

На правах рукописи

Плотников Михаил Алексеевич

Биологическая аккумуляция радионуклидов высшими грибами
в условиях лесных экосистем Пензенской области

Специальность 03.02.08 – «Экология»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2011

Работа выполнена на базе кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ФГОУ ВПО «Пензенский государственный университет» и кафедры общей физики ФГОУ ВПО «Пензенский государственный педагогический университет им. В.Г. Белинского»

Научные руководители:

Доктор физико-математических наук, профессор

Барсуков Олег Александрович

Доктор биологических наук, профессор

Иванов Александр Иванович

Официальные оппоненты:

Доктор биологических наук

Пчелкин Алексей Васильевич

Доктор физико-математических наук

Кожевников Дмитрий Александрович

Ведущая организация: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

Защита диссертации состоится «27» октября 2011 г. в 11.00 на заседании диссертационного совета Д002.049.01. при ФГБУ Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН по адресу:
107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20б

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУ Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН.

Автореферат разослан «_____» сентября 2011 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д002.049.01

доктор географических наук, профессор

Черногаева Галина Михайловна

Общая характеристика работы

Актуальность темы: Проблема загрязнения биосферы радионуклидами является одной из острейших экологических проблем современности. Высшие грибы (базидиальные макромицеты) обладают способностью к активному накоплению радионуклидов в плодовых телах. До сих пор не выяснены метаболические функции многих радиоактивных элементов, а также биологический смысл и природная целесообразность их накопления. Учитывая ограниченность сведений о видовой специфичности в накоплении радионуклидов плодовыми телами съедобных грибов и низкую степень переваривания и усвоения грибной продукции, вопрос оценки качества грибов в настоящее время заслуживает особого внимания.

Проблема биологического накопления радионуклидов активно изучается в рамках различных дисциплин, однако в настоящее время это направление остается одним из самых открытых.

Цель и задачи исследований: Целью работы было изучение характера биологической аккумуляции радионуклидов плодовыми телами высших грибов в лесных экосистемах Пензенской области.

В ходе выполнения исследований были поставлены следующие **задачи:**

1) на основании полевых исследований изучить аккумуляционную способность различных видов высших грибов в отношении ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{241}Am ;

2) создать аппаратно-методическую и метрологическую базу, обеспечивающую точную идентификацию радионуклидов с массовыми числами в широком диапазоне;

3) разработать алгоритм обработки гамма-спектра в различных диапазонах энергий выхода гамма-квантов;

4) выявить виды, обладающие избирательной способностью к накоплению указанных нуклидов, и оценить возможность использования их в качестве биоиндикаторов радиационного состояния окружающей среды;

5) изучить особенности аккумуляции вышеперечисленных радионуклидов представителями различных эколого-трофических групп;

6) разработать рекомендации по заготовке и употреблению в пищу грибной продукции для снижения риска поступления радионуклидов с плодовыми телами съедобных базидиомицетов в организм человека.

Научная новизна:

Впервые в условиях лесных экосистем Пензенской области с различным уровнем и генезисом радиоактивного загрязнения изучен характер накопления ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{241}Am плодовыми телами грибов, установлен естественный радиационный фон грибов и выявлены виды грибов, характеризующиеся повышенной аккумуляционной способностью по отношению к вышеуказанным радионуклидам. Разработан и применен алгоритм регистрации выходов гамма-квантов, позволяющий надежно идентифицировать радионуклиды в широком диапазоне масс.

Положения, выносимые на защиту:

1) радионуклиды, содержащиеся в почвах исследуемых территорий, поглощаются всеми видами грибов до определенных концентраций;

2) радионуклидный состав плодовых тел грибов определяется биологическими особенностями представителей отдельных видов;

3) степень накопления радионуклидов отличается у представителей различных эколого-трофических групп;

4) в условиях экосистем, испытавших техногенное загрязнение, плодовые тела грибов способны накапливать ^{137}Cs и ^{241}Am в концентрациях близких или превышающих их предельно-допустимые значения.

Практическая значимость: Выявлены виды грибов, характеризующиеся повышенной аккумуляционной способностью по отношению к ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{241}Am . Предложены виды биоиндикаторов загрязнения окружающей среды ^{137}Cs и ^{241}Am . Разработаны рекомендации по заготовке и употреблению грибов в пищу для снижения радиационного риска.

Апробация работы: Материалы диссертационной работы были представлены на II Съезде микологов России «Современная микология в России» (Москва, 2008), Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора А.Ф. Блинохвотова «Образование, наука, практика: инновационный аспект» (Пенза, 2008), Юбилейной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения М.В. Горленко «Высшие базидиальные грибы: индивидуумы, популяции, сообщества» (Москва, 2008), V Международной конференции «Изучение грибов в биогеоценозах» (Пермь, 2009).

Публикации: По теме диссертации опубликовано 8 работ, из них 3 статьи в печатных изданиях перечня ВАК РФ.

Личный вклад автора: Автором самостоятельно спланированы и осуществлены полевые и лабораторные исследования, проведены статистическая обработка и интерпретация данных, полученных в результате выполнения диссертационной работы.

Объем и структура работы: Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы, включающего 123 источника. Текст изложен на 136 страницах. Основная часть работы содержит 14 таблиц и 13 иллюстраций (диаграммы, рисунки).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1 Обзор литературы

Первая глава состоит из пяти разделов. В первом рассматриваются общие вопросы радиационной экологии: описываются виды ионизирующих излучений, радиационный фон и его источники. Приводится краткая характеристика наиболее распространенных в природе естественных и искусственных радионуклидов. Второй раздел посвящен проблеме радиоактивного загрязнения Земли. Обсуждаются причины его возникновения, особенности загрязнения радионуклидами атмосферы, гидросферы, литосферы и, в частности, её верхней части – почвы. В изучение этой проблемы наиболее крупный вклад был внесен группой ученых,

представленных сотрудниками Института прикладной геофизики и других организаций, под руководством академика АН СССР Ю.А. Израэля. В результате были созданы два атласа карт радиационной обстановки. В частности выявлен ряд регионов нашей страны с повышенным уровнем радиации. К ним относится и Пензенская область. В третьем разделе, посвященном вопросам загрязнения биосферы, описываются особенности поступления и распределения радионуклидов в организмах растений и животных разных сред обитания, роль биоты в круговороте радиоактивных элементов в экосистемах. В четвертом разделе отмечается роль грибов в природе и жизни человека, рассматриваются отличия в содержании радионуклидов в грибах и растениях. Отмечаются факторы, от которых может зависеть содержание радиоактивных элементов в плодовых телах грибов. Приводятся данные различных исследований (Щеглов А.И. 1997 г., Цветнова О.Б. 2002 г., Болсуновский А.Я. 2007 г. и др.) о содержании и особенностях биоаккумуляции ^{40}K , ^{90}Sr , ^{137}Cs и других нуклидов в природных условиях Брянской, Тульской и других западных регионах России, Красноярского края, Украины и Беларуси. Приводятся виды наиболее активных грибов-накопителей радионуклидов для указанных областей (польский гриб (*Xerocomus badius*), свинушка тонкая (*Paxillus involutus*), горькушка (*Lactarius rufus*) и масленок поздний (*Suillus luteus*)). В пятом разделе представлена трофическая классификация высших грибов.

2 Характеристика природных и радиационных условий района исследований и состав его микобиоты

Вторая глава посвящена обоснованию района исследований и состоит из трех разделов. В первом представлены природные условия. Описывается местоположения района, особенности рельефа и климата, типы почв и растительности. Во втором разделе рассматривается проблема радиоактивного загрязнения Пензенской области в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Приводятся данные исследований радиационной

обстановки, указываются наиболее загрязненные места региона. В третьем разделе рассматриваются особенности микобиоты района исследований.

