

УДК 614.876:631.039.58

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ И ДОЗОВЫЕ НАГРУЗКИ НА СЕЛЬСКОЕ НАСЕЛЕНИЕ

Д.А. БАЙРАШЕВСКАЯ, канд. биол. наук, доц. Н.В. ГОНЧАРОВА
(Международный государственный экологический университет им. А.Д. Сахарова, Минск)

На исследуемых территориях Республики Беларусь изучен вклад различных экосистем и систем производства продукции в дозу внутреннего облучения цезием-137, оценен вклад различных пищевых продуктов в дозу внутреннего облучения населения. С помощью математической модели рассчитано суточное поступление Cs-137 в организм человека для населения, проживающего в городах Хойники и Наровля.

Введение

Территория лесов, загрязненных радионуклидами в Беларуси, составляет 20 % [1]. Период самоочищения лесных экосистем от радионуклидов является самым продолжительным среди естественных и полустественных экосистем. Кроме того, лесные экосистемы играют роль фильтров-накопителей радионуклидов. В большинстве случаев леса загрязнены радионуклидами сильнее, чем безлесные ландшафты, расположенные рядом [2].

Существенной особенностью радиоактивного загрязнения лесных экосистем является их большая значимость в формировании дозы облучения населения в течение длительного времени. Проблема снижения дозовых нагрузок на население решается в первую очередь комплексом защитных мер в агропромышленном комплексе, поскольку около 70 % коллективной дозы формируется за счет поступления радионуклидов в организм с продуктами питания [3].

Целью данного исследования является комплексная оценка лесных экосистем, загрязненных радионуклидами, и формирование дозовых нагрузок на сельское население, в частности вклад пищевых продуктов как источника цезия во внутреннюю дозу облучения населения, проживающего в городах Хойники и Наровля.

Задачи исследования:

- вклад различных экосистем в дозу внутреннего облучения сельского населения;
- вклад различных систем производства пищевых продуктов в дозу внутреннего облучения;
- оценка вклада различных пищевых продуктов в дозу внутреннего облучения населения;
- использование математических моделей для расчета доз внутреннего облучения от лесных продуктов.

Объект исследования: лесные экосистемы и продукция лесов, загрязненных радионуклидами, расположенных в городах Хойники и Наровля

В Республике Беларусь экосистемы, в которых могут быть получены пищевые продукты, можно разделить на 3 основные группы:

- 1) коллективное хозяйство (интенсивные сельскохозяйственные системы);
- 2) частное хозяйство (менее интенсивное сельское хозяйство);
- 3) собирательство природных продуктов, таких как грибы, ягоды, рыба пресных водоемов и дичь природных экосистем (естественные (лесные) экосистемы).

В коллективном сельском хозяйстве продукты производятся посредством интенсивного использования почв и животных. Обычно в области колхоза расположено 2...4 деревни. У многих семей есть свой участок для выращивания растений для собственного потребления. Таким образом, потребляются как продукты коллективного сельского хозяйства, так и продукты частного хозяйства. Помимо этого, традиционно режим питания во многих регионах республики Беларусь включает в себя продукты с естественных экосистем. Поскольку эти продукты очень часто имеют более высокий уровень радиоактивности по сравнению с сельскохозяйственными продуктами, они могут играть важную роль в суточном поступлении радиоактивности и формировании внутренней дозы облучения населения.

Для сельских жителей характерна более высокая доза внутреннего облучения радиоактивным цезием, что связано с тем, что для них характерны сельскохозяйственная система и режим питания, предоставляющие к более высокому уровню поглощения цезия. В частных хозяйствах одной из причин этого является отсутствие минеральных удобрений, что приводит к более высокому переносу цезия в растения и животные. Кроме того, сельские жители имеют больший доступ к грибам и лесным ягодам [4].

Максимальное поступление ¹³⁷Cs наиболее вероятно возникает там, где присутствует один или несколько из следующих факторов:

- высокое содержание радионуклидов;
- высокие скорости переноса в пищевые продукты;

- производство пищевых продуктов, которые легко загрязняются радиоцезием;
- высокое производство пищевой продукции;
- высокое местное производство пищевых продуктов с особенно высоким переносом радионуклидов;
- рацион питания отдельных категорий населения, приводящий к повышенному потреблению ¹³⁷Cs (например, потребление диких грибов);
- меньшая степень реализации или эффективность контрмер.

Традиционное потребление продуктов леса в доаварийный период в среднем на одного сельского жителя составляло около 4 кг/год грибов и столько же ягод. Так как 20 % населения продолжают бесконтрольно употреблять в пищу лесные грибы и ягоды, это приводит к увеличению дозы внутреннего облучения [5]. Уровни потребления лесной продукции населением Беларуси представлены в таблице 1.

