 кБк/кг, за ней следует подберёзовик – 12.1 кБк/кг и белый гриб – 2.1 кБк/кг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Территорию Национального парка «Плещеево озеро» можно считать экологически чистой по исследованным параметрам и брать эти показатели как отправную точку в радиоэкологических исследованиях.

2. Грибы на обследованной территории Национального парка «Плещеево озеро» можно считать экологически чистым продуктом по исследованным параметрам. Содержание естественных и искусственных радионуклидов в грибах, собранных на территории Национального парка «Плещеево озеро», значительно ниже предельно допустимых удельных активностей для найденных изотопов по нормам СанПиН 2.3.2. 1078 – 01 и НРБ-99.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Корт М.Де, Дюбуа Г., Фридман Ш. Д., Герменчук М. Г., Израэль Ю. А., Янссенс А., Джонес А. Р., Келли Г. Н., Квасникова Е. В., Матвеев И. И., Назаров И. М., Покумейко Ю. М., Ситак В. А., Стукин Е. Д., Табачный Л. Я., Цатуров Ю. С., Авдюшин С. И. Атлас загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии. Люксембург, 1998. 72 с.

Горельщиков Д. В., Калинин А. Н. Возможность использования грибов в качестве биоиндикаторов тяжёлых металлов // Естественные науки и экология. 2003. Вып. 7. С. 197 – 199.

Мамихин С. В. Роль макромицетов как накопителей ^{137}Cs в лесных экосистемах // Радиационная биология. Радиоэкология. 2012. Т. 52, № 5. С. 546 – 552.

Нормы радиационной безопасности (НРБ-99) СП 2.6.1. 758 – 99: Гигиенические нормы. М. : Минздрав России, 1999. 116 с.

Пельгунов А. Н. Некоторые аспекты экологии Плещеева озера («Золотое Кольцо») // Экологические системы и приборы. 2003. № 12. С. 21 – 23.

Санитарные правила и нормы (СанПиН) 2.3.2. 1078 – 01. М. : Минздрав России, 2002. 44 с.

Справочник по радиационной обстановке и дозам облучения в 1991 г. населения районов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / под ред. М. И. Балонова. СПб. : Ариадна-Аркадия, 1993. 151 с.

Старков В. Д., Мигунов В. И. Радиационная экология. Тюмень : ИПП «Тюмень», 2003. 304 с.

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. Обнинск, 1990. Т. 1. С. 45 – 46.

Чураков Б. П., Божок Л. Л., Евсеева Н. А., Лисов Е. С. Микоиндикация загрязнения лесных экосистем тяжёлыми металлами // Микология и фитопатология. 2002. Т. 36, вып. 3. С. 57 – 62.

Щеглов А. И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах (по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС). М. : Наука, 2000. 268 с.

Щеглов А. И., Цветнова О. Б. Грибы – биоиндикаторы техногенного загрязнения // Природа. 2002. № 11. С. 39 – 46.

Щеглов А. И., Цветнова О. Б., Тихомиров Ф. А. Миграция долгоживущих радионуклидов чернобыльских выпадений в лесных почвах европейской части СНГ // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 1992. № 2. С. 27 – 35.

Щеглов А. И., Тихомиров Ф. А., Цветнова О. Б., Кляшторин А. Л., Мамихин С. В. Биогеохимия радионуклидов чернобыльского выброса в лесных экосистемах европейской части СНГ // Радиационная биология. Радиоэкология. 1996. Т. 36, вып. 4. С. 437 – 446.

Guillitte O., Fraiture A., Lambinon J. Soil-fungi radiocaesium transfers in forest ecosystem // Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments. L. ; N. Y. : Elsevier Science Publishers LTD, 1990. P. 468 – 476.

Guillitte O., Gasia M. C., Lambinon J., Fraiture A., Colard J., Kirchmann R. La radiocontamination des champignons sauvages en Belgique au Grand-Duché de Luxembourg après l'accident nucléaire de Tchernobyl // Memoires de la Societe Royale de Botanique de Belgique. 1987. Vol. 9. P. 79 – 93.

Klan J., Randa Z., Benada J., Horyna J. Investigation of non-radioactive Rb, Cs and radio-caesium in higher fungi // Czech Mycology. 1988. Vol. 42, № 3. P. 158 – 169.

Lambinon J., Fraiture A., Gasia M., Guillitte O. La radiocontamination des champignons sauvages en Wallonie (Belgique) cuite a l'accident de Tchernobyl // IV Symp. Inter. Radioecol : Impact accidents orig. nucl. environ. Cadarache, 1988. Vol. 2. P. E37 – E44.

Molzahn D., Reinen D., Behr H., Kocksholt P., Patzelt P. Die Belastung von Pilzen mit radioaktiven Caesium // Zeitschrift für Mykologie. 1989. Bd. 55, № 1. S. 135 – 148.

Nimis P. L., Giovani C., Padovani R. La contaminazione da ¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs nei macromiceti del Friuli Venezia Giulia nel 1986 // Studia Geobotanica. 1986. Vol. 6. P. 1 – 121.

Sansone F., Rossi R., Zambelli A. Cesio radiattivo nei macromiati del territorio comasco // Micologia Italiana. 1988. Vol. 17, № 3. P. 34 – 40.

Yoshida S., Muramatsu Y. Accumulation of radiocaesium in basidiomycetes collected from Japanese forests // Science of the Total Environment. 1994. Vol. 157. P. 197 – 205.