

**На правах рукописи**

**ДЕМЕНТЬЕВ ДМИТРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ  
РАДИОНУКЛИДОВ НЕКОТОРЫМИ ВИДАМИ ГРИБОВ И  
КУСТАРНИКОВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ  
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ**

03.00.16 – Экология

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Красноярск – 2007

Работа выполнена в Институте естественных и гуманитарных наук ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» и в лаборатории радиоэкологии Института биофизики СО РАН

Научный руководитель: доктор биологических наук,  
Болсуновский Александр Яковлевич

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,  
доцент, профессор ИЕиГН СФУ  
Гаевский Николай Александрович

кандидат геолого-минералогических наук,  
Коваленко Виталий Владимирович

Ведущая организация: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Защита диссертации состоится 24 октября 2007 года в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета К 212.099.02 при ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института естественных и гуманитарных наук ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ сентября 2007 года.

Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
к.б.н., доцент

Г.Н. Скопцова

## Общая характеристика работы

**Актуальность.** Деятельность человека, связанная с использованием делящихся материалов, привела к появлению и накоплению в природе элементов и их изотопов, ранее в ней несуществующих. Районы, попавшие под воздействие предприятий ядерного топливного цикла, а также подвергшиеся загрязнению в результате аварий и испытаний ядерного оружия, характеризуются повышенной концентрацией техногенных радионуклидов. Среди территорий, подвергшихся загрязнению, значительную часть занимают лесные массивы. Радионуклиды, выброшенные в атмосферу, при испытании оружия или аварий, в результате гравитационного осаждения или с осадками выпадают на поверхность деревьев, травяного покрова и почву. После этого начинается процесс перераспределения радионуклидов в экосистеме. В результате перераспределения радионуклидов, наибольшая их концентрация наблюдается в грибах, как активных аккумуляторов тяжёлых металлов и радионуклидов.

На территории Красноярского края радиационная обстановка в большинстве населённых пунктов определяется естественным радиационным фоном и радиоактивным глобальным загрязнением окружающей среды техногенными радионуклидами. Кроме того, на неё оказывает влияние радиоактивное загрязнение поймы р. Енисей и локальное загрязнение незатапливаемых территорий, связанное с деятельностью Горно-химического комбината (ГХК) Росатома. Имеющиеся сведения о накоплении радионуклидов в лесных экосистемах этих районов носят отрывочный характер и относятся главным образом к изучению загрязнения древесных растений, как основного объекта лесопользования. Другие компоненты лесных экосистем, в частности грибы и кустарники, могут более интенсивно накапливать радионуклиды. Потребление лесной продукции, содержащей техногенные радионуклиды, может обуславливать дополнительную дозовую нагрузку на человека.

**Цель и задачи исследований.** Целью диссертационной работы является оценка интенсивности накопления техногенных радионуклидов грибами и кустарниками в лесных экосистемах Красноярского края в зоне влияния Горно-химического комбината Росатома. Для достижения поставленной цели необходимо было решить ряд задач:

1. Определить радионуклидный состав почв районов исследования и оценить долю миграционно-подвижных форм техногенных радионуклидов;
2. Определить интенсивность накопления радионуклидов различными видами грибов и выбрать вид-биоиндикатор;
3. Для вида-биоиндикатора провести исследование распределения радионуклидов в разных частях плодового тела гриба, изучить распределение радионуклидов по форме связывания в плодовом теле;
4. Определить интенсивность накопления радионуклидов различными видами кустарников и распределение радионуклидов по компонентам кустарников;
5. Провести сравнительный анализ интенсивности накопления радионуклидов в системах «почва-гриб» и «почва-кустарник»;

6. Оценить возможную дозу облучения населения при употреблении грибов и ягод, собранных на изучаемой территории.

**Научная новизна работы.** Для территории Красноярского края в зоне влияния ГХК впервые проведён сравнительный анализ накопления техногенных радионуклидов грибами и ягодными кустарниками и выявлены виды-биоиндикаторы (грибы *Suillus granulatus* (L.: Fr.) Roussel и *Suillus luteus* (L.: Fr.) Roussel). Впервые обнаружено, что максимальный уровень содержания  $^{137}\text{Cs}$  в грибах *Suillus granulatus* и *Suillus luteus* превышает установленные нормативы. На основе сопоставления содержания радионуклидов в разных частях кустарников показано, что некоторые части растений, в частности ягоды, также могут быть концентраторами  $^{137}\text{Cs}$ , а листья –  $^{90}\text{Sr}$ . Впервые проведены сравнительные исследования накопления техногенных радионуклидов в лесных экосистемах как с аэрозольным, так и с водным источником поступления радионуклидов. Ранее большинство проведённых исследований изучало поведение радионуклидов в лесных экосистемах, загрязнённых в результате только аэрозольных выпадений (авария на ЧАЭС, ядерные испытания и т.п.). Для исследуемых грибов и растений Красноярского края впервые показана недостаточность аналоговой модели в описании накопления  $^{137}\text{Cs}$ . Рассчитаны дозы внутреннего облучения населения за счёт потребления грибов и ягод, собранных на территории Красноярского края в зоне действия ГХК.

**Достоверность результатов.** Достоверность полученных результатов основывается на достаточном объёме материала и его обработки методами математической статистики, применением современной измерительной базы. За время исследований отобрано и проанализировано 416 проб объектов лесных экосистем (почва, грибы, ягодные кустарники).

**Практическая значимость работы.** Результаты исследований могут быть использованы с целью оптимизации радиоэкологического мониторинга на территориях в зоне влияния ГХК г. Железногорска. Материалы исследований могут быть использованы при разработке рекомендаций для населения при употреблении в пищу грибов и ягод, собранных на территории загрязнённой радионуклидами, и прогноза дозовых нагрузок на население. Полученные данные могут быть включены в курсы лекций по «Радиоэкологии» и использованы для проведения практических занятий.

**Личный вклад автора.** Автором диссертационной работы выполнены полевые исследования по отбору проб окружающей среды (почва, грибы, растительность), подготовлены к спектрометрическим и радиохимическим анализам исследуемые образцы, проведены измерения содержания радионуклидов в пробах, рассчитаны коэффициенты накопления радионуклидов в системах «почва-грибы» и «почва-растения», сформулированы основные положения и выводы.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Различный радионуклидный состав и уровень загрязнения почв исследуемых территорий Красноярского края вследствие разных путей поступления радионуклидов (аэрозольный и водный) приводит к концентрированию радионуклидов в отдельных видах грибов и растений.

2. Для исследуемой территории грибы *Suillus granulatus* и *Suillus luteus* могут служить биоиндикаторами радиоактивного загрязнения лесных экосистем. Некоторые части ягодных кустарников *Ribes nigrum* и *Rubus idaeus*, в частности ягоды, также могут быть концентраторами  $^{137}\text{Cs}$ , а листья –  $^{90}\text{Sr}$ .