3 Материалы и методы исследований

Исследования проводились в течение 3-х лет (2007 – 2009 гг.). Объектами исследования в предлагаемой работе являлись высшие грибы, предметом исследования – их аккумуляционная способность в отношении радионуклидов ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{241}Am . Сбор образцов осуществлялся в лесных экосистемах Пензенской области, приуроченных к серым лесным почвам и расположенных вдали от антропогенных источников поступления радионуклидов и урбанизированных зон. Всего было проанализировано 208 образцов, относящихся к 46 видам.

Сбор и подготовка материалов к анализу проводились по «Методике выполнения гамма-спектрометрических измерений активности радионуклидов в пробах почвы и растительных материалов», утвержденной и введенной в действие приказом Россельхоза № 192 от 05.09.94 г. Анализ осуществлялся посредством набора гамма-спектра образцов на гамма-спектрометрическом комплексе СКС-50М, разработанном и произведенном ведущим в России предприятием Минатома РФ «Гринстартехнолоджиз». Прибор отличается от базовой модели возможностью измерения активности радионуклидов в широком диапазоне масс с энергией выхода гамма-квантов ниже 100 кэВ. Для обеспечения таких точностных характеристик производилась калибровка оборудования эталонными образцами трансурановых элементов с низкой энергией выхода гамма-квантов при непосредственном участии автора работы.

Длительность набора спектра зависела от активности исследуемого образца, требовалось набрать 70000 импульсов. По окончании набора при помощи специальной программы осуществлялась обработка гамма-спектра путем сравнения его с калибровочной кривой эталонного источника. Анализ производился в ручном режиме, поскольку при наборе спектра происходило наложение пиков аппроксимации разных радионуклидов друг на друга.

Чтобы точно идентифицировать изотопы и рассчитать их активности был разработан алгоритм, по которому полученный спектр обрабатывался по нескольким калибровочным кривым, изотопы анализировались как совместно, так и по отдельности с учетом процентов выхода гамма-квантов по разным пикам аппроксимации в широком диапазоне энергий.

Статистическая обработка данных включала в себя расчет среднего арифметического значения (\bar{x}) активности радионуклидов для плодовых тел и субстрата по каждому виду грибов; определение стандартного отклонения (σ) для полученного среднего арифметического значения; вычисление статистической, обусловленной случайными отклонениями, ошибки среднего арифметического значения (m_x); введение поправки с учетом критических показателей Стьюдента (t); расчет коэффициента накопления радионуклида (K_n) - отношение удельной активности в грибе к удельной активности в субстрате, и коэффициента корреляции Пирсона (r). С целью исключения из расчетов сильно отклоняющихся значений применялся критерий Шовенье ($t_{\text{подозр}}$).

4 Результаты исследований

4.1 Виды высших грибов, представленные в исследованиях

В ходе исследований были изучены грибы различных трофических групп. При этом отдавалось предпочтение наиболее распространенным видам, имеющим хозяйственное значение, плодовые тела которых встречаются в количестве, допускающем проведение анализов.

Из группы **симбиотрофов** было проанализировано 25 видов:

Белый гриб (*Boletus edulis* Bull.) сем. Болетовые (*Boletaceae*)

Валуй (*Russula foetens* (Pers.) Pers.) сем. Сыроежковые (*Russulaceae*)

Волнушка розовая (*Lactarius torminosus* (Schaeff.) Gray) сем. Сыроежковые (*Russulaceae*)

Груздь войлочный (*Lactarius vellereus* (Fr.) Fr.) сем. Сыроежковые (*Russulaceae*)

Груздь настоящий (*Lactarius aquizonatus* Kytöv.) сем. Сыроежковые (*Russulaceae*)

Груздь черный (*Lactarius necator* (Bull.) Pers.) сем. Сыроежковые (*Russulaceae*)

Дубовик крапчатый (*Boletus erythropus* Pers.) сем. Болетовые (*Boletaceae*)

Дубовик желтый (*Boletus impolitus* Fr.) сем. Болетовые (*Boletaceae*)

Зеленушка (*Tricholoma flavovirens* (Pers.) S. Lundell) сем. Рядовковые (*Tricholomataceae*)

Козляк (*Suillus bovinus* (Pers.) Roussel) сем. Масленковые (*Suillaceae*)

Лисичка настоящая (*Cantharellus cibarius* Fr.) сем. Лисичковые (*Cantharellaceae*)

Масленок зернистый (*Suillus granulatus* (L.) Roussel) сем. Масленковые (*Suillaceae*)

Масленок поздний (*Suillus luteus* (L.) Roussel) сем. Масленковые (*Suillaceae*)

Моховик золотистый (*Xerocomus chrysenteron* (Bull.) Qué.) сем. Болетовые (*Boletaceae*)

Мухомор красный (*Amanita muscaria* (L.) Lam.) сем. Аманитовые (*Amanitaceae*)

Паутинник желтый (*Cortinarius triumphans* Fr.) сем. Паутинниковые (*Cortinariaceae*)

Подберезовик обыкновенный (*Leccinum scabrum* (Bull.) Gray) сем. Болетовые (*Boletaceae*)

Подгруздок белый (*Russula delica* Fr.) сем. Сыроежковые (*Russulaceae*)

Подгруздок черный (*Russula adusta* (Pers.) Fr.) сем. Сыроежковые (*Russulaceae*)

Подосиновик желто-бурый (*Leccinum testaceoscabrum* Secr. Ex Singer) сем. Болетовые (*Boletaceae*)

Польский гриб (*Xerocomus badius* (Fr.) Kühner) сем. Болетовые (*Boletaceae*)

Рядовка серая штриховатая (*Tricholoma portentosum* (Fr.) Qué.) сем. Рядовковые (*Tricholomataceae*)

Сыроежка светло-желтая (*Russula claroflava* Grove) сем. Сыроежковые (*Russulaceae*)

Сыроежка селедочная (*Russula xerampelina* (Schaeff.) Fr.) сем. Сыроежковые (*Russulaceae*)

Свинушка тонкая (*Paxillus involutus* (Batsch) Fr.) сем. Свинушковые (*Paxillaceae*)

Ксилотрофы представлены 17 видами:

Березовая губка (*Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst.) сем. Фомитопсидовые (*Fomitopsidaceae*)

Вешенка рожковидная (*Pleurotus cornucopiae* (Paulet) Rolland) сем. Плевротовые (*Pleurotaceae*)

Дождевик грушевидный (*Lycoperdon pyriforme* Schaeff.) сем. Шампиньоновые (*Agaricaceae*)

Лензитес березовый (*Lenzites betulina* (L.) Fr.) сем. Кориоловые (*Coriolaceae*)

Ложнотрутовик дубовый (*Phellinus robustus* (P. Karst.) Bourdot & Galzin) сем. Гименохетовые (*Hymenochaetaceae*)

Ложнотрутовик обыкновенный (*Phellinus igniarius* (L.) Quél.) сем. Гименохетовые (*Hymenochaetaceae*)

Ложнотрутовик осиновый (*Phellinus tremulae* (Bondartsev) Bondartsev & P.N. Borisov) сем. Аурикуляриевые (*Auriculariaceae*)

Опенок осенний (*Armillariella mellea* (Vahl) P. Karst.) сем. Рядовковые (*Tricholomataceae*)

Трутовик горбатый (*Thrametes gibboza* (Pers.) Fr.) сем. Кориоловые (*Coriolaceae*)

Трутовик древесный (*Inonotus dryadeus* (Pers.) Murrill) сем. Гименохетовые (*Hymenochaetaceae*)

Трутовик настоящий (*Fomes fomentarius* (L.) J. Kickxf.) сем. Кориоловые (*Coriolaceae*)

Трутовик окаймленный (*Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst.) сем. Фомитопсидовые (*Fomitopsidaceae*)

Трутовик плоский (*Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat.) сем. Полипоровые (*Polyporaceae*)

Трутовик серно-желтый (*Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill) сем. Полипоровые (*Polyporaceae*)

Трутовик чешуйчатый (*Polyporus squamosus* (Huds.) Fr.) сем. Полипоровые (*Polyporaceae*)

Трутовик Швейнитца (*Phaeolus schweinitzii* (Fr.) Pat.) сем. Фомитопсидовые (*Fomitopsidaceae*)

Чага (*Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pilát) сем. Гименохетовые (*Hymenochaetaceae*)

Из группы **подстилочных сапротрофов** было вовлечено в исследования 4 наиболее распространенные вида с крупными плодовыми телами (базидиомами), что определяется спецификой методики. Для проведения одного анализа требуется не менее 5 кг свежих грибов. Поэтому включение в исследования мелкоплодных видов, которыми являются большинство представителей последней трофической группы, не представляется возможным в силу необходимости сбора большого количества базидиом с одного участка леса.

