

Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в пищевых продуктах лесного происхождения Брянской области

К.В. Шилова

ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург

Настоящая работа посвящена анализу закономерностей накопления и оценке миграции ^{137}Cs и ^{90}Sr в пищевых продуктах лесного происхождения, отобранных в юго-западных районах Брянской области. Сопоставление результатов оценки степени радиоактивного загрязнения исследованных продуктов и выявление из них основных видов концентраторов и дискриминаторов ^{137}Cs и ^{90}Sr с гигиеническими требованиями безопасности и пищевой ценности продуктов позволили выяснить возможность их безопасного использования населением, проживающим на территории проведения исследований.

Ключевые слова: Брянская область, радиоактивное загрязнение пищевых продуктов лесного происхождения, радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr , радиационная безопасность, концентраторы и дискриминаторы, пищевые цепи, гигиенические требования, ПДК.

Многочисленные исследования, проводившиеся в послеварийный период на территории Брянской области, подтверждают тот факт, что в пищевых продуктах сельскохозяйственного производства величины коэффициентов перехода (КП) ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в течение первых 6 лет снижались с периодом (T_1) от 1–2 лет для ^{137}Cs и около 4 лет для ^{90}Sr , а начиная с 1991–1992 г. – с периодом (T_2) более 10–20 лет. В то же время в пищевых продуктах лесного происхождения и объектах окружающей среды заметного снижения содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в первые годы после аварии не происходило [1, 2]. В настоящее время численные значения КП для пищевых продуктов лесного происхождения на порядок выше, чем для продуктов сельскохозяйственного производства, что привело к возрастанию их вклада в формирование дозы внутреннего облучения населения.

Цель исследования

Изучить закономерности накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr пищевыми продуктами лесного происхождения для выявления основных видов концентраторов и дискриминаторов и оценки миграции исследуемых радионуклидов по пищевым цепям. С помощью полученных данных о закономерностях накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr исследуемыми продуктами определить их вклад в формирование дозы внутреннего облучения населения для отдаленного периода после аварии и дать соответствующие рекомендации по снижению этой дозы.

Материалы и методы

Для осуществления поставленной цели в течение двух лет (2008–2009 г.) проводились исследования загрязнения пищевых продуктов лесного происхождения ^{137}Cs и ^{90}Sr . Отбор проб производился в юго-западных районах Брянской области. В ходе проведения исследований были охвачены лесные участки с разными уровнями поверхностного загрязнения почвы ^{137}Cs и ^{90}Sr вблизи 48 населённых пунктов шести районов Брянской области: Гордеевского,

Злынковского, Климовского, Клинцовского, Красногорского и Новозыбковского.

В качестве объектов исследования были выбраны пищевые продукты лесного происхождения, обычно потребляемые человеком и дающие вклад в дозу его внутреннего облучения: 1 – *грибы* (класс базидиомицеты, включающий в себя 5 семейств – болетовые, лисичковые, рядовковые, свиныховые, сыроежковые, 10 родов и 19 видов); 2 – *ягоды* (класс двудольные, включает в себя семейство вересковые, состоящее из двух видов: клюква и черника); 3 – *рыба* (озёрная, речная); 4 – *дичь* (заяц, утка); 5 – *лекарственные растения* (класс двудольные, включающий в себя 7 семейств – астровые, вересковые, гречишные, зверобойные, кипрейные, розоцветные, яснотковые, 11 родов и 13 видов).

В результате проведённых исследований нами было отобрано и проанализировано 285 проб пищевых продуктов лесного происхождения из которых: 213 проб – на содержание ^{137}Cs , 71 проба – на содержание ^{90}Sr . Отбор проб пищевых продуктов лесного происхождения для анализа радиологических показателей проводили по методике отбора и обработки проб пищевых продуктов природного происхождения, почвы и лесной подстилки в полевых условиях [3] и по аттестованной в установленном порядке методике выполнения измерений [4]. По окончании экспедиционных работ в лабораторных условиях велась предварительная подготовка отобранного материала к определению удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr . Определение удельной активности ^{137}Cs в отобранном материале проводили гамма-спектрометрическим методом на сцинтилляционном гамма-спектрометре NKS с датчиком NaI, размером 100×100 мм, с колодцем объёмом 200 см³. Минимальная детектируемая активность (МДА) установки составляет 3 Бк на пробу при времени измерения 1 час [4]. С помощью радиохимического метода оксалатного осаждения с использованием альфа-бета-радиометра для изме-

рений малых активностей УМФ-2000 определяли удельную активность ^{90}Sr . Измерения ^{137}Cs на УМФ-2000 с подготовкой образцов по сурьмяно-йодидной методике проводились в том случае, если его активность в отобранных образцах была меньше минимально измеряемой активности (МДА) гамма-спектрометра [5].

В качестве параметра, характеризующего величины накопления и оценки миграции радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в исследуемые пищевые продукты лесного происхождения, был выбран коэффициент перехода (КП, м²/кг), равный отношению удельной активности радионуклидов в исследуемом сыром продукте (Бк/кг) к средней поверхностной активности их на почве лесного массива (кБк/м²), где были собраны эти продукты. Данные о средних значениях КП ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в пищевые продукты лесного происхождения представлены в таблице 1.