3. Рассчитанные коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  организмами в системах «почва-гриб» и «почва-растение» свидетельствуют, что аналоговый механизм накопления  $^{137}\text{Cs}$  грибами и растениями не всегда выполняется.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследований докладывались и обсуждались на X Всероссийской студенческой научной конференции «Экология и проблемы защиты окружающей среды» (Красноярск, 2003); X Всероссийской научной конференции студентов физиков и молодых ученых (Москва, 2004); XLII международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» (Новосибирск, 2004); научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых-физиков НКСФ-2004, 2005, 2007 (Красноярск, 2004, 2005, 2007); II Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» (Томск, 2004); III международной научно-практической конференции «Физико-технические проблемы атомной энергетики и промышленности» (Томск, 2005); IX Международной школе-конференции студентов и молодых учёных «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий» (Абакан, 2005); на V съезде по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность) (Москва, 2006); IV международной научно-практической конференции Медицинские и экологические проблемы ионизирующего излучения (Томск, 2007).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликованы 13 печатных работ, в том числе 2 статьи и 11 тезисов и материалов конференций различного уровня.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, 6 глав и выводов, изложенных на 100 страницах машинописного текста, иллюстрированных 10 рисунками и 31 таблицами. Список литературы содержит 102 наименования, из них 59 на иностранных языках.

## Глава 1. Обзор литературы

В главе представлены данные по накоплению техногенных радионуклидов грибами и растениями из районов, подвергшихся загрязнению в результате аварии на ЧАЭС, испытаний на Семипалатинском полигоне и доступные данные для Красноярского края. Опубликованные результаты исследований по накоплению радионуклидов грибами и растениями демонстрируют, что, несмотря на десятилетия, в течение которых ведутся эти работы, до сих пор нет какого-либо общего объяснения накопления радионуклидов грибами и растениями. Колебания в приводимых уровнях интенсивности накопления радионуклидов достигают одного–трёх порядков (Щеглов, 1999; Gillett, Crout, 2000). Даже в пределах одного района, в зависимости от локальных условий произрастания, накопление радионуклидов может изменяться в несколько раз. Однако всё же можно выделить основные

факторы, влияющие на накопление радионуклидов грибами и растениями, – это видовая принадлежность и уровень загрязнения почв радионуклидами (Stranberg, 1994; Короткова, 2000). При прочих равных условиях, удельная активность радионуклида в данном виде гриба или растения будет линейно увеличиваться с увеличением удельной активности радионуклида в почве.

Ситуация по накоплению радионуклидов в лесных экосистемах Красноярского края в зоне влияния ГХК практически не изучалась. Известна только одна публикация по накоплению радионуклидов грибами в зоне действия ГХК, в которой приведены единичные значения по накоплению радионуклидов грибами на расстоянии до 250 км ниже сброса ГХК (Носов, Мартынова, 1996). Исследования по накоплению радионуклидов растениями ограничиваются древесными растениями, как основного объекта лесопользования (табл. 1).

Таблица 1

Содержание  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в отдельных структурных частях берёзы, осины и ивы в зоне влияния ГХК (по Руденко, 2003)

Структурная часть	$^{90}\text{Sr}$ , Бк/кг	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг
Берёза		
Древесина	6,30	1,51
Кора	19,80	2,60
Листья	27,21	4,32
Осина		
Древесина	2,37	1,41
Кора	20,98	10,97
Листья	31,01	13,13
Ива		
Древесина	5,41	2,65
Кора	19,58	4,74
Листья	13,91	9,91

Вместе с тем, на основании литературных данных, можно предположить, что при существующих уровнях загрязнения почв на некоторых участках поймы реки Енисей (Носов, Мартынова, 1996; Болсуновский и др., 1999; Сухоруков и др., 2004) накопление техногенных радионуклидов в грибах и ягодных кустарниках может превышать установленные нормативы и создавать дополнительную дозовую нагрузку на население при употреблении такой продукции в пищу.

## Глава 2. Материалы и методы исследования

Объектами исследований в лесных экосистемах центральной части Красноярского края стали почва, 12 видов грибов и 5 видов ягодных кустарников (табл. 2). Пробы отбирали в следующих основных районах, находящиеся в зоне возможного влияния радиоактивных выбросов ГХК: «Железногорск» – около г. Железногорска, «Атаманово» – около с. Атаманово

и «Б. Балчуг» – в окрестностях с. Б. Балчуг. В районе сёл Атаманово и Б. Балчуг пробы отбирали как на незатапливаемых участках, так и на участках поймы реки Енисей, подверженных затоплению во время сильных паводков. Радиоактивное загрязнение незатапливаемых участков обусловлено только аэрозольными выбросами ГХК, а затапливаемых – водными сбросами радионуклидов ГХК, в том числе через загрязнённые радионуклидами донные отложения. В окрестностях г. Красноярска проводили отбор контрольных проб. Исследования проводились с 2002 по 2006 гг.

Таблица 2

## Исследованные виды грибов и ягодных кустарников

<b>Грибы</b>	
<i>Armillaria mellea</i> (Vahl : Fr.) Kumm	Опёнок осенний
<i>Boletus edilus</i> Bull.: Fr.	Белый гриб
<i>Cantharellus cibarius</i> Fr.	Лисичка настоящая
<i>Hydnum repandum</i> L.: Fr.	Ежовик выемчатый
<i>Lactarius deliciosus</i> (L.: Fr.) S.F. Gray	Рыжик обыкновенный
<i>Lactarius resimus</i> (Fr.: Fr.) Fr.	Груздь настоящий
<i>Leccinum scabrum</i> (Bull.:Fr.) S.F. Gray	Берёзовик обыкновенный
<i>Lyophyllum gambosum</i> (Fr.) Sing	Рядовка майская
<i>Russula foetens</i> Pers.: Fr.	Валуй
<i>Russula vesca</i> Fr.	Сыроежка пищевая
<i>Suillus granulatus</i> (L.: Fr.) Roussel	Маслёнок зернистый
<i>Suillus luteus</i> (L.: Fr.) Roussel	Маслёнок поздний
<b>Кустарники</b>	
<i>Ribes hispidulum</i> (Jancz.) Pojark.	Кислица
<i>Ribes nigrum</i> L.	Смородина чёрная
<i>Rosa majalis</i> Herrm.	Шиповник
<i>Rubus idaeus</i> L.	Малина
<i>Viburnum opulus</i> L.	Калина

Во всех пробах определяли содержание  $\gamma$ -излучающих радионуклидов на  $\gamma$ -спектрометре в лаборатории радиоэкологии ИБФ СО РАН. На пойменном участке «Атаманово» в пробах *Ribes nigrum* и почвы определяли содержание  $^{90}\text{Sr}$ . Выделение и определение удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  проводили в Государственном институте по радиационной защите (Прага, Чешская Республика)

Для определения формы нахождения радионуклидов в пробах почвы и грибов использовали метод последовательного химического фракционирования. Фракционирование почвы проводили по схеме описанной Klemt et al. (2002) и Бондаревой и др. (2005). Для фракционирования грибов модифицировали схему фракционирования растений (Bolsunovsky et al., 2005)

Всего в работе было отобрано и проанализировано 416 проб (114 проб почвы, 163 пробы грибов, 139 проб ягодных кустарников), в которых было определено содержание техногенных радионуклидов и природного  $^{40}\text{K}$ .

### Глава 3. Содержание радионуклидов в почвах центральной части Красноярского края

Основным источником поступления радионуклидов в грибы и растения является почва. На исследованной территории центральной части Красноярского края можно выделить два первичных источника поступления техногенных радионуклидов в окружающую среду:

1) глобальные выпадения радионуклидов в результате испытаний ядерного оружия;

2) поступление радионуклидов в результате деятельности ГХК.