Гриб-зонтик пестрый (*Macrolepiota procera* (Scop.) Singer) сем. Шампиньоновые (*Agaricaceae*)

Рядовка серая (*Lepista nebularis* (Fr.) Harmaja) сем. Рядовковые (*Tricholomataceae*)

Рядовка фиолетовая (*Lepista nuda* (Bull.) Cooke) сем. Рядовковые (*Tricholomataceae*)

Шампиньон клубневой (*Agaricus abruptibulbus* Peck) сем. Шампиньоновые (*Agaricaceae*)

Номенклатура грибов приведена в соответствии с сайтом Index Fungorum (<http://www.indexfungorum.org>).

4.2 Радиационный фон грибов

Если сложить удельную активность ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th в каждом исследованном виде гриба, то получим значение суммарной удельной активности радионуклидов, «заложенной» в данный вид природой. Добавкой к ней являются искусственные нуклиды ^{137}Cs и ^{241}Am . В таблице 1 виды грибов расположены в порядке убывания суммарной удельной активности всех исследуемых нуклидов.

Таблица 1 — Суммарная удельная активность исследуемых радионуклидов в изучаемых видах грибов

Вид гриба	Средняя удельная активность, Бк/кг					Сумма
	Естественные радионуклиды			Искусственные радионуклиды		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs	^{241}Am	
<u>Свинушка тонкая</u>	441,5 ± 135,1	30,8 ± 11,0	42,8 ± 7,5	34304,3 ± 5333,7	380,5 ± 71,5	35199,8
<u>Польский гриб</u>	294,3 ± 41,0	115,7 ± 24,4	227,7 ± 95,9	6183,7 ± 1801,7	648,3 ± 93,7	7469,7
<u>Зеленушка</u>	613,7 ± 119,6	38,3 ± 15,6	86,0 ± 20,1	3428,0 ± 524,5	302,3 ± 22,1	4468,3
<u>Сыроежка светло-желтая</u>	1054,8 ± 245,6	34,0 ± 4,4	80,0 ± 18,6	2008,6 ± 494,2	224,0 ± 47,0	3401,7
<u>Подгруздок черный</u>	1480,2 ± 332,9	39,0 ± 9,9	57,8 ± 35,8	803,0 ± 256,0	125,0 ± 23,9	2505,4
<u>Груздь войлочный</u>	1844,0 ± 293,3	57,7 ± 13,5	44,8 ± 6,7	55,7 ± 11,8	30,3 ± 6,7	2032,5
<u>Рядовка фиолетовая</u>	1235,0 ± 242,2	106,0 ± 19,0	44,3 ± 21,1	213,7 ± 09,5	273,3 ± 155,6	1872,3
<u>Шампиньон клубневой</u>	1360,3 ± 145,2	87,3 ± 10,5	62,0 ± 11,1	15,0 ± 1,7	44,3 ± 8,3	1568,9
<u>Сыроежка селедочная</u>	536,0 ± 207,5	91,3 ± 9,3	56,8 ± 23,8	764,8 ± 88,2	91,0 ± 16,8	1539,7
<u>Гриб-зонтик пестрый</u>	1215,8 ± 114,1	86,2 ± 7,9	81,4 ± 7,5	92,6 ± 8,6	45,4 ± 10,9	1521,4
<u>Козляк</u>	975,3 ± 280,8	63,0 ± 27,5	64,3 ± 9,7	145,8 ± 34,9	60,0 ± 14,8	1308,3
<u>Груздь черный</u>	547,4 ± 83,1	92,4 ± 13,0	45,2 ± 10,4	496,4 ± 179,5	63,0 ± 20,5	1244,2
<u>Мухомор красный</u>	746,0 ± 64,5	31,0 ± 3,2	11,0 ± 0,9	245,0 ± 21,3	51,0 ± 3,2	1084,0
<u>Рядовка серая</u>	749,3 ± 130,9	41,5 ± 12,6	46,3 ± 6,9	185,8 ± 30,7	27,0 ± 6,3	1049,8

Вид гриба	Средняя удельная активность, Бк/кг					Сумма
	Естественные радионуклиды			Искусственные радионуклиды		
	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs	²⁴¹ Am	
<u>Белый гриб</u>	170,0 ± 61,2	39,8 ± 15,2	39,0 ± 9,9	772,8 ± 284,9	20,1 ± 6,4	1041,6
<u>Чага</u>	347,5 ± 29,1	123,0 ± 11,4	53,8 ± 14,1	296,3 ± 21,0	201,0 ± 18,5	1021,6
<u>Дождевик грушевидный</u>	769,3 ± 196,7	44,0 ± 15,5	27,7 ± 6,5	12,7 ± 3,1	57,7 ± 14,6	911,4
<u>Масленок поздний</u>	624,0 ± 66,0	62,0 ± 24,3	60,0 ± 8,6	44,0 ± 19,5	50,0 ± 7,3	840,0
<u>Моховик золотистый</u>	618,3 ± 27,4	54,7 ± 10,8	68,0 ± 30,8	37,7 ± 19,6	50,3 ± 24,5	829,0
<u>Валуи</u>	633,4 ± 195,4	33,6 ± 10,9	24,2 ± 8,8	6,6 ± 1,3	42,8 ± 22,5	740,6
<u>Рядовка серая штриховатая</u>	259,0 ± 69,5	70,7 ± 13,3	42,3 ± 10,3	274,0 ± 31,6	50,7 ± 9,0	696,7
<u>Масленок зернистый</u>	446,8 ± 62,5	57,2 ± 17,6	55,0 ± 8,6	37,6 ± 18,4	46,6 ± 7,1	643,4
<u>Подберезовик обыкновенный</u>	511,0 ± 143,4	42,8 ± 13,0	11,5 ± 3,3	11,3 ± 4,0	52,3 ± 18,0	628,8
<u>Опенк осенний</u>	461,8 ± 179,9	45,5 ± 26,3	30,8 ± 11,4	28,0 ± 5,7	59,3 ± 16,9	625,4
<u>Подгруздок белый</u>	456,6 ± 123,2	44,0 ± 15,6	28,1 ± 11,2	21,6 ± 7,3	51,9 ± 20,5	602,2
<u>Дубовик крапчатый</u>	397,4 ± 170,7	149,2 ± 34,5	17,2 ± 4,9	13,2 ± 3,0	19,6 ± 3,8	596,9
<u>Трутовик чешуйчатый</u>	392,7 ± 106,9	40,0 ± 7,9	95,0 ± 37,5	24,7 ± 2,5	38,7 ± 19,7	591,1
<u>Подосиновик желто-бурый</u>	428,3 ± 63,7	29,0 ± 2,0	51,7 ± 11,7	12,7 ± 5,0	33,7 ± 4,9	555,3
<u>Трутовик Швейнитца</u>	348,0 ± 80,2	61,7 ± 12,1	105,3 ± 14,0	15,0 ± 2,6	18,3 ± 6,1	548,3
<u>Дубовик желтый</u>	447,3 ± 158,4	28,8 ± 7,5	44,5 ± 16,6	11,8 ± 4,9	15,8 ± 7,6	548,2
<u>Паутинник желтый</u>	203,7 ± 24,8	58,7 ± 0,6	11,0 ± 1,0	118,0 ± 11,1	81,7 ± 6,4	473,1
<u>Лензитес березовый</u>	381,7 ± 51,6	17,7 ± 3,5	10,0 ± 2,6	19,7 ± 6,0	19,3 ± 3,1	448,4
<u>Лисичка настоящая</u>	261,7 ± 97,7	49,0 ± 19,2	57,3 ± 15,5	23,7 ± 6,9	37,3 ± 10,1	429,0
<u>Ложнотрутовик дубовый</u>	322,8 ± 108,6	22,2 ± 8,8	50,5 ± 15,4	18,2 ± 4,7	13,3 ± 5,3	427,0
<u>Трутовик серно-желтый</u>	316,3 ± 13,7	36,0 ± 9,5	26,7 ± 3,5	12,0 ± 2,6	22,0 ± 7,0	413,0