Анализ результатов исследования пищевых продуктов лесного происхождения, непосредственно дающих вклад в дозу внутреннего облучения населения и отобранных на обследованных участках вблизи 48 населённых пунктов

шести районов Брянской области, показал, что величины удельной активности, а соответственно и КП ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в различные виды грибов варьируют в широких пределах. Этот факт определяется их разной способностью к накоплению радионуклидов, в зависимости от поверхностной активности радионуклида в почве, её агрохимических свойств, расположением мицелия в системе «подстилка – почва», типа питания и биологического вида отбираемого гриба. Например, минимальное значение удельной активности ^{137}Cs в грибах семейства *болетовые* отличается от максимального значения данной величины в 220 раз, а ^{90}Sr – в 160 раз. В семействе *болетовые* может концентрироваться до 1300 Бк/кг ^{137}Cs и до 14 Бк/кг ^{90}Sr , а средние значения КП ^{137}Cs и ^{90}Sr в этом семействе составляют 7,0 и $1,4 \cdot 10^{-3}$ м²/кг соответственно. Уменьшение КП ^{137}Cs в исследованных видах семейства *болетовые* происходит в следующем порядке: козляк > польский гриб > моховик желтомясный > подберезовик > масленок обыкновенный > подосиновик, а ^{90}Sr : масленок обыкновенный > подосиновик > моховик желтомясный > козляк > польский гриб.

Таблица 1

Средние значения коэффициентов перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в пищевые продукты лесного происхождения и объекты окружающей среды (сырой вес), отобранные на территории Брянской области в период 2008–2009 гг., КП•10⁻³ (м²/кг)

№ п/п	Исследуемые продукты	Число проб $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$	$\Delta\text{КП } ^{137}\text{Cs} \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$				$\Delta\text{КП } ^{90}\text{Sr} \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$			
			Сред. арифм.	Ст. откл.	Min.	Max.	Сред. арифм.	Ст. откл.	Min.	Max.
1.	Грибы:									
1.1.	Семейство болетовые (<i>Boletaceae</i>)									
1.1.1.	Подберезовик обыкновенный (<i>Leccinium scabrum</i>)	5/5	4,9	9,1	0,05	21	0,15	0,19	0,02	0,49
1.1.2.	Подосиновик жёлто-бурый (<i>Leccinium aurantiacum</i>)	2/2	0,85	0,05	0,05	0,12	2,2	3,1	0,03	4,5
1.1.3.	Козляк (<i>Suillus bovinus</i>)	1/1	19	–	19	19	1,5	–	1,5	1,5
1.1.4.	Масленок обыкновенный (<i>Suillus luteus</i>)	3/3	2,3	2,2	0,09	4,5	2,3	3,7	0,08	6,5
1.1.5.	Моховик желтомясный (<i>Xerocomus chrysenteron</i>)	3/3	6,7	6,1	0,90	13	1,7	2,3	0,23	4,3
1.1.6.	Польский гриб (<i>Xerocomus badius</i>)	1/1	8,9	–	8,9	8,9	0,44	–	0,44	0,44
1.2.	Семейство лисичковые (<i>Cantharelaceae</i>)									
1.2.1.	Лисичка настоящая (<i>Cantharellus cibarius</i>)	4/3	1,7	1,4	0,37	3,6	0,29	–	0,29	0,29
1.3.	Семейство рядовковые (<i>Tricholomataceae</i>)									
1.3.1.	Говорушка синопика (<i>Clitocube sinopica</i>)	2/1	6,1	8,6	0,02	12	0,37	–	0,37	0,37
1.3.2.	Зеленушка (<i>Tricholoma auratum</i>)	2/2	17	12	8,6	30	1,4	1,7	0,27	2,6
1.3.3.	Опёнок жёлто-красный (<i>Armillaria rutilans</i>)	1/1	0,39	–	0,39	0,39	0,24	–	0,24	0,24
1.3.4.	Опёнок осенний настоящий (<i>Armillaria mellea</i>)	1/1	1,3	–	1,3	1,3	0,006	–	0,006	0,006
1.3.5.	Рядовка белая (<i>Tricholoma partentosum</i>)	3/2	3,8	5,6	0,55	10	0,15	0,09	0,10	0,26
1.4.	Семейство свинуховые (<i>Paxillaceae</i>)									
1.6.1.	Свинушка толстая (<i>Tapinella atrotomentosa</i>)	2/2	14	17	2,0	26	0,18	0,09	0,11	0,24
1.5.	Семейство сыроежковые (<i>Russulaceae</i>)									
1.7.1.	Волнушка розовая (<i>Lactarius torminosus</i>)	1/1	0,06	–	0,06	0,06	4,0	–	4,0	4,0
1.7.2.	Горькушка (<i>Lactarius rufus</i>)	4/3	26	11	11	36	27	54	0,004	110
1.7.3.	Груздь чёрный (<i>Lactarius turpis</i>)	4/4	1,2	0,96	0,04	2,3	0,17	0,13	0,005	0,31
1.7.4.	Рыжик (<i>Lactarius deliciosus</i>)	30/30	12	15	0,44	65	–	–	–	–
1.7.5.	Скрипица (<i>Lactarius vellereus</i>)	1/1	0,12	–	0,12	0,12	0,13	–	0,13	0,13
1.7.6.	Сыроежка (<i>Russula</i>)	9/3	5,0	2,4	0,37	7,5	22	–	22	22
2.	Ягоды:									
2.1.	Семейство вересковые (<i>Ericaceae</i>)									
2.1.1.	Клюковка (<i>Vaccinium oxycocis</i>)		37	–	37	37	–	–	–	–
2.1.2.	Черника (<i>Vaccinium myrtillus</i>)		4,5	3,4	0,26	13	–	–	–	–