В соответствии с вышеотмеченными источниками, исследуемые участки были разделены на фоновый – «Красноярск», загрязнённый только в результате глобальных аэрозольных выпадений; участки «Атаманово (село)», «Б. Балчуг», «Железногорск», загрязнённые как в результате глобальных выпадений, так и возможных аэрозольных выбросов ГХК; и пойменные участки р. Енисей ниже сброса ГХК («Атаманово (остров)» и «Балчуг (берег)») с водным путём поступления техногенных радионуклидов.

Результаты лабораторных спектрометрических исследований содержания радионуклидов в верхнем 10 см слое почв с аэрозольным источником поступления нуклидов на исследованных участках представлены в табл. 3. Из техногенных радионуклидов здесь зарегистрирован только  $^{137}\text{Cs}$ . Его удельная активность в почвах в зоне ГХК в два – три раза превышает фоновое значение участка «Красноярск» и достигает 100 Бк/кг.

Таблица 3

Удельная активность радионуклидов в пробах почв с аэрозольным источником поступления

Район отбора	$^{40}\text{K}$ , Бк/кг		$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	
	среднее	max	среднее	max
«Атаманово (село)»	380	410	83	100
«Б. Балчуг»	420	440	63	95
«Железногорск»	430	470	40	64
«Красноярск»	470	500	25	30

Большинство исследователей, изучающих механизм поступления  $^{137}\text{Cs}$ , пришли к выводу, что он накапливается в грибах и растениях аналогично калию (Olsen, 1990; Perkinns, Gadd, 1993; White, 2000). Исходя из этой точки зрения, чтобы сравнить накопление этих элементов, в почвах было определено содержание  $^{40}\text{K}$ . Как видно из табл. 3 удельная активность  $^{40}\text{K}$  в фоновом районе «Красноярск» и на участках в зоне воздействия ГХК мало изменяется по сравнению с  $^{137}\text{Cs}$ .

В пойменных почвах участка «Атаманово (остров)»  $\gamma$ -спектрометрический анализ показал наличие:  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{155}\text{Eu}$  и  $^{241}\text{Am}$  (табл. 4). Также в этих почвах было определено содержание  $^{90}\text{Sr}$ . Такое разнообразие радионуклидов в пойменных почвах р. Енисей возникло в результате выноса донных отложений, загрязнённых радионуклидами, во время сильных паводков.



Проведённые исследования показали крайне неоднородное распределение радионуклидов в почвах участка «Атаманово (остров)». Данные табл. 4 свидетельствуют, что средняя удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в центре острова в 2,5 раза ниже, по сравнению с его береговой частью. Весь измеренный интервал содержания  $^{137}\text{Cs}$  составляет 400 – 1800 Бк/кг. Неоднородность распределения  $^{137}\text{Cs}$ , хоть и не столь значительная, наблюдается и на других участках (табл. 3). Подобная же неоднородность распределения характерна и для других техногенных радионуклидов.

Таблица 4

Удельная активность радионуклидов в пробах почв «Атаманово (остров)»

Нуклид	Берег		Центр	
	среднее, Бк/кг	max, Бк/кг	среднее, Бк/кг	max, Бк/кг
$^{40}\text{K}$	440	500	540	620
$^{60}\text{Co}$	100	160	28	39
$^{90}\text{Sr}$	19	26	–	–
$^{137}\text{Cs}$	1300	1800	520	650
$^{152}\text{Eu}$	270	400	130	250
$^{154}\text{Eu}$	41	64	17	26
$^{155}\text{Eu}$	6,5	12	5,1	8,4
$^{241}\text{Am}$	17	25	6,8	16

Из всего запаса радионуклидов в почвах, грибами и растениями может усваиваться только та часть, которая находится в почвенном растворе или может перейти в этот раствор (Horrill et al. 1990; Desmet et al. 1991; Schell et al. 1996; Mytennaere et al. 1993; Tikhomirov et al. 1993). С помощью последовательного химического фракционирования была определена доля подвижных радионуклидов в почвах, которая потенциально может усваиваться организмами. По результатам фракционирования получено, что более 90%  $^{137}\text{Cs}$  в почве находится в фиксированном состоянии. Для  $^{60}\text{Co}$  и  $^{152}\text{Eu}$  доли подвижной и фиксированной части примерно одинаковы (рис. 1).

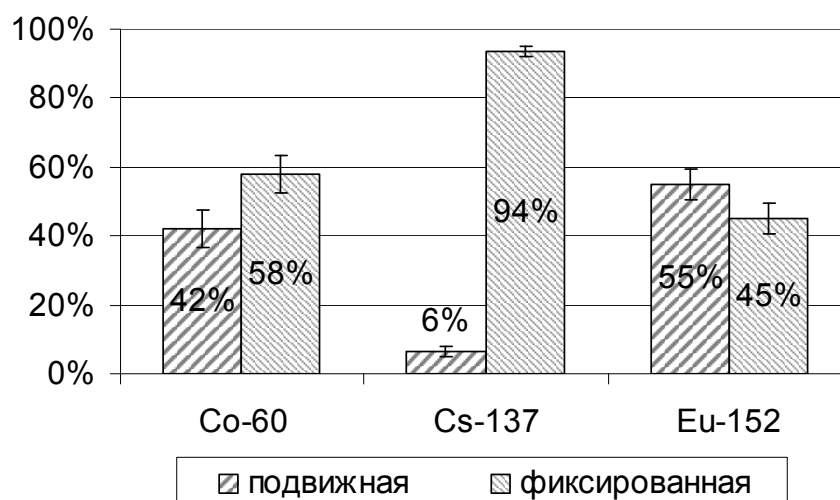


Рис. 1. Подвижность техногенных радионуклидов по результатам химического фракционирования почв участка «Атаманово (остров)»

#### Глава 4. Накопление радионуклидов грибами в лесных экосистемах Красноярского края

Гамма-спектрометрический анализ проб плодовых тел 12-ти видов макромицетов, собранных на изучаемой территории, показал наличие во всех образцах техногенного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  (табл. 5). Для плодовых тел грибов не выявлено накопление других техногенных радионуклидов, хотя, как уже отмечалось, в пойменных почвах присутствуют также радиоизотопы  $\text{Co}$ ,  $\text{Eu}$  и  $\text{Am}$ .

Одним из основных факторов, определяющих накопление  $^{137}\text{Cs}$  грибами, является их видовая принадлежность. Согласно ранее опубликованным данным (Щеглов, 1999), межвидовые вариации накопления  $^{137}\text{Cs}$  грибами максимальны среди других компонентов лесных экосистем и достигают одного–двух, а по отдельным определениям – трёх порядков. Так для грибов, собранных в районе «Железногорск», удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  колеблется от 3,6 Бк/кг в рядовке майской до 300 Бк/кг сухой массы в маслёнке зернистом (табл. 5). Среди макромицетов, принадлежащих к разным трофическим группам, наибольшее содержание  $^{137}\text{Cs}$  оказалось в микоризообразователях, что соотносится с данными, полученными другими исследователями (Щеглов, 1999; Guillitte et al., 1994; Barnett et al., 1999). Из изученных видов грибов наименьшая удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  оказалась в грузде настоящем, рядовке майской, сыроежке пищевой и опёнке осеннем – до 8 Бк/кг сухой массы.

Маслёнок зернистый и маслёнок поздний оказались видами, наиболее накапливающими  $^{137}\text{Cs}$  и широко распространёнными на данной территории. Вместе с тем между ними не было выявлено достоверных различий в накоплении  $^{137}\text{Cs}$ , поэтому оба эти вида были выбраны нами в качестве биоиндикаторов загрязнения лесных почв  $^{137}\text{Cs}$ .