Вид гриба	Средняя удельная активность, Бк/кг					Сумма
	Естественные радионуклиды			Искусственные радионуклиды		
	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs	²⁴¹ Am	
<u>Вешенка рожковидная</u>	320,7 ± 59,0	15,7 ± 2,5	30,7 ± 7,2	9,7 ± 2,3	26,7 ± 4,2	403,5
<u>Волнушка розовая</u>	312,0 ± 53,1	17,6 ± 9,8	29,4 ± 14,7	11,6 ± 6,1	24,6 ± 6,5	395,4
Трутовик плоский	286,5 ± 72,7	13,8 ± 2,8	24,8 ± 7,6	11,0 ± 2,2	21,5 ± 5,7	357,6
Ложнотрутовик обыкновенный	255,3 ± 88,6	15,3 ± 4,3	39,0 ± 5,3	13,0 ± 1,8	24,0 ± 5,1	346,6
Трутовик древесный	239,7 ± 110,8	25,7 ± 12,8	54,7 ± 22,0	7,8 ± 2,3	18,0 ± 3,2	345,9
Трутовик настоящий	247,2 ± 98,6	20,1 ± 6,1	29,0 ± 15,0	12,3 ± 4,8	17,8 ± 8,3	326,4
Березовая губка	175,3 ± 47,8	33,5 ± 10,0	65,5 ± 15,2	11,3 ± 2,9	31,5 ± 11,9	317,1
Ложнотрутовик осиновый	249,8 ± 65,6	24,3 ± 5,9	22,5 ± 12,1	5,8 ± 1,3	14,0 ± 4,1	316,4
Трутовик окаймленный	194,0 ± 49,9	13,3 ± 3,0	38,3 ± 8,5	10,0 ± 3,0	30,8 ± 9,4	286,4
<u>Груздь настоящий</u>	196,0 ± 22,7	10,0 ± 3,6	20,3 ± 3,2	13,3 ± 3,6	24,3 ± 7,5	263,9
Трутовик горбатый	184,8 ± 27,1	30,0 ± 6,1	17,0 ± 4,8	19,5 ± 4,9	13,3 ± 2,5	264,6
Среднее значение	529,8	49,5	48,4	1106,0	78,1	1815,5
Среднее суммарное значение	631,3			1184,2		1815,5
Примечание. Подчеркиванием выделены грибы, применяемые в пищевых целях, например: <u>Белый гриб</u>						

В исследованных грибах доля естественных радионуклидов составляет 34,8 %, а искусственных – 63,2 %, т.е. почти в два раза больше. Суммарная удельная активность ⁴⁰K, ²²⁶Ra и ²³²Th для рассмотренных видов в среднем равняется 631,3 Бк/кг воздушно-сухой массы. За счет ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am радиационный фон в среднем увеличивается до 1815,5 Бк/кг. Эти два радионуклида повышают среднее значение радиационного фона исследуемых грибов в 3 раза.

4.3 Закономерности накопления ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{241}Am высшими грибами

Высшие грибы в зависимости от принадлежности к тому или иному виду аккумулируют радионуклиды с различной интенсивностью (таблица 2). Четко выделяются виды, накапливающие в более высоких концентрациях тот или иной радионуклид, по сравнению с другими грибами, развивающимися в сходных условиях обитания. Об этом можно судить по значению коэффициента накопления, который равен отношению удельной активности в грибе к удельной активности в субстрате.

Таблица 2 — Накопление ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{241}Am в условиях лесных экосистем Пензенской области

Вид гриба	Коэффициент накопления (K_n)				
	^{40}K	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{241}Am
Белый гриб	2,8	11,5	1,4	1,2	0,5
Березовая губка	0,7	0,9	2,0	1,9	2,3
Валуй	2,9	0,1	1,4	0,3	1,9
Вешенка рожковая	1,1	0,6	0,8	0,9	0,7
Волнушка розовая	1,8	0,3	1,0	0,6	0,4
Груздь войлочный	24,9	0,7	2,2	0,7	0,8
Груздь настоящий	1,6	0,2	1,1	1,1	0,6
Груздь черный	8,9	5,3	2,3	1,3	1,7
Дождевик грушевидный	12,0	1,3	1,7	0,8	1,5
Дубовик желтый	4,0	0,1	0,7	0,9	0,4
Дубовик крапчатый	2,6	0,1	4,7	0,4	0,3
Зеленушка	9,7	24,4	3,0	2,6	7,4
Гриб-зонтик пестрый	16,1	1,0	3,5	9,0	0,6
Козляк	5,1	10,4	3,4	1,3	1,4
Лензитес березовый	1,6	1,4	0,9	0,4	0,9
Лисичка настоящая	1,7	0,5	2,8	0,9	1,2
Ложнотрутовик дубовый	1,0	1,5	1,6	1,1	1,3
Ложнотрутовик обыкновенный	0,6	0,6	0,6	2,3	0,7
Ложнотрутовик осиновый	2,4	0,3	0,8	0,5	0,9
Масленок зернистый	2,4	2,3	2,7	1,4	1,0
Масленок поздний	3,4	3,0	3,3	1,6	1,2

Вид гриба	Коэффициент накопления (K_n)				
	^{40}K	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{241}Am
Моховик золотистый	5,0	1,2	2,7	2,5	2,6
Мухомор красный	9,9	3,4	0,9	0,2	2,2
Опенок осенний	1,8	1,1	0,9	1,0	0,9
Паутинник желтый	2,8	3,4	6,5	4,7	5,4
Подберезовик обыкновенный	2,5	0,7	1,8	0,3	0,9
Подгруздок белый	3,2	0,2	1,2	0,5	1,4
Подгруздок черный	12,9	4,8	1,2	1,4	3,4
Подосиновик желто-бурый	4,4	0,9	1,6	1,1	1,1
Польский гриб	1,9	60,4	4,6	5,6	17,1
Рядовка серая	3,9	1,6	1,2	1,7	1,6
Рядовка серая штриховатая	3,9	1,9	2,4	1,4	1,3
Рядовка фиолетовая	4,5	2,1	2,9	2,2	2,5
Свинушка тонкая	4,4	390,9	2,0	1,4	9,5
Сыроежка светло-желтая	18,6	18,6	1,8	2,2	6,9
Сыроежка селедочная	8,2	6,2	4,1	1,6	2,0
Трутовик горбатый	0,5	1,2	0,8	1,2	0,4
Трутовик древесный	0,7	0,5	1,2	1,7	1,4
Трутовик настоящий	1,1	1,1	0,9	1,0	1,0
Трутовик окаймленный	0,9	2,0	2,5	0,4	1,2
Трутовик плоский	1,2	0,9	0,6	1,1	1,1
Трутовик серно-желтый	1,1	0,9	0,9	1,1	1,7
Трутовик чешуйчатый	1,2	1,4	1,9	3,1	3,2
Трутовик Швейнитца	2,4	1,7	3,4	3,5	0,9
Чага	2,1	20,8	1,6	0,5	9,0
Шампиньон клубневой	5,0	2,6	3,3	1,3	0,7
Примечания: 1. 0,0 – 1,0 - вид не аккумулирует радионуклид; 2. > 1,0 – вид накапливает радионуклид.					