№ п/п	Исследуемые продукты	Число проб ¹³⁷ Cs/ ⁹⁰ Sr	ΔКП ¹³⁷ Cs • 10 ⁻³ м ² /кг				ΔКП ⁹⁰ Sr • 10 ⁻³ м ² /кг			
			Сред. арифм.	Ст. откл.	Min.	Max.	Сред. арифм.	Ст. откл.	Min.	Max.
3.	Рыба:									
3.1.	Рыба озёрная	1/1	0,45	–	0,45	0,45	0,07	–	0,07	0,07
3.2.	Рыба речная	6/0	0,28	0,32	0,02	0,81	–	–	–	–
4.	Дичь:									
4.1.	Утка (<i>Anatidae</i>)	3/0	2,4	1,642	0,61	3,80	–	–	–	–
4.2.	Зяц (<i>Lepus europaeus</i>)	1/0	10	–	10	10	–	–	–	–
5.	Лекарственные растения:									
5.1.	Семейство астровые (<i>Asteraceae</i>)									
5.1.1.	Пижма обыкновенная (<i>Tanacetum vulgare</i> L.)	1/1	0,17	–	0,17	0,17	4,5	–	4,5	4,5
5.1.2.	Тысячелистник обыкновенный (<i>Achillea Millefolium</i>)	1/1	0,11	–	0,11	0,11	3,2	–	3,2	3,2
5.2.	Семейство вересковые (<i>Ericaceae</i>)									
5.2.1.	Брусника (лист) (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.)	1/1	1,7	–	1,7	1,7	31	–	31	31
5.2.2.	Черника (куст) (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	2/2	0,39	0,14	0,38	0,40	6,1	4,0	3,3	9,0
5.3.	Семейство гречишные (<i>Polygonaceae</i>)									
5.3.1.	Щавель кислый (<i>Rumex acetosa</i> L.)	2/2	0,19	0,15	0,08	0,29	4,3	5,6	0,32	8,3
5.4.	Семейство зверобойные (<i>Hypericaceae</i>)									
5.4.1.	Зверобой продырявленный (<i>Hypericum perforatum</i>)	2/2	0,37	0,33	0,12	0,54	16	17	5,0	27
5.5.	Семейство кипрейные (<i>Onagraceae</i>)									
5.5.1.	Кипрей (<i>Epilobium parviflorum</i> Schreb.)	1/1	0,32	–	0,32	0,32	44	–	44	44
5.6.	Семейство розоцветные (<i>Rosaceae</i>)									
5.6.1.	Дикие груши (<i>Pyrus</i> L.)	1/1	0,04	–	0,04	0,04	0,38	–	0,38	0,38
5.6.2.	Дикие яблоки (<i>Malus</i> L.)	2/2	0,46	0,52	0,09	0,82	0,31	0,21	0,16	0,45
5.6.3.	Ежевика (лист) (<i>Rubus fruticosus</i> L.)	1/1	0,65	–	0,65	0,65	32	–	32	32
5.6.4.	Земляника (лист) (<i>Fragaria vesca</i> L.)	3/4	0,29	0,30	0,06	0,63	23	28	1,2	63
5.6.5.	Малина (лист) (<i>Rubus idaeus</i> L.)	2/2	0,52	0,69	0,03	1,01	26	6,5	21	30
5.7.	Семейство яснотковые (<i>Lamiaceae</i>)									
5.7.1.	Тимьян обыкновенный (Чабрец – <i>Thymus vulgaris</i> L.)	3/3	1,0	1,3	0,25	2,5	28	23	2,1	46

В семействе *свиныховые* минимальное значение удельной активности отличается от максимального значения данной величины в 3 раза для ¹³⁷Cs и в 2 раза для ⁹⁰Sr. В данном семействе в среднем может концентрироваться до 2400 Бк/кг ¹³⁷Cs и до 0,66 Бк/кг ⁹⁰Sr. Средние значения КП ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr равны 14 и 0,18·10⁻³ м²/кг соответственно.

В семействе *рядовковые* минимальное значение удельной активности отличается от максимального значения данной величины в 32 раза для ¹³⁷Cs и в 7 раз для ⁹⁰Sr. В грибах данного семейства может концентрироваться до 2500 Бк/кг ¹³⁷Cs и до 4,0 Бк/кг ⁹⁰Sr. Средние значения КП ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr из почвы в это семейство составляют 4,8 и 0,74·10⁻³ м²/кг соответственно. Уменьшение КП ¹³⁷Cs из почвы в исследованные виды семейства рядовковые происходит в следующем порядке: зеленушка > говорушка синоника > рядовка белая > опёнок осенний настоящий > опенок желто-красный; уменьшение КП ⁹⁰Sr: зеленушка > говорушка синоника > опенок желто-красный > рядовка белая > опёнок осенний настоящий.