Из полученных данных следует, что даже в пределах одного района удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в плодовых телах грибов может отличаться в несколько раз. Все это ещё раз подтверждает «пятнистый» характер загрязнения территорий. Средняя удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в маслёнке зернистом из районов, подверженных только аэрозольным радиоактивным выбросам ГХК, в 2–4 раза выше содержания  $^{137}\text{Cs}$  в грибах контрольного района «Красноярск». Для проб маслёнка зернистого и маслёнка позднего из района, с водным источником поступления  $^{137}\text{Cs}$  «Атаманово (остров)», максимальная удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в пробах достигает 10200 Бк/кг (табл. 5), что превышает установленный нормативами предел по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  в 2500 Бк/кг («Гигиенические...», 2002) и является потенциально опасным при потребления таких грибов в пищу населением.

Для определения возможного концентрирования радионуклидов в различных частях гриба мы исследовали распределение радионуклидов в шляпках и ножках гриба. Удельная активность  $^{40}\text{K}$  несколько выше в шляпках, по сравнению с ножками маслёнка. Однако эта разница статистически недостоверна для проб из разных районов (средняя доля  $^{40}\text{K}$  в шляпках составляет  $53,8 \pm 3,3\%$ , а в ножках –  $46,2 \pm 3,3\%$  от всей активности  $^{40}\text{K}$  в грибе). Накопление  $^{137}\text{Cs}$  в шляпках маслёнка оказалось выше, чем в ножках, несмотря на то, что калий считается аналогом цезия. Эта закономерность

зарегистрирована нами как для грибов из фонового района «Красноярск», так и для грибов из района «Б. Балчуг (берег)», где удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в шляпках достигает 1700 Бк/кг, а в ножках только 800 Бк/кг. Накопление  $^{137}\text{Cs}$  в шляпках грибов в 1,7–2,3 раза выше, чем в ножках и может быть объяснено тем, что ножки выполняют проводящую функцию.

Таблица 5

Удельная активность  $\gamma$ -излучающих радионуклидов в пробах грибов, отобранных в разных районах вблизи ГХК (2002-2005 гг.)

Вид	$^{40}\text{K}$ , Бк/кг	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	
	среднее	среднее	max
«Атаманово (село)»			
Маслёнок зернистый	1200	170	304
Берёзовик обыкновенный	1440	17	22
Рыжик обыкновенный	1000	28	34
Валуй	2280	37	37
Груздь настоящий	1300	1,1	1,1
Сыроежка пищевая	1740	6,8	7,4
Лисичка настоящая	3320	14	14
Опёнок осенний	1960	7,6	7,6
«Атаманово (остров)»			
Маслёнок зернистый	1110	4000	5800
Маслёнок поздний	1100	5200	10200
Берёзовик обыкновенный	2050	620	620
Рыжик обыкновенный	930	1250	1380
«Б. Балчуг (село)»			
Маслёнок зернистый	1360	230	360
Маслёнок поздний	1420	210	270
Берёзовик обыкновенный	1520	42	55
Ежовик выемчатый	2670	350	350
«Б. Балчуг (берег)»			
Маслёнок зернистый	1450	340	370
Маслёнок поздний	970	1700	1800
Рыжик обыкновенный	1070	54	54
«Железногорск»			
Маслёнок зернистый	1290	180	325
Сыроежка пищевая	1660	7,5	11
Белый гриб	1330	10	10
Рядовка майская	1320	3,6	3,6
«Красноярск»			
Маслёнок зернистый	1350	53	130
Сыроежка пищевая	2270	8,1	8,1

Для определения формы нахождения радионуклидов в биомассе грибов использовали метод последовательного химического фракционирования. По результатам фракционирования проб биомассы маслёнка зернистого и маслёнка позднего в плодовых телах грибов наибольшая доля  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  (табл. 6) находится в обменно-адсорбционной фракции (от 56 до 71% общего содержания радионуклида). В органической фракции содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  варьирует от 23 до 37%, в минеральном остатке до 6%. Исследования показали, что  $^{137}\text{Cs}$  по фракциям распределяется аналогично своему аналогу  $^{40}\text{K}$ . Нами не было выявлено различия в распределении  $^{137}\text{Cs}$  в грибах, собранных в районах с разными источниками поступления  $^{137}\text{Cs}$  (аэрозольный источник для всех районов и водный источник  $^{137}\text{Cs}$  для участка «Атаманово (остров)»). Несмотря на то, что накопленная активность  $^{137}\text{Cs}$  в пробах грибов изменялась на 2 порядка (от 2 до 250 Бк на пробу сырых грибов), это не повлияло на относительное распределение  $^{137}\text{Cs}$  по фракциям. Данное распределение показывает, что менее 6% Cs находится в фиксированном состоянии и большая его часть после отмирания плодового тела быстро станет доступной для усвоения другими организмами.

Таблица 6

Распределение радионуклидов по форме нахождения в грибах на участках с аэрозольным и водным поступлением радионуклидов

Вид	Район отбора	Фракция*	$^{137}\text{Cs}$		$^{40}\text{K}$	
			А, Бк	%	А, Бк	%
Маслёнок зернистый	«Атаманово (село)»	I+II	6,9±0,5	63	37±4	56
		III	3,4±0,3	31	25±3	38
		IV	0,62±0,06	6	3,9±0,4	6
	«Красноярск»	I+II	1,7±0,2	69	43±4	72
		III	0,62±0,09	25	14±2	23
		IV	0,14±0,05	6	3,1±0,4	5
Маслёнок поздний	«Атаманово» (село)	I+II	1,0±0,1	66	25±2	69
		III	0,51±0,06	34	11±1	31
		IV	–	–	–	–
	«Атаманово (остров)»	I+II	154±8	61	28±5	58
		III	88±5	35	18±2	37
		IV	10,3±0,9	4	2,5±0,5	5

Примечание: \* – I+II – обменно-адсорбционная; III – органическая; IV – минеральный остаток.

Интенсивность переноса радионуклидов из почвы в грибы характеризует коэффициент накопления (КН), который равен отношению удельной активности радионуклида в грибе (Бк/кг) к удельной активности радионуклида в почве (Бк/кг)

Литературные данные (Vinichuk, Johanson, 2003), а также собственные наблюдения позволяют сделать вывод, что в маслёнок поступление радиоцезия

происходит из поверхностного слоя почвы. Поэтому для расчёта КН  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в плодовые тела грибов использовали активность радионуклида в поверхностном 10 см слое для различных районов отбора проб. Как было показано в гл. 3 загрязнение почв имеет пятнистый характер, поэтому чтобы КН адекватно описывал поступление радионуклидов в грибы для его расчёта были использованы удельные активности проб почвы, отобранные вблизи места сбора грибов.

Рассчитанный в работе диапазон значений КН  $^{40}\text{K}$  для маслёнка (табл. 7) составляет 2,7–3,3 (среднее  $3,0\pm 0,3$ ). Содержание  $^{40}\text{K}$  мало изменялось как в верхнем слое почвы, так и в плодовом теле маслят из разных районов. Коэффициент накопления  $^{137}\text{Cs}$  для большинства районов, загрязнённых только в результате аэрозольных выпадений  $^{137}\text{Cs}$ , изменяется от 2,7 до 3,4 (среднее значение  $3,0\pm 0,3$ ). При этом абсолютное содержание  $^{137}\text{Cs}$  в грибах увеличивается линейно с увеличением содержания  $^{137}\text{Cs}$  в почве. Для проб маслят из районов с водным источником поступления  $^{137}\text{Cs}$  в почву отмеченная выше линейность в накоплении  $^{137}\text{Cs}$  нарушается. Так, по сравнению с другими близлежащими районами, активность  $^{137}\text{Cs}$  в пробах поверхностного слоя почвы в центре участка «Атаманово (остров)» увеличивается в 6 раз – до 650 Бк/кг (табл. 4), а содержание  $^{137}\text{Cs}$  в маслёнке увеличивается в 34 раза – до 10200 Бк/кг (табл. 5).