Средняя удельная активность ^{40}K в плодовых телах высших грибов составила 533,7 Бк/кг воздушно-сухой массы. К видам, интенсивно аккумулирующим этот изотоп, можно отнести груздь войлочный, сыроежку светло-желтую, гриб-зонтик пестрый, подгруздок черный и дождевик грушевидный. Для указанных высших грибов значение коэффициента накопления превышает 10, и составляет 24,9; 18,6; 16,1; 12,9 и 12,0

соответственно. Не накапливают ^{40}K ложнотрутовик дубовый, трутовик окаймленный, трутовик древесный, березовая губка, ложнотрутовик обыкновенный и трутовик горбатый. Для них значение коэффициента накопления ниже 1 ($\approx 1,0$; 0,9; 0,7; 0,7; 0,6 и 0,5 соответственно).

Максимальная активность ^{137}Cs зафиксирована в базидиомах свинушки тонкой и составила 34304,3 Бк/кг воздушно-сухой массы (коэффициент накопления равен 390,9), при 1106,1 Бк/кг в среднем. К накопителям этого радионуклида также можно отнести польский гриб (6183,7 Бк/кг), зеленушку (3428,0 Бк/кг), чагу (296,3 Бк/кг), сыроежку светло-желтую (2008,6 Бк/кг), белый гриб (772,8 Бк/кг) и козляк (145,8 Бк/кг). Для этих грибов значение коэффициента накопления также превышает 10 и составляет 60,4; 24,4; 20,8; 18,6; 11,5 и 10,4 соответственно. В плодовых телах свинушки тонкой, польского гриба и зеленушки наблюдается превышение предельно допустимого уровня удельной активности ^{137}Cs в 2500 Бк/кг воздушно-сухой массы. В исследованиях Щеглова А.И., проводившихся в наиболее затронутых Чернобыльской катастрофой регионах (Брянская и Тульская области), установлено, что свинушка тонкая и польский гриб также являются одними из самых активных накопителей ^{137}Cs . Из исследованных видов базидиальных грибов трутовик серно-желтый, березовая губка, трутовик плоский, подосиновик желто-бурый, подберезовик обыкновенный, груздь войлочный, вешенка рожковая, ложнотрутовик обыкновенный, трутовик древесный, лисичка настоящая, волнушка розовая, ложнотрутовик осиновый, груздь настоящий, подгруздок белый, дубовик желтый, валуй и дубовик крапчатый в условиях региона исследований не накапливают ^{137}Cs .

Способность к аккумуляции ^{226}Ra выявлена у паутинника желтого, дубовика крапчатого, польского гриба и сыроежки селедочной, в плодовых телах которых удельная активность указанного нуклида составила 58,7 Бк/кг, 149,2 Бк/кг, 115,7 Бк/кг и 91,3 Бк/кг, при соответствующих значениях коэффициентов накопления 6,5; 4,7; 4,6 и 4,1. Не аккумулируют ^{226}Ra волнушка розовая, трутовик серно-желтый, трутовик настоящий, лензитес

березовый, опенок осенний, мухомор красный, ложнотрутовик осиновый, вешенка рожковая, трутовик горбатый, дубовик желтый, ложнотрутовик обыкновенный, трутовик плоский. Средняя активность ^{226}Ra в базидиомах исследованных видов грибов составляет 49,5 Бк/кг.

Характер накопления ^{232}Th несколько сходен с особенностями аккумуляции ^{226}Ra по значениям коэффициента накопления, которые находятся в пределах от 0,2 до 9,0 (у радия от 0,6 до 6,5). Не накапливают торий трутовик настоящий, опенок осенний, вешенка рожковая, лисичка настоящая, дубовик желтый, дождевик грушевидный, груздь войлочный, волнушка розовая, ложнотрутовик осиновый, подгруздок белый, чага, лензитес березовый, трутовик окаймленный, дубовик крапчатый, валуй, подберезовик обыкновенный и мухомор красный. В наибольшей степени указанный нуклид адсорбируют гриб-зонтик пестрый, польский гриб и паутинник желтый. Коэффициенты накопления равны 9,0; 5,6 и 4,7 соответственно. Средняя удельная активность ^{232}Th приблизительно равна таковой у ^{226}Ra и составляет 48,4 Бк/кг воздушно-сухой массы.

Среднее значение удельной активности ^{241}Am равно 78,1 Бк/кг. К видам, проявляющим склонность к аккумуляции этого радиоактивного элемента, можно отнести польский гриб, свинушку тонкую, чагу, зеленушку, сыроежку светло-желтую и паутинник желтый. Им соответствуют следующие значения средней удельной активности и коэффициентов накопления 648,3 Бк/кг и 17,1; 380,5 Бк/кг и 9,5; 201,0 Бк/кг и 9,0; 302,3 Бк/кг и 7,4; 224,0 Бк/кг и 6,9; 81,7 Бк/кг и 5,4. Примечательно, что для некоторых видов значения коэффициентов накопления тория и америция практически равны, например, у моховика золотистого ($^{232}\text{Th} - 2,5$ и $^{241}\text{Am} - 2,6$), козляка ($^{232}\text{Th} - 1,3$ и $^{241}\text{Am} - 1,4$), подосиновика желто-бурого ($^{232}\text{Th} - 1,1$ и $^{241}\text{Am} - 1,1$). Не адсорбируют америций масленок зернистый, ложнотрутовик осиновый, трутовик Швейнитца, лензитес березовый, опенок осенний, подберезовик обыкновенный, груздь войлочный, шампиньон клубневой, вешенка рожковая, ложнотрутовик обыкновенный, гриб-зонтик пестрый,

груздь настоящий, белый гриб, волнушка розовая, дубовик желтый, трутовик горбатый и дубовик крапчатый.

4.4 Зависимость содержания ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{241}Am в плодовых телах высших грибов от их концентрации в субстрате

Для установления зависимости содержания ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{241}Am в плодовых телах высших грибов от их концентрации в субстрате для каждого радионуклида по каждому виду рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона r . Значения r приведены в таблице 3.

Таблица 3 — Зависимость содержания ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{241}Am в плодовых телах высших грибов от их концентрации в субстрате

Вид гриба	Коэффициент корреляции Пирсона r , для радионуклидов				
	^{40}K	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{241}Am
Белый гриб	<u>0,70</u>	0,76	<i>0,22</i>	<i>0,16</i>	<i>0,03</i>
Березовая губка	0,78	<u>0,63</u>	0,96	0,88	<i>0,20</i>
Валуй	<i>0,02</i>	<i>0,32</i>	<u>0,59</u>	<u>0,39</u>	<u>0,41</u>
Вешенка рожковая	0,78	0,87	<u>0,61</u>	<u>0,72</u>	0,83
Волнушка розовая	<i>0,28</i>	0,93	0,97	0,96	0,95
Груздь войлочный	<u>0,48</u>	0,92	<u>0,47</u>	<i>0,08</i>	<u>0,55</u>
Груздь настоящий	<i>0,06</i>	0,81	0,98	<u>0,60</u>	<u>0,59</u>
Груздь черный	0,80	<i>0,30</i>	0,80	<u>0,37</u>	0,90
Дождевик грушевидный	0,87	0,84	<u>0,60</u>	0,93	<u>0,68</u>
Дубовик желтый	<u>0,64</u>	<u>0,45</u>	0,80	<u>0,42</u>	<i>0,16</i>
Дубовик крапчатый	0,77	0,82	<i>0,27</i>	<u>0,70</u>	<i>0,33</i>
Зеленушка	<u>0,43</u>	0,96	0,89	<u>0,51</u>	0,93
Гриб-зонтик пестрый	<i>0,33</i>	0,93	<u>0,38</u>	<u>0,40</u>	<u>0,71</u>
Козляк	<u>0,73</u>	0,81	0,85	<u>0,50</u>	<i>0,20</i>
Лензитес березовый	<u>0,67</u>	0,96	0,97	<u>0,58</u>	0,85
Лисичка настоящая	0,98	0,94	<i>0,30</i>	<i>0,05</i>	0,93
Ложнотрутовик дубовый	<i>0,15</i>	<i>0,31</i>	<i>0,07</i>	<i>0,04</i>	<i>0,32</i>
Ложнотрутовик обыкновенный	<u>0,62</u>	<u>0,51</u>	<i>0,25</i>	<u>0,59</u>	<u>0,61</u>
Ложнотрутовик осиновый	0,82	<u>0,58</u>	<i>0,31</i>	0,92	<i>0,11</i>
Масленок зернистый	<i>0,15</i>	<u>0,46</u>	0,78	0,96	<i>0,26</i>
Масленок поздний	0,92	<i>0,32</i>	<i>0,08</i>	<u>0,29</u>	<u>0,34</u>
Моховик золотистый	0,91	0,74	<u>0,54</u>	<i>0,14</i>	<i>0,23</i>
Мухомор красный	0,90	0,97	0,86	0,97	0,92