В семействе *сыроежковые* минимальное значение удельной активности отличается от максимального значения данной величины в 97 раз для ¹³⁷Cs и в 120 раз для ⁹⁰Sr. В грибах данного семейства может концентрироваться до 4000 Бк/кг ¹³⁷Cs и до 37 Бк/кг ⁹⁰Sr. Средние значения КП ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr составляют 7,4 и 7,8·10⁻³ м²/кг соответственно. Умень-

шение КП ¹³⁷Cs по видам в семействе сыроежковые идёт в следующем порядке: горькушка > рыжик > сыроежка > груздь чёрный > скрипица > волнушка, уменьшение КП ⁹⁰Sr: горькушка > сыроежка > волнушка > груздь чёрный > скрипица.

В семействе *лисичковые* минимальное значение удельной активности отличается от максимального значения данной величины в 5 раз для ¹³⁷Cs и в 1,5 раза для ⁹⁰Sr. В грибах данного семейства может концентрироваться до 540 Бк/кг ¹³⁷Cs и до 0,68 Бк/кг ⁹⁰Sr, а средние значения КП ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr из почвы в грибы равны 1,70 и 0,29·10⁻³ м²/кг соответственно.

Уменьшение средних значений КП ¹³⁷Cs из почвы в плодовые тела грибов в исследованных семействах происходит в следующем порядке: свиныховые > сыроежковые > болетовые > рядовковые > лисичковые, а по ⁹⁰Sr: сыроежковые > болетовые > рядовковые > свиныховые > лисичковые.

Уменьшение средних значений КП ¹³⁷Cs из почвы в исследованные грибы по видам происходит в следующем порядке: горькушка > козляк > зеленушка > свиныховка толстая > рыжик > польский гриб > говорушка синоника > моховик желтомясный > сыроежка > подберёзовик обыкновенный > рядовка белая > лисичка настоящая > опёнок осенний настоящий > груздь чёрный > маслёнок обыкновенный > опёнок желто-красный > скрипица > подосиновик желто-бурый > волнушка розовая. Порядок уменьшения средних значений КП ⁹⁰Sr следующий: горькушка > сыроежка > волнушка розовая > маслёнок обыкновенный

> подосиновик жёлто-бурый > моховик желтомясный > козляк > зеленушка > польский гриб > говорушка синопика > опёнок жёлто-красный > подберёзовик обыкновенный > свинушка толстая > лисичка настоящая > груздь чёрный > скрипица > рядовка белая > опёнок осенний настоящий.

Удельная активность ^{137}Cs в исследованных пробах клюквы достигает 7200 Бк/кг, а в чернике – 2567,40 Бк/кг. Средние значения КП изменяются в следующем порядке: клюква ($3,7 \cdot 10^{-3}$ м²/кг) > черника ($4,5 \cdot 10^{-3}$ м²/кг).

Удельная активность ^{137}Cs в исследованных пробах озёрной рыбы (сырой вес) составила 16 Бк/кг, а ^{90}Sr – 2,6 Бк/кг. В организме речной рыбы концентрация ^{137}Cs варьировала от 7,9 до 160 Бк/кг. Уменьшение средних КП ^{137}Cs из водной среды в исследуемую рыбу идёт в следующем порядке: озёрная ($0,45 \cdot 10^{-3}$ м²/кг) > речная ($0,28 \cdot 10^{-3}$ м²/кг).

Анализ результатов определения удельной активности ^{137}Cs в дичи показал, что в сыром мясе зайца может содержаться до 1553,0 Бк/кг данного радионуклида, а в мясе утки – от 400 до 640 Бк/кг. Средние значения КП в мясе дичи изменяются в следующем порядке: заяц ($10 \cdot 10^{-3}$ м²/кг) > утка ($2,4 \cdot 10^{-3}$ м²/кг).

Рассмотрение полученных нами результатов исследования лекарственных растений, используемых населением для профилактики и лечения заболеваний, показал, что средняя удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в различные виды лекарственных трав варьирует в широких пределах в зависимости от поверхностной активности почвы и биологических свойств самого растения. Например, в листьях лесных плодово-ягодных растений, отобранных по семействам на территории Брянской области, минимальное значение удельной активности ^{137}Cs отличается от максимального значения данной величины в 20 раз, а ^{90}Sr – в 23 раза. В лекарственных травах может концентрироваться до 110 Бк/кг ^{137}Cs и до 75 Бк/кг ^{90}Sr , а КП ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы составили $0,39$ и $16 \cdot 10^{-3}$ м²/кг соответственно. Уменьшение КП ^{137}Cs по видам идёт в следующем порядке: ежевика > малина > дикое яблоко > земляника > дикая груша.

Минимальное значение удельной активности ^{137}Cs в семействе вересковые отличалось от максимального значения данной величины в 2 раза, а ^{90}Sr – в 6 раз. В исследуемом семействе может концентрироваться до 220 Бк/кг ^{137}Cs и 50 Бк/кг ^{90}Sr . В исследуемое семейство может переходить $0,82 \cdot 10^{-3}$ м²/кг ^{137}Cs и $14 \cdot 10^{-3}$ м²/кг ^{90}Sr . Уменьшение КП ^{137}Cs и ^{90}Sr происходит в следующем порядке: брусничный лист > черничный куст.