Таблица 7

Коэффициенты накопления (КН)  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в грибах с участков с аэрозольным и водным источниками поступления радионуклидов

Поступление РН	Место отбора	КН $^{40}\text{K}$	КН $^{137}\text{Cs}$
Аэрозольное	«Атаманово (село)»	2,7	3,0
	«Б. Балчуг (село)»	3,3	2,9
	«Железногорск»	3,2	3,4
	«Красноярск»	2,9	2,7
Средний КН		3,0	3,0
Водное	«Б. Балчуг (берег)»	2,1	4,7
	«Атаманово (остров)»	2,0	10–16

В качестве возможных объяснений полученных высоких значений КН  $^{137}\text{Cs}$  для маслят на участке «Атаманово (остров)» можно предположить, что, во-первых, с увеличением содержания цезия в почве выше некоторого значения нелинейно возрастает накопление цезия в плодовых телах грибов, во-вторых, в поверхностном слое почвы существуют микроучастки с повышенным содержанием цезия (Сухоруков и др., 2004), по сравнению с основным слоем. Эти микроучастки почвы могут состоять из илов или отмерших структур компонентов лесной экосистемы с повышенным содержанием цезия. И, в-третьих, также возможно действие других неучтённых нами факторов.

## Глава 5. Радионуклиды в ягодных кустарниках Красноярского края

Накопление радионуклидов в кустарниковом ярусе изучали в компонентах надземной фитомассы малины, чёрной смородины, кислицы, шиповника и калины. На всех исследованных участках в растениях содержится  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$  (табл. 8). В пробах с пойменных почв в надземной фитомассе зафиксированы также  $^{60}\text{Co}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , накопление других техногенных радионуклидов не было выявлено.

Таблица 8

Уровни накопления радионуклидов ягодными кустарниками  
на исследованных участках

Вид	Часть	$^{40}\text{K}$ , Бк/кг		$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг		$^{60}\text{Co}$ , Бк/кг	
		среднее	max	среднее	max	среднее	max
Калина	Ветки	–	–	–	–	–	–
	Листья	–	–	–	–	–	–
	Ягода	370	410	10	13	–	–
Кислица	Ветки	200	230	7,6	12	1,0	1,7
	Листья	1090	1200	27	48	4,8	8,4
	Ягода	680	770	4,6	11	–	–
Малина	Ветки	290	610	4,9	33	1,7	1,7
	Листья	560	760	10	51	1,6	2,4
	Ягода	500	680	15	36	–	–
Смородина чёрная	Ветки	210	310	8,7	34	0,65	1,3
	Листья	400	680	17	48	1,9	4,8
	Ягода	510	730	22	64	–	–
Шиповник	Ветки	120	150	3,2	14	–	–
	Листья	430	510	7,8	27	–	–
	Ягода	470	580	6,5	34	–	–

Уровни накопления радионуклидов растениями, по сравнению с грибами, на 2–3 порядка ниже. Ниже и межвидовые вариации накопления радионуклидов. Из табл. 8, в которой представлены средние и максимальные уровни накопления радионуклидов ягодными кустарниками, видно, что в разных видах ягодных кустарников накопление  $^{137}\text{Cs}$  отличается не более чем в 2 раза, в то время как для грибов межвидовые различия накопления радиоцезия на тех же участках достигают 2 порядков (табл. 5).

Виды малины и смородины характеризуются повышенным накоплением радионуклидов, особенно в ягодах, поэтому они были выбраны для более детального изучения. Исследование проб кустарников с участка «Атаманово (остров)» с водным источником поступления радионуклидов показало наличие в них следующих радионуклидов: природного  $^{40}\text{K}$  и техногенных  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ; накопление других техногенных радионуклидов не зафиксировано (табл. 9).  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  накапливаются во всех компонентах кустарников,  $^{60}\text{Co}$  – только в

листьях и ветвях. Концентрирование  $^{137}\text{Cs}$  наблюдается в ягодах и листьях. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в ягодах достигает 64 Бк/кг, в листьях она не превышает 51 Бк/кг. Для всех видов прослеживается 2-3 кратное различие между листьями и ветками в накоплении радионуклидов, что можно объяснить проводящей функцией ветвей в период активной вегетации. В корнях растений обнаружен тот же спектр радионуклидов, что и в почве.

На участках только с аэрозольным поступлением радионуклидов «Атаманово (село)», «Б. Балчуг (село)», «Железногорск» и «Красноярск» из техногенных радионуклидов обнаружен только  $^{137}\text{Cs}$ , причем содержание радиоцезия либо находилось на пределе обнаружения, либо не фиксировалось вовсе.

Таблица 9

Накопление радионуклидов ягодными кустарниками на участке «Атаманово (остров)» с водным источником поступления, Бк/кг

	РН	Смородина		Малина	
		среднее	max	среднее	max
Ветки	$^{40}\text{K}$	204	309	160	161
	$^{90}\text{Sr}$	11	15	–	–
	$^{60}\text{Co}$	0,8	1,7	–	1,7
	$^{137}\text{Cs}$	13	34	11	33
Листья	$^{40}\text{K}$	620	1100	480	630
	$^{90}\text{Sr}$	45	60	–	–
	$^{60}\text{Co}$	2,8	8,4	1,6	2,4
	$^{137}\text{Cs}$	29	48	17	51
Ягода	$^{40}\text{K}$	486	607	416	452
	$^{90}\text{Sr}$	–	3,8	–	–
	$^{60}\text{Co}$	–	–	–	–
	$^{137}\text{Cs}$	23	64	17	36
Корни	$^{40}\text{K}$	170	290	90	113
	$^{90}\text{Sr}$	–	16	–	–
	$^{60}\text{Co}$	10	24	9	24
	$^{137}\text{Cs}$	80	210	50	120
	$^{152}\text{Eu}$	22	70	18	36
	$^{154}\text{Eu}$	6,7	18	–	7
	$^{241}\text{Am}$	2,6	10	0,9	1,5

Накопление небиогенных элементов обычно объясняют, используя аналоговую модель, подразумевая сходство поведения нуклида с каким-то биогенным элементом в организме. В частности считается, что накопление  $^{137}\text{Cs}$  в растениях происходит аналогично калию (White, 2000). Для проверки этой теории в пробах, помимо техногенных радионуклидов, проводили определение содержания  $^{40}\text{K}$ , как показателя накопления калия.

Показателем интенсивности переноса радионуклидов из почвы в растения является коэффициент накопления, который рассчитывается аналогично КН для грибов. На рис. 2 показаны КН  $^{40}\text{K}$  для различных структурных компонент кустарников для участков только с аэрозольным поступлением радионуклидов (а) и водным поступлением радионуклидов (б). Видно что характер накопления калия в разных условиях произрастания одинаков и порядок значений КН на уровне 1. Рассчитанные КН для  $^{137}\text{Cs}$  (рис. 3) на порядок ниже и лежат в диапазоне в от 0,01 до 0,03, то есть в этом случае аналоговая модель не может объяснить накопление цезия.