Вид гриба	Коэффициент корреляции Пирсона r , для радионуклидов				
	^{40}K	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{241}Am
Опенок осенний	<u>0,37</u>	0,78	0,80	<u>0,45</u>	0,95
Паутинник желтый	0,92	0,78	0,87	0,87	0,82
Подберезовик обыкновенный	0,59	<u>0,13</u>	0,91	<u>0,44</u>	<u>0,52</u>
Подгруздок белый	<u>0,48</u>	<u>0,53</u>	<u>0,13</u>	<u>0,39</u>	<u>0,22</u>
Подгруздок черный	<u>0,65</u>	<u>0,68</u>	<u>0,50</u>	<u>0,30</u>	<u>0,16</u>
Подосиновик желто-бурый	<u>0,23</u>	0,98	<u>0,17</u>	<u>0,26</u>	0,97
Польский гриб	<u>0,68</u>	<u>0,61</u>	<u>0,45</u>	<u>0,44</u>	<u>0,63</u>
Рядовка серая штриховатая	<u>0,61</u>	0,78	0,94	<u>0,62</u>	0,96
Рядовка серая	0,89	0,94	<u>0,22</u>	<u>0,54</u>	<u>0,38</u>
Рядовка фиолетовая	<u>0,50</u>	0,89	<u>0,18</u>	<u>0,54</u>	0,83
Свинушка тонкая	<u>0,64</u>	<u>0,27</u>	<u>0,34</u>	<u>0,59</u>	<u>0,51</u>
Сыроежка светло-желтая	<u>0,65</u>	<u>0,70</u>	<u>0,45</u>	<u>0,06</u>	0,84
Сыроежка селедочная	<u>0,68</u>	<u>0,11</u>	<u>0,72</u>	0,95	0,84
Трутовик горбатый	<u>0,38</u>	<u>0,21</u>	0,85	<u>0,42</u>	<u>0,41</u>
Трутовик древесный	0,86	<u>0,25</u>	<u>0,44</u>	<u>0,03</u>	<u>0,53</u>
Трутовик настоящий	<u>0,05</u>	<u>0,43</u>	<u>0,02</u>	<u>0,31</u>	<u>0,12</u>
Трутовик окаймленный	0,76	0,84	<u>0,25</u>	<u>0,69</u>	<u>0,46</u>
Трутовик плоский	<u>0,71</u>	<u>0,87</u>	<u>0,79</u>	<u>0,32</u>	0,70
Трутовик серно-желтый	<u>0,53</u>	<u>0,70</u>	<u>0,30</u>	0,96	0,93
Трутовик чешуйчатый	<u>0,59</u>	0,76	<u>0,00</u>	0,97	0,76
Трутовик Швейнитца	0,88	0,82	<u>0,11</u>	0,87	0,91
Чага	<u>0,22</u>	0,82	0,82	0,90	<u>0,52</u>
Шампиньон клубневой	<u>0,44</u>	0,97	<u>0,57</u>	<u>0,18</u>	0,75

Примечания:
1. 0,22 – корреляция слабая, статистически недостоверная (0,00 - 0,34);
2. 0,70 – корреляция средняя (0,34 - 0,74);
3. **0,76** – корреляция сильная, статистически достоверная (0,74 - 1,00).

Сопоставив значения коэффициента корреляции Пирсона и коэффициентов накопления радионуклидов, можно выявить виды-индикаторы, для которых установлена статистически значимая корреляция между содержанием радионуклидов в плодовых телах и субстратах.

По ^{40}K среди всех видов-накопителей к видам-индикаторам можно отнести дождевик грушевидный ($K_n = 12,0$; $r = 0,87$) и мухомор красный ($K_n = 9,9$; $r = 0,90$), а также с достаточной степенью надежности сыроежку светло-желтую ($K_n = 18,6$; $r = 0,65$) и подгруздок черный ($K_n = 12,9$; $r = 0,65$).

Среди наиболее интенсивных накопителей ^{137}Cs биоиндикаторами можно считать зеленушку ($K_n = 24,4$; $r = 0,96$), белый гриб ($K_n = 11,5$;

$r = 0,76$) и козляк ($K_n = 10,4$; $r = 0,81$), с некоторой степенью достоверности – польский гриб ($K_n = 60,4$; $r = 0,61$), чагу ($K_n = 20,8$; $r = 0,82$) и сыроежку светло-желтую ($K_n = 18,6$; $r = 0,70$).

Для ^{226}Ra биоиндикаторами являются паутинник желтый ($K_n = 6,5$; $r = 0,87$), козляк ($K_n = 3,4$; $r = 0,85$) и, в меньшей степени, – сыроежка селедочная ($K_n = 4,1$; $r = 0,72$).

К биоиндикаторам ^{232}Th следует отнести паутинник желтый ($K_n = 4,7$; $r = 0,87$), трутовик Швейнитца ($K_n = 3,5$; $r = 0,87$) и трутовик чешуйчатый ($K_n = 3,1$; $r = 0,97$).

Зеленушку ($K_n = 7,4$; $r = 0,98$), сыроежку светло-желтую ($K_n = 6,9$; $r = 0,84$), паутинник желтый ($K_n = 5,4$; $r = 0,82$), в некоторой степени польский гриб ($K_n = 17,1$; $r = 0,63$) и рядовку фиолетовую ($K_n = 2,5$; $r = 0,83$) можно считать биоиндикаторами ^{241}Am .

4.5 Особенности накопления радионуклидов базидиомицетами разных трофических групп

Изучаемые в представленной работе грибы относятся к трем трофическим группам: симбиотрофы, подстилочные сапротрофы и ксилотрофы. В зависимости от принадлежности грибов к той или иной группе грибы проявляют разные особенности в накоплении радионуклидов.

Построив гистограмму (рисунок 1), отображающую зависимость биоаккумуляции радионуклидов грибами от принадлежности их к той или иной трофической группе, по средним значениям можно заметить, что симбиотрофы выделяются по аккумуляции ^{137}Cs и ^{241}Am . Видимо, это связано с вертикальной миграцией указанных изотопов по почвенному профилю в более глубокие горизонты с осадками и талыми водами, где сконцентрирован мицелий грибов этой группы. Естественные радионуклиды (^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th) в наибольшей степени аккумулируют подстилочные сапротрофы. Вероятно, это связано с тем, что в подстилке, которая является субстратом для указанной группы, концентрация этих радионуклидов выше, чем в почве и древесине. В древесине концентрации всех представленных радиоактивных

элементов намного ниже, чем в почве и подстилке, поэтому и значения их активности в плодовых телах дереворазрушающих грибов меньше, чем у симбиотрофов и подстилочных сапротрофов.