В исследованных семействах астровые и кипрейные изменений в накоплении ^{137}Cs и ^{90}Sr выявить не удалось. Максимальные удельные активности ^{137}Cs в этих семействах составляют 36 Бк/кг для астровых и 61 Бк/кг для кипрейных и ^{90}Sr – 10 Бк/кг и 120 Бк/кг соответственно. В семействе астровые может переходить $0,20 \cdot 10^{-3}$ м²/кг ^{137}Cs и $3,8 \cdot 10^{-3}$ м²/кг ^{90}Sr . Уменьшение средних значений КП ^{137}Cs и ^{90}Sr в семействе астровые происходит в следующем порядке: пижма – $0,17$ и $4,5 \cdot 10^{-3}$ м²/кг > тысячелистник – $0,11$ и $3,2 \cdot 10^{-3}$ м²/кг соответственно. Среднее значение КП ^{137}Cs в семействе кипрейные составляет $0,32 \cdot 10^{-3}$ м²/кг и ^{90}Sr – $44 \cdot 10^{-3}$ м²/кг.

Минимальное значение удельной активности ^{137}Cs в семействе зверобойные отличалось от максимального значения данной величины в 6 раз, а ^{90}Sr – в 8 раз. В исследуемом семействе может концентрироваться до 85 Бк/кг ^{137}Cs

и до 57 Бк/кг ^{90}Sr . Средние значения КП ^{137}Cs и ^{90}Sr составляют $0,37$ и $16 \cdot 10^{-3}$ м²/кг соответственно.

Значения удельной активности ^{137}Cs в отдельных пробах семейства яснотковые могут различаться до 10 раз для ^{137}Cs и до 22 раз для ^{90}Sr . В исследуемом семействе может концентрироваться до 260 Бк/кг ^{137}Cs и до 92 Бк/кг ^{90}Sr . Средние значения КП ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в данное семейство составляют $1,0$ и $28 \cdot 10^{-3}$ м²/кг соответственно.

Удельная активность ^{137}Cs в отдельных пробах семейства гречишные может различаться до 6 раз для ^{137}Cs и 11 раз для ^{90}Sr . В данном семействе может концентрироваться до 68 Бк/кг ^{137}Cs и до 12 Бк/кг ^{90}Sr . Средние значения КП ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в исследуемое семейство составляют $0,19$ и $4,29 \cdot 10^{-3}$ м²/кг соответственно.

Удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr для разных семейств различается, но как ^{137}Cs , так и ^{90}Sr более всего может содержаться в семействе яснотковые.

Уменьшение КП ^{137}Cs в исследованные семейства лекарственных растений происходит в следующем порядке: розоцветные > яснотковые > вересковые > зверобойные > кипрейные > астровые > гречишные. Уменьшение КП по видам располагается в следующем порядке: брусничный лист > тимьян обыкновенный > ежевичный лист > лист малины > дикое яблоко > черничный куст > зверобой продырявленный > кипрей > земляничный лист > щавель кислый > пижма обыкновенная > тысячелистник обыкновенный > дикая груша. КП ^{90}Sr в изученных семействах уменьшаются в следующем порядке: кипрейные > яснотковые > розовые > зверобойные > вересковые > гречишные > астровые > розоцветные, по видам уменьшение идёт в следующем порядке: кипрей > ежевичный лист > брусничный лист > тимьян обыкновенный > лист малины > земляничный лист > зверобой продырявленный > черничный куст > пижма обыкновенная > щавель кислый > тысячелистник обыкновенный > дикое яблоко > дикая груша.

Исследования характера накопления и перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесные продукты природного происхождения, напрямую потребляемые человеком и непосредственно дающие вклад в дозу его внутреннего облучения, подтвердило, что наиболее накапливающими ^{137}Cs являются следующие продукты: грибы ($10 \cdot 10^{-3}$ м²/кг) > ягоды ($6,8 \cdot 10^{-3}$ м²/кг) > дичь ($4,3 \cdot 10^{-3}$ м²/кг) > лекарственные растения ($0,49 \cdot 10^{-3}$ м²/кг) > рыба ($0,25 \cdot 10^{-3}$ м²/кг) (табл. 2). Данные по средним КП ^{90}Sr имеются по следующим видам исследованных продуктов: лекарственные растения ($20 \cdot 10^{-3}$ м²/кг) > грибы ($4,0 \cdot 10^{-3}$ м²/кг) > рыба ($0,45 \cdot 10^{-3}$ м²/кг). В качестве причин, вызывающих различия в значениях КП в продукты природного происхождения разных видов, можно назвать следующие: различия свойств почв, на которых они произрастают, различия в глубине залегания и распределения по почвенному профилю корневой системы и мицелия, их физиология и свойства биохимического транспорта, а для рыбы и дичи – характер их питания.