Из рис. 3 видно, что КН  $^{137}\text{Cs}$  для одних и тех же структурных частей видов на участках с разным источником поступления радионуклидов близки. Наиболее интенсивно в изученных нами кустарниках накапливается  $^{90}\text{Sr}$ . В чёрной смородине КН  $^{90}\text{Sr}$  в листьях достигает 1,9, в ветвях – 0,9, в ягодах – 0,25, то есть на 2 порядка выше, чем для  $^{137}\text{Cs}$ .

По рассчитанным КН видно, что накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$  компонентами кустарников возрастает в ряду «ветки < листья ~ ягода» (рис. 3), а для  $^{90}\text{Sr}$  – в ряду «ягода < ветки < листья».

Полученные нами данные по накоплению техногенных радионуклидов ягодными кустарниками не противоречат результатами исследований других авторов. Так коэффициенты накопления  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в зелёной фитомассе малины обыкновенной в 30-км зоне ЧАЭС составляет 0,006–0,007 и 0,02–0,4 соответственно (Lux et al., 1995). Полевые эксперименты по накоплению внесённого в почву  $^{137}\text{Cs}$  ягодами малины дали схожие результаты – 0,015–0,028. Для ягод смородины средний КН  $^{137}\text{Cs}$  по данным исследований в районе Селлафилда равен 0,015 (Carini, 2001), что также совпадает с полученными нами значениями.

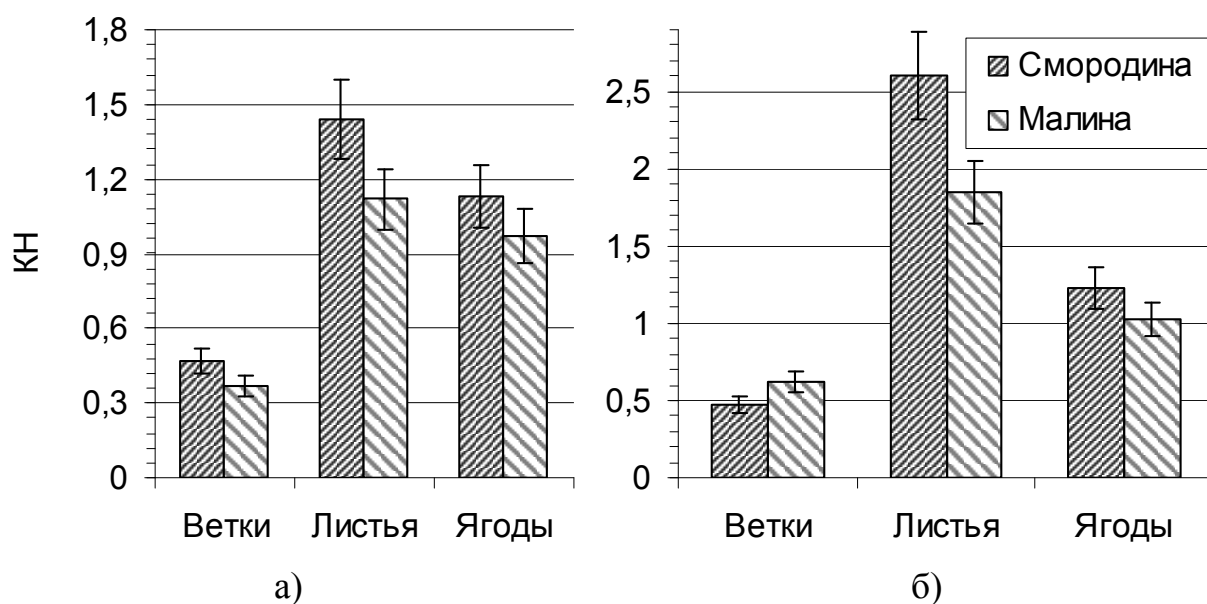


Рис. 2. Коэффициент накопления  $^{40}\text{K}$  для различных структурных компонент кустарников: а) для участков с аэрозольным поступлением техногенных радионуклидов «Атаманово (село)», «Балчуг», «Железногорск», «Красноярск»; б) для участка с водным поступлением – «Атаманово (остров)»



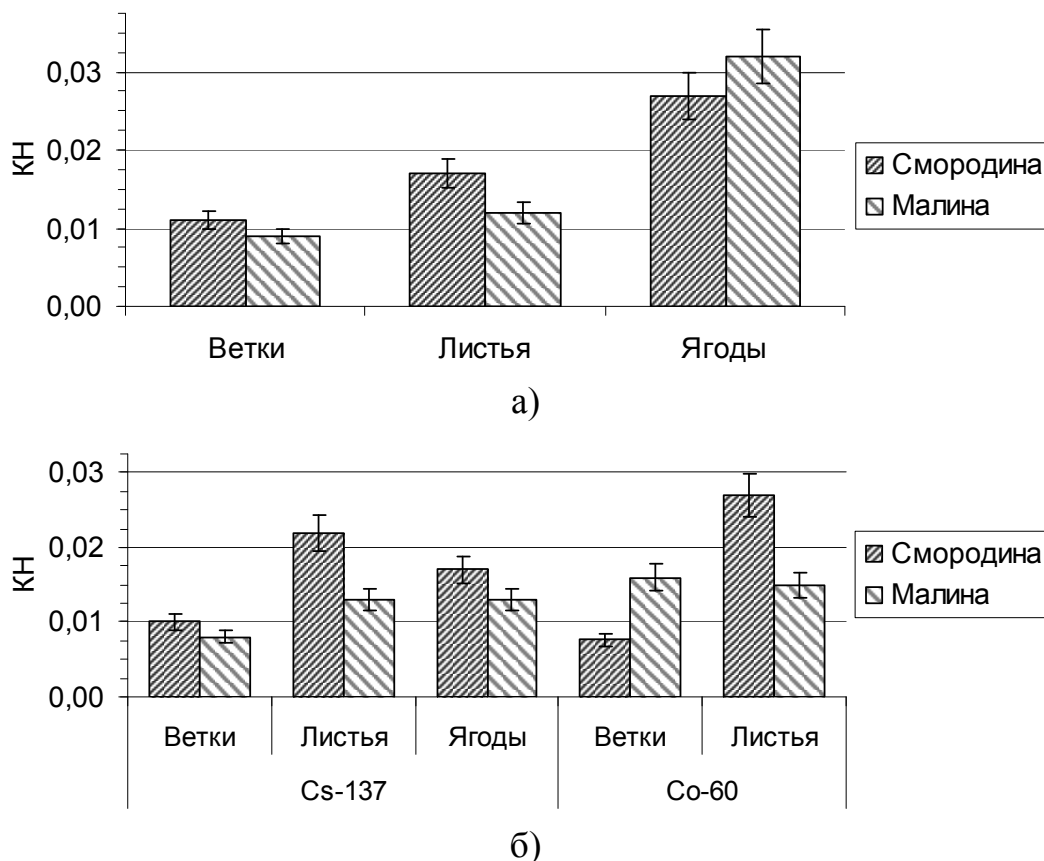


Рис. 3. Коэффициенты накопления техногенных радионуклидов для различных структурных компонент кустарников: а) КН  $^{137}\text{Cs}$  для участков с аэрозольным поступлением радионуклидов «Атаманово (село)», «Б. Балчуг», «Железногорск», «Красноярск»; б) КН  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$  для участка с водным поступлением – «Атаманово (остров)»

По результатам исследований накопления изотопов европия и америция кустарниками показано, что КН для этих нуклидов лежит в диапазоне 0,001–0,004 (Lux et al., 1995; Green et al., 1997; Carini, 2001). Это объясняет отсутствие этих радионуклидов в пробах ягодных кустарников с участка «Атаманово (остров)», так как, исходя из этих значений КН, в нашем случае удельная активность  $^{152}\text{Eu}$  и  $^{241}\text{Am}$  будет ниже предела регистрации используемой аппаратуры.