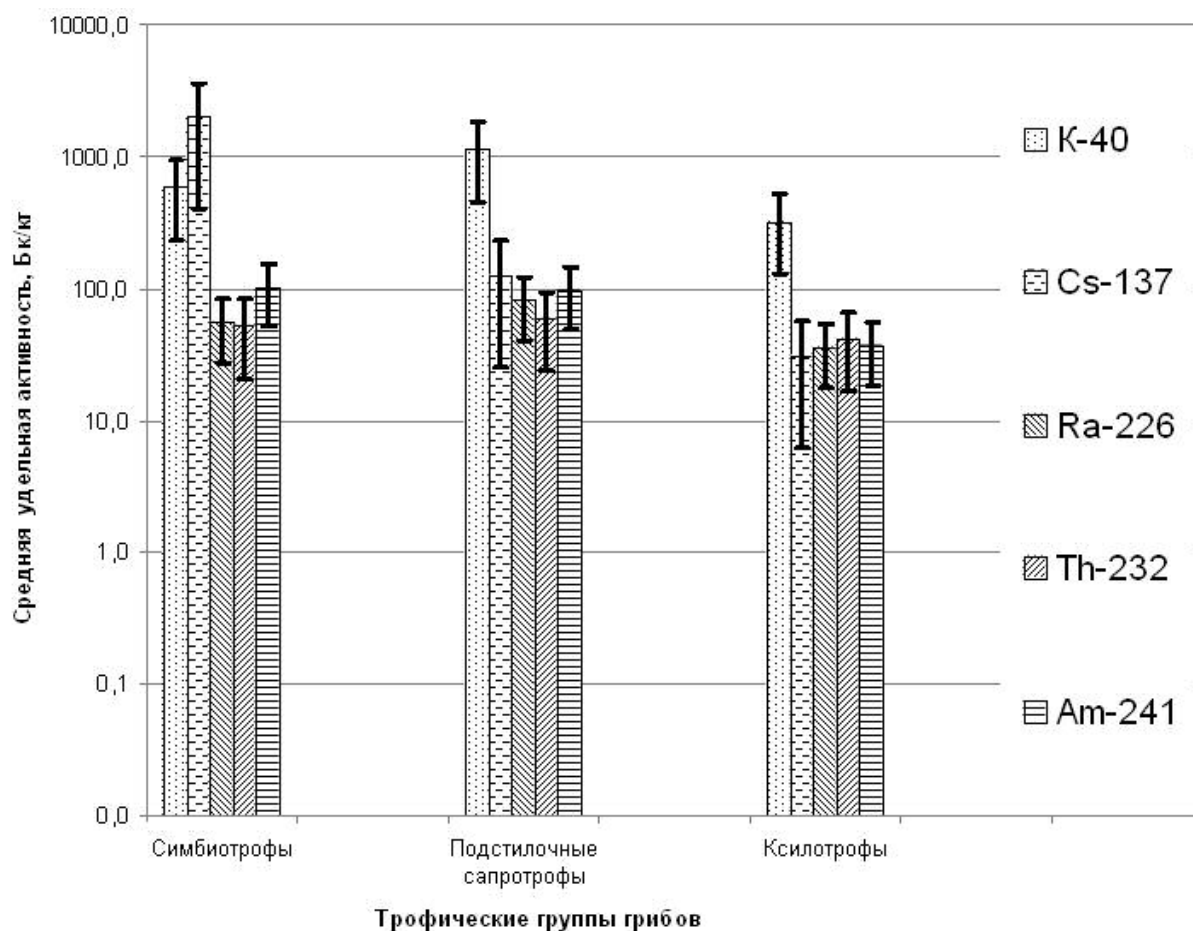


Рисунок 1 – Содержание радионуклидов в плодовых телах представителей различных трофических групп базидиомицетов

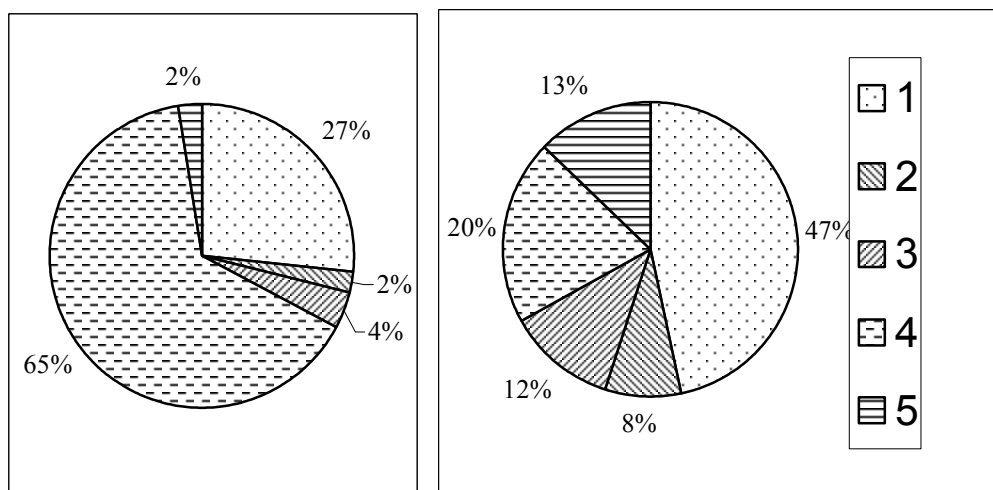
5 Рекомендации по заготовке и употреблению грибов в пищу

При употреблении в пищу грибы могут представлять опасность не только в отношении отравления, но и в отношении радиационного поражения. ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th являются природными изотопами, к их присутствию в биосфере живые организмы и люди, в том числе, адаптированы в процессе эволюции. Однако, грибы, являясь биоконцентраторами, способны накапливать радиоактивные вещества в количествах, превышающих их содержание в окружающей среде.

Природный радиационный фон съедобных грибов в среднем равен 730,8 Бк/кг (^{40}K - 623,4 Бк/кг ^{226}Ra - 52,2 Бк/кг, ^{232}Th - 94,6 Бк/кг). За счет ^{137}Cs

(1521,0 Бк/кг) и ^{241}Am (56,1 Бк/кг) общий фон увеличен до 2346,3 Бк/кг, т.е. в 3 раза. Ухудшение экологической обстановки способно повысить естественный радиационный фон и, как следствие, увеличить содержание нуклидов в грибах. Помимо этого, в результате аварий на атомных объектах, испытаний ядерного оружия, захоронения ядерных отходов в круговорот веществ могут включаться искусственные радионуклиды, вносящие свой вклад в общий фон. Аккумуляция грибами этих «дополнительных» радионуклидов будет усугублять опасность для здоровья населения в результате употребления в пищу грибных блюд. В плодовых телах свинушки тонкой, польского гриба, зеленушки, развивающихся в условиях природных экосистем, содержание ^{137}Cs превышает допустимый уровень в 2500 Бк/кг воздушно-сухой массы, регламентируемый СанПиН 2.3.2.1280-03 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» (34304,3 Бк/кг, 6183,7 Бк/кг и 3428,0 Бк/кг соответственно). В плодовых телах дубовика крапчатого, чаги, польского гриба и рядовки фиолетовой содержание ^{241}Am превышает 100 Бк/кг (149,2; 123,0; 115,7 и 106 Бк/кг соответственно), что согласно РДУ-99 «Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде» (Республика Беларусь) считается предельно допустимой концентрацией для этого изотопа.

На рисунке 2 представлено процентное соотношение удельной активности ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{241}Am в плодовых телах исследованных съедобных грибов и субстрате. В исследованных грибах основной вклад в общий радиационный фон принадлежит ^{137}Cs - 65 %, это значение будет уменьшаться с каждым годом, по мере распада данного нуклида. Еще 2 % добавляет ^{241}Am , его распад будет протекать очень медленно, учитывая его огромный (почти 500 лет) период полураспада. И лишь 24 % составляет доля естественных нуклидов; их распад растянется на тысячелетия.