Оценив степень радиоактивного загрязнения в исследованных продуктах лесного происхождения и выявив основные виды концентраторы и дискриминаторы ^{137}Cs и ^{90}Sr с помощью сопоставления полученных результатов с гигиеническими требованиями безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов [6], мы выяснили возможность их безопасного потребления населением, проживающим на территории проведения исследований.

Таблица 2

Средние значения удельной активности (Бк/кг) и КП ($\cdot 10^{-3}$ м²/кг) ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr из почвы в пищевые продукты лесного происхождения (сырой вес), отобранных на территории Брянской области в период 2008–2009 гг.

№ п/п	Исследуемые продукты	ΔА, Бк/кг		ΔКП $\cdot 10^{-3}$ м ² /кг	
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
1	Грибы	1900	5,8	10	4,0
2	Ягоды	1600	—*	6,8	—*
3	Рыба	52	2,6	0,25	0,45
4	Дичь	780	—*	4,3	—*
5	Лекарственные травы	120	62	0,49	20

* – радиохимического анализа не проводилось.

Анализ наблюдений и опросы местного населения показали, что сложившаяся экономическая ситуация в нашей стране привела к увеличению употребления в пищу продукции лесного происхождения, что сказалось на увеличении доз внутреннего облучения населения, проживающего на более загрязнённых территориях [7, 8]. Для того чтобы оценить возможность превышения нормативов удельной активности техногенных радионуклидов в исследуемых пищевых продуктах лесного происхождения, произрастающих на почвах с разными уровнями по-

верхностной активности ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr, мы определили, при каком уровне поверхностной активности радионуклидов на почве возможно превышение допустимых уровней удельной активности радионуклидов (СанПиН 2.3.4.1078-01) [5].

Расчёт уровня поверхностной активности радионуклидов на почве, при котором возможно превышение предельно допустимой концентрации (ПДК), осуществляется по формуле:

$$U_{\text{превышения}} [\text{кБк/м}^2] = A_{[\text{СанПиН}]} / \text{КП}_{\text{продукта}} [10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}]$$

Результаты анализа полученных значений плотности поверхностной активности почвы, выше которых могут ожидать превышения допустимых величин удельной активности в отобранных продуктах, представлены в таблице 3.

Превышения ПДК по ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr не ожидаются в следующих исследованных продуктах:

1) в грибах по ¹³⁷Cs – подосиновик жёлто-бурый, трутувик настоящий, опёнок жёлто-красный, опёнок осенний настоящий, волнушка розовая, скрипица; по ⁹⁰Sr – горькушка, сыроежка;

2) в озёрной и речной рыбе (по ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr);

3) в лекарственных растениях по ¹³⁷Cs: пижма обыкновенная, тысячелистник обыкновенный, щавель кислый, зверобой продырявленный, кипрей, лист ежевики, лист земляники, малина, тимьян обыкновенный; по ⁹⁰Sr – кипрей, лист малины.

Таблица 3

Радиационно-гигиеническая оценка соответствия пищевых продуктов лесного происхождения требованиям радиационной безопасности (СанПиН 2.3.4.1078-01) при различных уровнях поверхностной активности ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr на почве

№ п/п	Исследуемая группа продуктов	Значение КП, 10^{-3} м ² /кг		Допустимые уровни удельной активности радионуклидов, Бк/кг (ДУ)		σ, выше которых ожидаются превышение ДУ, кБк/м ²	
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
1.	Грибы:	6,0*	2,1*	500	50	84	24
1.1.	Семейство болетовые	7,0*	1,4*			72	36
1.1.1	Подберёзовик обыкновенный (<i>Leccinum scabrum</i>)	21	0,49			24	100
1.1.2	Подосиновик жёлто-бурый (<i>Leccinum aurantiacum</i>)	0,12	4,5			4200	11
1.1.3	Козляк (<i>Suillus bovinus</i>)	19	1,5			26	34
1.1.4	Маслёнок обыкновенный (<i>Suillus luteus</i>)	4,5	6,5			110	7,7
1.1.5	Моховик желтомясный (<i>Xerocomus chrysenteron</i>)	13	4,3			38	12
1.1.6	Польский гриб (<i>Xerocomus badius</i>)	9,0	0,44			56	110
1.2.	Семейство гименохетовые	4,7*	1,6*			110	31
1.2.1	Сухлянка двулетняя (<i>Coltricia perennis</i>)	8,6	2,3			58	22
1.3.	Семейство лисичковые	1,7*	0,18*			290	280
1.3.1	Лисичка настоящая (<i>Cantharellus cibarius</i>)	3,6	0,29			140	170
1.4.	Семейство полипоровые	0,05*	4,0*			10000	13
1.4.1	Трутовик настоящий (<i>Fomes fomentarius</i>)	0,06	7,1			8300	7,1
1.5.	Семейство рядовковые	4,8*	0,74*			110	68
1.5.1	Говорушка синопика (<i>Clitocube sinopica</i>)	12	0,37			42	140
1.5.2	Зеленушки (<i>Tricholoma auratum</i>)	25	2,6			20	19
1.5.3	Опёнок жёлто-красный (<i>Armillaria rutilans</i>)	0,39	0,24			1300	210
1.5.4	Опёнок осенний настоящий (<i>Armillaria mellea</i>)	1,3	0,006			390	8300
1.5.5	Рядовка белая (<i>Tricholoma</i>)	11	0,20			48	250