Сравнение накопления радионуклидов грибами и ягодными кустарниками показало, что содержание  $^{137}\text{Cs}$  и в грибах и кустарниках увеличивается пропорционально увеличению концентрации радионуклида в почве и коэффициентом пропорциональности является КН. Однако линейная модель накопления радионуклидов грибами нарушается на пойменных участках, на которых наблюдается возрастание коэффициента накопления  $^{137}\text{Cs}$  (табл. 10).

Сравнение коэффициентов накопления  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$  показывает (табл. 10), что накопление  $^{137}\text{Cs}$  в грибах и ягодных кустарниках нельзя объяснить, используя только аналоговую модель поступления  $^{137}\text{Cs}$ .

Из присутствующих в почве радионуклидов в грибах и ягодах интенсивно накапливается только  $^{137}\text{Cs}$ .  $^{90}\text{Sr}$  интенсивно накапливается только в

листьях кустарников, другие техногенные радионуклиды, зарегистрированные в почвах Красноярского края, накапливаются в минимальных количествах. Таким образом, грибы и ягоды являются концентраторами радиоцезия, но уровни накопления в них  $^{137}\text{Cs}$  отличаются на два порядка величины, что можно объяснить как из-за разницы в физиологии, так и возможного эффекта разбавления за счёт большей биомассы кустарников и более длинного пространственного пути поступления радионуклидов.

Таблица 10

Коэффициенты накопления (КН)  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в грибах и ягодах

	КН $^{40}\text{K}$	КН $^{137}\text{Cs}$
Маслёнок <sup>1</sup>	2,7–3,3	2,7–3,4
Маслёнок <sup>2</sup>	2–2,1	4–16
Малина (ягода) <sup>1,2</sup>	0,8–1,1	0,01–0,03
Смородина (ягода) <sup>1,2</sup>	1,0–1,3	0,02–0,03

Примечание: 1 – на участках с аэрозольным поступлением радионуклидов, 2 – на участках с водным поступлением радионуклидов.

## Глава 6. Дозовая нагрузка на население от потребления грибов и ягод

В гл. 4 было показано, что удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в маслятах на участке «Атаманово (остров)» достигает 10200 Бк/кг и превышает установленный нормативами предел в 2500 Бк/кг («Гигиенические...», 2002). В этой связи была проведена оценка возможного увеличения дозы внутреннего облучения населения при употреблении грибов и ягод. Для расчёта были взяты значения годового потребления грибов населением России в пределах от 1 до 14 кг (Strand et al., 1996; Mehli, 1998) и ягод около 10 кг в год.

Рассчитанная индивидуальная годовая эффективная доза внутреннего облучения населения от потребления грибов, собранных в районе действия ГХК достигает 150 мкЗв/год на участке с водным поступлением радионуклидов «Атаманово (остров)» (табл. 11). Это сопоставимо с дозой 200 мкЗв/год, получаемой населением при употреблении лесной продукции (грибов и ягод), в некоторых районах Брянской области, пострадавшей в результате аварии на Чернобыльской АЭС (Fesenko et al., 2000). На остальной исследованной территории Красноярского края вклад потребления грибов в годовую дозу не превысит 4,8 мкЗв/год.

Рассчитанная доза внутреннего облучения населения при потреблении ягод на два порядка ниже, чем при потреблении грибов. В табл. 12 представлены возможные дозы от ягод собранных только на участке «Атаманово (остров)», так как для других участков удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в ягодах составляет единицы Бк/кг и, следовательно, доза будет меньше 0,1 мкЗв.

В нормах радиационной безопасности России («Нормы ...», 1999) установлено, что годовая доза облучения населения за счёт всех источников не может превышать 1 мЗв. Исходя из этого, вклад рассчитанной возможной

эффективной годовой дозы облучения населения от употребления грибов и ягод, собранных на исследованной территории Красноярского края, не превышает 15% для грибов и 0,1% для ягод от предела годовой дозы облучения населения.

Таблица 11

Индивидуальная годовая эффективная доза, получаемая населением при потреблении маслят

Место сбора	Среднее <sup>1</sup> <sup>137</sup> Cs, Бк/кг	D <sup>2</sup> , мкЗв/год		Max <sup>1</sup> <sup>137</sup> Cs, Бк/кг	D <sup>2</sup> , мкЗв/год	
		min	max		min	max
«Атаманово (село)»	160	0,20	2,4	304	0,38	4,5
«Атаманово (остров)»	5200	6,5	77	10200	12,7	150
«Железногорск»	180	0,22	2,7	325	0,41	4,8
«Красноярск»	53	0,07	0,8	130	0,16	1,9

Примечание: 1 – средняя и максимальная удельная активность <sup>137</sup>Cs в маслятах; 2 – индивидуальная годовая эффективная доза при минимальном (min) и максимальном (max) употреблении маслят.

Таблица 12

Индивидуальная годовая эффективная доза при употреблении ягод, собранных на участке «Атаманово (остров)»

	Max* <sup>137</sup> Cs, Бк/кг	D, мкЗв/год
Малина	36	0,8
Смородина	64	1,4

Примечание: \* – максимальная удельная активность <sup>137</sup>Cs в ягодах.

## Выводы

1. На исследованной территории центральной части Красноярского края в зоне влияния ГХК содержание техногенных радионуклидов в почве имеет неоднородный характер. На участках с аэрозольным поступлением радионуклидов в зоне ГХК в почвах из техногенных радионуклидов обнаружен только <sup>137</sup>Cs, удельная активность которого в два–три раза превышает фоновое значение участка «Красноярск» и достигает 100 Бк/кг. В пойменных почвах районов с водным источником поступления радионуклидов обнаружен более широкий спектр радионуклидов: <sup>60</sup>Co, <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, <sup>152</sup>Eu, <sup>154</sup>Eu, <sup>155</sup>Eu, <sup>241</sup>Am и при этом содержание <sup>137</sup>Cs возрастает более чем на порядок (до 1800 Бк/кг). С помощью последовательного химического фракционирования проб почв показано, что из всего валового содержания радионуклидов в почвах, для усвоения грибами и растениями доступно не более 10% <sup>137</sup>Cs, около 50% <sup>60</sup>Co и <sup>152</sup>Eu.

2. В исследованных 12 видах грибов из техногенных радионуклидов, присутствующих в почвах Красноярского края, накапливается только <sup>137</sup>Cs, для которого наблюдается ярко выраженная видовая зависимость и видовые

различия в уровнях накопления достигают двух порядков величины (от 1-3 Бк/кг до 325 Бк/кг). Из отобранных видов, биоиндикативные свойства проявляют грибы *Suillus granulatus* и *Suillus luteus*, между которыми не выявлено достоверного различия в накоплении  $^{137}\text{Cs}$ .