1 – ^{40}K , 2 - ^{226}Ra , 3 - ^{232}Th , 4 - ^{137}Cs , 5 - ^{241}Am

Рисунок 2 – Процентное соотношение удельной активности ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{241}Am в плодовых телах исследованных съедобных грибов (слева) и их субстрате (справа)

На основании приведенных результатов исследованные съедобные грибы Пензенской области можно подразделить на три группы:

1. Грибы, безопасные в радиационном отношении (не накапливают ^{137}Cs и ^{241}Am , слабо аккумулируют или не адсорбируют ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th). В эту группу входят опенок осенний, лисичка настоящая, груздь настоящий, волнушка розовая, подгруздок белый, вешенка рожковидная, трютовик чешуйчатый и трютовик серно-желтый;

2. Грибы, относительно безопасные в радиационном отношении (слабо аккумулируют ^{137}Cs или ^{241}Am , величина коэффициента накопления не превышает 3, также слабо адсорбируют ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th). Из наиболее употребляемых видов к ним можно отнести подосиновик желто-бурый, подберезовик обыкновенный, масленок зернистый и масленок поздний;

3. Грибы, особо опасные в радиационном отношении (помимо ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th , аккумулируют ^{137}Cs и ^{241}Am в значительных количествах): свинушка тонкая, польский гриб, зеленушка, сыроежка светло-желтая, козляк и паутинник желтый. Эти виды не следует употреблять в пищу.

Выводы

1. Радионуклидный состав плодовых тел высших грибов разных видов, развивающихся в сходных условиях природных экосистем, существенно различается. Значение удельной активности для исследуемых видов по ^{40}K находится в интервале от 170,0 Бк/кг до 1844,0 Бк/кг; по ^{137}Cs от 5,8 Бк/кг до 34304,3 Бк/кг; по ^{226}Ra от 13,8 Бк/кг до 57,8 Бк/кг; по ^{232}Th от 10,0 Бк/кг до 81,4 Бк/кг; по ^{241}Am от 13,3 Бк/кг до 648,3 Бк/кг. В первую очередь это зависит от биологических особенностей представителей отдельных видов, среди которых выявлены виды-накопители изученных радионуклидов.

2. Для исследуемой территории дождевик грушевидный, мухомор красный, сыроежка светло-желтая и подгруздок черный могут служить биоиндикаторами антропогенно завышенного содержания в лесных экосистемах ^{40}K ; паутинник желтый, козляк и сыроежка селедочная – ^{226}Ra ; паутинник желтый, трутовик Швейнитца и трутовик чешуйчатый – ^{232}Th ; в условиях загрязнения ^{137}Cs зеленушку, козляк, польский гриб и сыроежку светло-желтую можно использовать как виды-индикаторы указанного нуклида; зеленушку, сыроежку светло-желтую, паутинник желтый, польский гриб и рядовку фиолетовую можно применять в качестве биоиндикаторов ^{241}Am в случае загрязнения среды таким изотопом.

3. Способность к накоплению изученных радиоактивных элементов грибами по-разному выражена у представителей различных эколого-трофических групп.

Ксилотрофы по средним значениям аккумулируют все рассмотренные радионуклиды в наименьшей степени по сравнению с другими трофическими группами (средние значения: ^{40}K – 323,2 Бк/кг, ^{226}Ra – 35,3 Бк/кг, ^{232}Th – 41,4 Бк/кг, ^{137}Cs – 31,2 Бк/кг, ^{241}Am – 36,9 Бк/кг).

Среди исследованных эколого-трофических групп симбиотрофы в среднем обладают наибольшей способностью к аккумуляции искусственных радионуклидов (средние значения: ^{137}Cs – 1997,3 Бк/кг, ^{241}Am – 103,1 Бк/кг).

По средним значениям накопления естественных радионуклидов (средние значения: ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th) выделяются подстилочные сапротрофы (^{40}K – 1140,1 Бк/кг, ^{226}Ra – 80,3 Бк/кг, ^{232}Th – 58,5 Бк/кг).

4. В плодовых телах некоторых видов съедобных базидиомицетов, развивающихся в условиях природных экосистем, содержание ^{137}Cs превышает предельно допустимую концентрацию в 2500 Бк/кг воздушно-сухой массы, регламентируемый требованиями ряда нормативных документов (свинушка тонкая - 34304,3 Бк/кг, польский гриб – 6183,7 Бк/кг, зеленушка - 3428,0 Бк/кг). Согласно исследованиям Щеглова А.Ю., проводившимся в Брянской и Тульской областях, свинушка тонкая и польский гриб также являются лидерами в накоплении ^{137}Cs в этих регионах. Аналогичные данные получены белорусскими исследователями.

5. В плодовых телах дубовика крапчатого, чаги, польского гриба и рядовки фиолетовой содержание ^{241}Am превышает 100 Бк/кг (149,2; 123,0; 115,7 и 106 Бк/кг соответственно), по ряду нормативных документов эта величина считается предельно допустимой концентрацией для этого изотопа.

6. При 5 %-ном уровне значимости результатов работы интервал доверительной вероятности в подавляющем числе случаев равен $\pm 2\sigma$, где σ - стандартное отклонение. Такие точностные характеристики оказались возможными благодаря использованию высокочувствительной аппаратуры и применению разработанного алгоритма анализа гамма-спектров.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Плотников, М.А. К вопросу о накоплении тяжелых металлов, радионуклидов и мышьяка плодовыми телами базидиальных макромицетов/ А.И. Иванов, А.В. Скобанев, А.А. Костычев, М.А. Плотников // «Современная микология в России» – М., 2008. – с. 254.

2. Плотников, М.А. Эколого-биологические особенности гриба *Thelephora terrestris* и возможности его использования как индикатора загрязнения окружающей среды/ А.И. Иванов, А.В. Скобанев, М.А. Плотников // «Мониторинг природных экосистем» – Пенза, 2008. – с. 81–83.

3. Плотников, М.А. Накопление радионуклидов плодовыми телами базидиальных макромицетов в условиях Пензенской области/ О.А. Барсуков, А.И. Иванов, М.А. Плотников // «Высшие базидиальные грибы: индивидуумы, популяции, сообщества» - М., 2008. - с. 182.

4. Плотников, М.А. Проблема накопления радионуклидов плодовыми телами съедобных грибов в условиях Пензенской области/ О.А. Барсуков, А.И. Иванов, М.А. Плотников // «Образование, наука, практика: инновационный аспект» – Пенза, 2008. - с. 53.

5. Плотников, М.А. К вопросу о накоплении искусственных радиоактивных элементов (^{137}Cs и ^{241}Am) базидиальными макромицетами различных трофических групп/ А.И. Иванов, М.А. Плотников// «Изучение грибов в биогеоценозах» - Пермь, 2009. – с. 91-93.

6. Плотников, М.А. Проблема накопления радионуклидов и тяжелых металлов дереворазрушающими грибами, использующимися в качестве лекарственного сырья/ А.И. Иванов, А.В. Скобанев, М.А. Плотников// «Имунопатология аллергология инфектология» – 2009, № 2, – с. 176–177.

7. Плотников, М.А. Проблема накопления радионуклидов лекарственными грибами в лесных сообществах Пензенской области/ О.А. Барсуков, А.И. Иванов, М.А. Плотников// «Нива Поволжья», 2011, № 2, - с. 105-109.

8. Плотников, М.А. Радиоактивность съедобных грибов Пензенской области/ О.А. Барсуков, А.И. Иванов, М.А. Плотников// «Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского», 2011, № 25.

Благодарности

Автор выражает сердечную благодарность научным руководителям О.А. Барсукову и А.И. Иванову за внимательное руководство, а также Н.А. Череватовой, Д.С. Катукосу и И.Ю. Теплому за поддержку и помощь.