№ п/п	Исследуемая группа продуктов	Значение КП, 10 ⁻³ м ² /кг		Допустимые уровни удельной активности радионуклидов, Бк/кг (ДУ)		σ, выше которых ожидаются превышение ДУ, кБк/м ²	
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
1.6.	Семейство свинуховые	14*	0,20*			36	250
1.6.1.	Свинуха толстая (<i>Tapinella atrotomentosa</i>)	26	0,24			19	210
1.7.	Семейство сыроежковые	7,4*	7,8*			68	6,4
1.7.1.	Волнушка розовая (<i>Lactarius torminosus</i>)	0,06	4,0			8300	13
1.7.2.	Горькушка (<i>Lactarius rufus</i>)	35	110			15	0,46
1.7.3.	Груздь чёрный (<i>Lactarius turpis</i>)	2,3	0,31			220	160
1.7.4.	Рыжик (<i>Lactarius deliciosus</i>)	65	–			7,7	
1.7.5.	Скрипица (<i>Lactarius vellereus</i>)	0,12	0,13			4200	390
1.7.6.	Сыроежка (<i>Russula</i>)	7,5	27			67	2,3
2.	Ягоды:	6,8*	–	160	60	23	
2.1.	Семейство вересковые	0,82*	14*			200	4,2
2.1.1.	Клюква (<i>Vaccinium oxycoccos</i>)	37	–			4,3	
2.1.2.	Черника (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	13	–			12	
3.	Рыба:	0,25*	–	130	100	520	
3.1.	Рыба озёрная	0,07	0,45			1900	220
3.2.	Рыба речная	0,81	–			160	
4.	Дичь:	4,3*	–	320	100	74	
4.1.	Утка (<i>Anatidae</i>)	3,8	–			84	
4.2.	Заяц (<i>Lepus europaeus</i>)	10	–			32	
5.	Лекарственные растения:	0,48*	19*	400	200	830	10
5.1.	Семейство астровые	0,20*	3,8*			2000	52
5.1.1.	Пижма обыкновенная (<i>Tanacetum vulgare</i> L.)	0,17	4,5			2400	45
5.1.2.	Тысячелистник обыкновенный (<i>Achillea Millefolium</i>)	0,11	3,3			3600	63
5.2.	Семейство вересковые	0,82*	14*				
5.2.1.	Брусника (лист) (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.)	1,7	31			490	14
5.2.2.	Черника (куст) (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	0,40	9,0			240	6,5
5.3.	Семейство гречишные	0,19*	4,3*			1000	22
5.3.1.	Щавель кислый (<i>Rumex acetosa</i> L.)	0,29	8,3			2100	47
5.4.	Семейство зверобойные	0,33*	16*			1400	24
5.4.1.	Зверобой продырявленный (<i>Hypericum Perforatu</i>)	0,54	27			1200	13
5.5.	Семейство кипрейные	0,32	44			740	7,5
5.5.1.	Кипрей (<i>Epilobium parviflorum</i> Schreb)	0,32	44			1300	4,5
5.6.	Семейство розовые	0,43*	25*			1300	4,5
5.6.1.	Ежевика (лист) (<i>Rubus fruticosus</i> L.)	0,65	33			930	7,9
5.6.2.	Земляника (лист) (<i>Fragaria vesca</i> L.)	0,63	63			620	6,2
5.6.3.	Малина (лист) (<i>Rubus idaeus</i> L.)	1,0	30			630	3,2
5.7.	Семейство розоцветные	0,82	0,51	40	30	49	59
5.8.	Семейство яснотковые	1,0	28			400	6,6
5.8.1.	Тимьян обыкновенный (чабрец – <i>Thymus vulgaris</i> L.)	2,5	46			380	7,2

Примечание: * – средние значения КП, • 10⁻³ м²/кг.

Анализ данных поверхностного загрязнения почвы позволил определить, в каких видах продуктов лесного происхождения, отобранных вблизи обследованных населенных пунктов, не ожидается превышений ПДК по ¹³⁷Cs и/или ⁹⁰Sr. В продуктах, отобранных вблизи населенного пункта Смяльч (Гордеевский район), превышений ПДК не ожидается по ¹³⁷Cs – в земляничном листе, щавеле лесном, опёнке жёлто-красном, настоящем трютовике, по ⁹⁰Sr – в земляничном листе, щавеле лесном, черничном кусте и во всех отобранных видах грибов, кроме горькушки. В продуктах, отобранных вблизи населенного пункта Чёрный ручей (Гордеевский район), превышений ПДК не ожидается по ¹³⁷Cs для всех отобранных продуктов, кроме подбе-

рёзовика обыкновенного, маслёнка обыкновенного, груздя чёрного, по ⁹⁰Sr – для всех отобранных продуктов лесного происхождения. В продуктах, отобранных в Злынковском районе, превышений ПДК по ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr не ожидается только в речной рыбе, выловленной в реке, вблизи населенного пункта Кожановка. В продуктах, отобранных вблизи населенного пункта Близна (Клинцовский район) по ¹³⁷Cs превышений не ожидается в лисичке настоящей и опёнке осеннем настоящем, а по ⁹⁰Sr – во всех отобранных продуктах, кроме горькушки; в населенном пункте Клинцы – превышений ПДК не ожидается практически во всех исследованных видах продуктов, кроме: по ¹³⁷Cs – говорушки синопика, подберёзовика обыкновенного, по-