3. Для видов-биоиндикаторов характерно на порядок большее накопление  $^{137}\text{Cs}$ , чем для других исследованных видов грибов. На отдельных участках удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в *Suillus granulatus* и *Suillus luteus* достигает 10200 Бк/кг, что превышает установленный нормативами предел в 2500 Бк/кг. Исследование возможного концентрирования  $^{137}\text{Cs}$  в частях плодовых тел *Suillus granulatus* и *Suillus luteus* показало, что удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в шляпках в 1,7–2,3 раза выше, чем в ножках, что свидетельствует о проводящей функции ножек. При определении степени связывания  $^{137}\text{Cs}$  с биомассой *Suillus granulatus* и *Suillus luteus* установлено, что  $^{137}\text{Cs}$  в них распределяется аналогично  $^{40}\text{K}$ . Менее 6% радионуклидов накопленных грибами находится в фиксированной форме и, следовательно, при отмирании плодового тела большая часть  $^{137}\text{Cs}$  быстро станет доступной для усвоения другими организмами. Эта закономерность справедлива для грибов, собранных в районах с разными источниками поступления  $^{137}\text{Cs}$ .

4. В исследованных районах с аэрозольными выпадениями  $^{137}\text{Cs}$  абсолютное содержание этого радионуклида в *Suillus granulatus* и *Suillus luteus* увеличивается линейно с увеличением содержания  $^{137}\text{Cs}$  в почвах, при этом средние значения коэффициентов накопления для  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  совпадают. Данная закономерность нарушается для проб грибов, собранных в районах с водным источником поступления  $^{137}\text{Cs}$  в почву, где значения коэффициента накопления  $^{137}\text{Cs}$  возрастают более чем в 5 раз.

5. В изученных 5 видах ягодных кустарников в надземной фитомассе, из всего спектра техногенных радионуклидов, определённых в почвах Красноярского края, в растениях накапливаются  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Максимальными уровнями накопления радионуклидов характеризуются *Rubus idaeus* и *Ribes nigrum*, в биомассе которых интенсивность накопления радионуклидов в структурных компонентах возрастает для  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в ряду «ветки<листья~ягода», для  $^{90}\text{Sr}$  – «ягода<ветки<листья».

6. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в ягодных кустарниках увеличивается пропорционально с увеличением концентрации радионуклида в почве, в то же время коэффициент накопления  $^{137}\text{Cs}$  на два порядка ниже значения коэффициента накопления  $^{40}\text{K}$ , что означает невыполнимость аналоговой модели накопления  $^{137}\text{Cs}$  ягодными кустарниками.

7. Проведённый сравнительный анализ накопления техногенных радионуклидов в лесных экосистемах Красноярского края показал, что в грибах и ягодах интенсивно накапливается только  $^{137}\text{Cs}$ , радионуклид  $^{90}\text{Sr}$  интенсивно накапливается только в листьях кустарников, поступление других радионуклидов происходит в минимальных количествах. Таким образом, грибы и ягоды являются концентраторами  $^{137}\text{Cs}$ , но уровни накопления в них  $^{137}\text{Cs}$  отличаются на два порядка величины.

8. Рассчитанная индивидуальная годовая эффективная доза внутреннего облучения населения от потребления грибов, собранных в районе действия ГХК достигает 150 мкЗв/год на участке с водным поступлением радионуклидов и 5 мкЗв/год на участках с аэрозольным поступлением радионуклидов. Вклад рассчитанной эффективной годовой дозы внутреннего облучения населения от употребления грибов и ягод, собранных на территории Красноярского края в зоне влияния ГХК, не превышает 15% для грибов и 0,1% для ягод от установленного предела годовой дозы облучения населения.

### **Список работ, опубликованных автором по теме диссертации**

1. Дементьев Д.В. Исследование накопления гамма-излучающих радионуклидов грибами произрастающих вблизи Красноярска / Д.В. Дементьев // Экология и проблемы защиты окружающей среды: Тез. докл. X Всероссийская студенческая науч. конф. 24-26 апреля 2003. – Красноярск, 2003. – С. 137.

2. Дементьев Д.В. Исследование накопления гамма-излучающих радионуклидов грибами / Д.В. Дементьев, А.Я. Болсуновский // Вестник КрасГУ. Естественные науки. – 2004. – №7. – С. 130-134.

3. Дементьев Д.В. Изучение накопления радионуклидов грибами произрастающих вблизи Красноярска / Д.В. Дементьев // X Всероссийской научн. конф. студентов физиков и молодых ученых: Тез. докл. – М., 2004. – С. 1268.

4. Дементьев Д.В. Изучение накопления радионуклидов грибами произрастающих вблизи Красноярска / Д.В. Дементьев // Студент и научно-технический прогресс: Материалы XLII международной науч. студенческой конф. 13-15 апреля 2004. – Новосибирск, 2004. – С. 141.

5. Дементьев Д.В. Изучение накопления радионуклидов грибами, произрастающих вблизи Красноярска / Д.В. Дементьев // НКСФ-2004: Тез. докл. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых-физиков. 16-17 апреля 2004. – Красноярск, 2004. – С. 63.

6. Дементьев Д.В. Исследование накопления гамма-излучающих радионуклидов грибами / Д.В. Дементьев, А.Я. Болсуновский, Л.Г. Бондарева // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы II международной конф. 18-22 октября 2004. – Томск, 2004. – С. 186-189.

7. Дементьев Д.В. Оценка накопления техногенных радионуклидов грибами в зоне влияния красноярского Горно-химического комбината / Д.В. Дементьев // НКСФ-2005: Тез. докл. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых-физиков. 22-23 апреля 2005. – Красноярск, 2005. – С. 118.

8. Дементьев Д.В. Оценка накопления техногенных радионуклидов грибами и растениями в зоне влияния ГХК г. Железногорска / Д.В. Дементьев, А.Я. Болсуновский // Физико-технические проблемы атомной энергетики и промышленности: Тез. докл. III международной научно-практической конференции. 7-8 июня 2005. – Томск, 2005. – С. 153.

9. Дементьев Д.В. Загрязнение техногенными радионуклидами компонентов лесных экосистем в зоне влияния Горно-химического комбината (г. Железногорск) / Д.В. Дементьев // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий. – 2005. – №9, Т. II. – С. 51.

10. Болсуновский А.Я. Оценка накопления техногенных радионуклидов грибами в зоне влияния красноярского Горно-химического комбината / А.Я. Болсуновский, Д.В. Дементьев, Л.Г. Бондарева // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2006. – Т. 46, №1. – С. 67 – 74.

11. Дементьев Д.В. Радионуклиды в компонентах лесных экосистем в зоне воздействия Горно-химического комбината (г. Железногорск) / Д.В. Дементьев, А.Я. Болсуновский // V съезд по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность): Тез. докл. 10-14 апреля 2006. – Москва, 2006. – 2006. – Т. II. – С. 99.

12. Дементьев Д.В. Накопление радионуклидов кустарниками в 30-км зоне Горно-химического комбината / Д.В. Дементьев, А.Я. Болсуновский // Медицинские и экологические проблемы ионизирующего излучения: Материалы IV международной науч.-практич. конф. 11-12 апреля 2007. – Томск, 2007. – С. 155.

13. Дементьев Д.В. Накопление радионуклидов ягодными кустарниками в 30-км зоне ГХК / Д.В. Дементьев // НКСФ-2007: Тез. докл. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых-физиков. 13-14 апреля 2007. – Красноярск, 2007. – С. 119.