досиновика жёлто-бурого, скрипицы, а по ^{90}Sr – во всех отобранных видах продуктов. В продуктах, отобранных вблизи населенного пункта Лопатни (Клинцовский район) превышений ПДК по ^{90}Sr не ожидается в грибах – лисичка настоящая, подберёзовик обыкновенный, моховик желтомясный. В продуктах, отобранных вблизи населенного пункта Тулуковщина (Клинцовский район) превышений ПДК по ^{137}Cs и ^{90}Sr не ожидается во всех лекарственных растениях, а в грибах – во всех, кроме горькушки и сыроежки; в населенном пункте Ольховка (Клинцовский район) превышений ПДК по ^{137}Cs не ожидается в ежевичном листе, зверобое продырявленном и тимьяне обыкновенном, а по ^{90}Sr – во всех отобранных продуктах.

Таким образом, к населённым пунктам, в которых не ожидается превышения ПДК по ^{137}Cs и ^{90}Sr в большинстве отобранных видов пищевых продуктов лесного происхождения, нами отнесены: Смяльч, Чёрный ручей (Гордеевский район); Кожановка (Злынковский район); Близна, Клинец, Лопатни, Тулуковщина, Ольховка (Клинцовский район).

В результате проведения исследований на территориях, загрязнённых Чернобыльскими выпадениями, нами выделены виды концентраторы и дискриминаторы радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr и изучены закономерности их накопления пищевыми продуктами лесного происхождения и объектами окружающей среды.

Изучение особенностей содержания радионуклидов в различных компонентах биоты позволило ранжировать их по накопительной способности, выделив виды и структуры концентраторы и дискриминаторы. По способности ^{137}Cs переходить из почвы в различные компоненты лесной биоты все исследованные продукты располагаются следующим образом: грибы > ягоды > дичь > лекарственные растения > лишайник > мох > рыба > лесная трава > сосновые ветки, а по переходу ^{90}Sr : лишайник > лекарственные растения > лесная трава > сосновые ветки > мох > грибы > рыба.

Полученные данные позволяют дать оценку относительного вклада этих компонентов в суммарное загрязнение

экосистемы, что имеет большое значение при расчётах дозовых нагрузок на население при миграции радионуклидов по трофическим цепям.

Литература

1. Шутов, В.Н. Динамика радиоактивного загрязнения пищевых продуктов сельскохозяйственного производства и природного происхождения после аварии на Чернобыльской АЭС / В.Н. Шутов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2008. – Т. 1, № 3. – С. 36–40.
2. Shutov, V.N. Cesium and strontium radionuclide migration in the agricultural ecosystem and estimation doses to the population / V.N. Shutov [et al.] // The Chernobyl Papers. – V.1. Research enterprises. – Washington, 1993. P. 167–218.
3. Kaduka, M.V. Assessment of the contribution of fungi in the internal dose of populations in the areas with different soil types subjected to radioactive contamination after the Chernobyl accident / M.V. Kaduka [et al.] // Interim report from the field work performed in 1996–1999. – St. Petersburg-Oslo: NRPA Osteras, Norway, 2000. – 61 p.
4. Удельная активность цезия-137 и стронция-90 в пробах пищевой и сельскохозяйственной продукции, почвы и других объектах внешней среды: методика выполнения измерений. – СПб: ФГУН НИИРГ, 2008. – 21 с.
5. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / под ред. А.Н. Мареев и А.С. Зыковой. – М.: Министерство здравоохранения СССР, 1980. – С. 124–138.
6. Санитарные правила и нормы: «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» (СанПин 2.3.2.1078-01): утв. и введены в действие с 01.09.2002 г. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2002. – 187 с.
7. Варфоломеева, К.В. Особенности формирования радиоактивного загрязнения лесной экосистемы после аварии на ЧАЭС / К.В. Варфоломеева // Радиационная гигиена. – 2008. – Т. 1, №3. – С. 49–54.
8. Шилова, К.В. Динамика радиоактивного загрязнения пищевых продуктов природного происхождения после аварии на ЧАЭС / К.В. Шилова, М.В. Кадука, В.Н. Шутов // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2, №4. – С. 23–26.

K.V. Shilova

Contamination of ^{137}Cs and ^{90}Sr of the forest foodstuffs in the Bryansk region

Federal Scientific Organization «Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev» of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Saint-Petersburg

Abstract. The present work is devoted to the analysis of appropriateness of accumulation and estimation of migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the forest foodstuffs sampled in the Sought-Eastern areas of the Bryansk region. Comparing of the results of estimation of the investigated forest foodstuffs contamination degree with hygienic requirements allows finding out the possibility of their safe consumption by population living in the territory under investigation.

Key words: Bryansk region, forest foodstuffs radioactive contamination, ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides, radiation protection, concentrators and discriminators, food chains, limit of permissible concentration.

Поступила: 27.05.2010 г.

К.В. Шилова
Тел. (812) 233-42-83;
E-mail: varfolomeeva_K@mail.ru