Таблица 1

Уровни потребления лесной продукции населением Беларуси в 2002 – 2003 гг. [4]

Пищевая продукция	Потребление (г·день ⁻¹)		
	сельские жители, проживающие возле лесов	сельские жители	городские жители
Грибы	6...55	2...40	< 0,2
Лесные ягоды	3...10	3...18	< 0,2

На основе данных, касающихся потребления лесной продукции в Беларуси в 2002 – 2003, можно выделить различные типы поселений в зависимости от уровня потребления среди населения. Это касается в основном жителей сельской местности, проживающих вблизи лесов, рек и озер. Уровень потребления грибов и лесных ягод таким населением значительно выше и зависит от местонахождения и персональных привычек. Источник индивидуального рациона может оказать значительное влияние на полученную дозу. В частности, замечено, что молоко, полученное от коров, питающихся кормом высокого качества, загрязнено относительно низко, в то время как молоко от коров, питающихся кормом низкого качества, может быть загрязнено намного выше. Размер населенного пункта и приближенность его к районному центру также может оказать влияние на доступ населения к менее загрязненным продуктам питания. Более того, различные кулинарные обработки могут вносить изменения в уровни концентрации активности в некоторых продуктах. Также на формирование дозы оказывают влияние факторы, отнесенные к индивидуальному метаболизму и физическому состоянию. Это включает в себя возраст, массу тела, пол индивида.

В комплексе, все эти факторы определяют индивидуальную поглощенную дозу. Таким образом, дозы могут варьировать не только между населенными пунктами, но и внутри поселения [4].

Материалы и методы

С исследуемых территорий (Хойники и Наровля) была собрана детальная информация и проведено сравнение с более крупными территориями. Информация содержала:

- плотность загрязнения территории (табл. 2);
- уровни активности в пищевых продуктах;
- особенности питания;
- использование контрмер;
- качество пищи, производимой в различных производственных системах.

Таблица 2

Плотность загрязнения изучаемых территорий

Изучаемые территории	Плотность загрязнения, кБк/м ²
Хойники	350
Наровля	120

Объем пищевых продуктов, собираемых в лесах, мал по сравнению с количеством продуктов, получаемых в сельском хозяйстве. Однако перенос радиоактивного цезия в естественные продукты, такие как грибы, дикие ягоды, рыба и дикие животные, часто намного выше, чем в те, которые потребляются значительным процентом населения.

Чтобы определить коллективную дозу внутреннего облучения для различных производственных систем, на изучаемой территории необходимо знание общего количества пищевой продукции, произво-

димой каждой из производственных систем. Это включает в себя продукты, которые потребляются как местным населением, так и населением вне изучаемой территории.

Результаты и обсуждения

На изучаемых территориях значительная часть населения потребляет грибы. В таблице 3 показано потребление пищевых продуктов различных производственных систем.

Таблица 3

Вклад в дозу, получаемую при потреблении пищевых продуктов, загрязненных радиоактивным цезием, от различных экосистем и систем производства продукции

Экосистема	Система производства продукции	Хойники, %	Наровля, %
Сельскохозяйственная	Коллективное хозяйство	15	15
	Частное хозяйство	52	60
Лес	Естественная система (грибы и ягоды)	35	42

На изучаемых территориях вклад сельскохозяйственных систем в поступление цезия составляет в среднем 15...60 %. Однако часть молока, производимого в частном хозяйстве, может быть отнесена к полустественным системам, поскольку коровы потребляют естественный и лесной корм. На этих территориях природные продукты питания вносят наибольший вклад в формирование внутренней дозы от радиоактивного цезия.

Для тех людей, которые не потребляют грибы, было выявлено, что вклад частного хозяйства в потребление радиоцезия составляет 12 %, в то время как 76 % поступает в организм человека за счет потребления продуктов, произведенных в коллективном хозяйстве. Среди тех, кто не потребляет грибы, молоко и мясо, составляет около 56 % вклада в потребление радиоцезия, в то время как для тех, кто потребляет грибы – только 18 %. В этой группе 65 % поступления цезия за счет потребления грибов. Вклад сельскохозяйственных овощей около 8 %. В любом случае, местные продукты вносят больший вклад в поступление цезия, чем продукты, купленные в магазине.

На всех изучаемых территориях была обнаружена связь между потреблением грибов и содержанием радиоактивного цезия в организме человека. При этом исследовался вклад различных источников радиоактивного цезия как для индивидуальных доз, так и для коллективных доз сельского населения.

В таблице 4 показаны основные продукты и их активность, коллективная доза для различных производственных систем, рассчитанные исходя из продуктивности и особенностей питания местного населения при изучении в 2002 – 2003 годах. Выход естественных продуктов, таких как грибы и ягоды, может быть недооценен, так как люди, проживающие вне исследуемой территории и собирающие грибы и ягоды, включены не были.

Таблица 4

Общее содержание Cs-137 в пищевых продуктах

Система производства продукции	Пищевые продукты	Общая активность (kBq)	
		Хойники	Наровля
Коллективное хозяйство	Молоко	32000	55000
	Мясо	215000	25000
	Картофель	9000	12000
Частное хозяйство	Молоко	35000	65000
	Мясо	16500	18500
	Картофель	12300	14800
Естественная экосистема	Грибы	35000	55000
	Ягоды	5200	7300
	Рыба пресных водоемов	450	750

Полученные результаты описывают ситуацию, связанную с влиянием различных экосистем и систем производства пищевых продуктов на поступление радиоактивного цезия в организм человека. Эти данные указывают на то, что естественные экосистемы также имеют большое значение при определении коллективной дозы. После аварии на ЧАЭС концентрация цезия в некоторых естественных продуктах уменьшилась незначительно, в то время как в тех же сельскохозяйственных продуктах упала существенно. Таким образом, ожидается спад влияния сельскохозяйственных систем на коллективную дозу с течением времени после аварии. Для получения более достоверной информации об уровнях вклада этих эко-

систем необходимы более полные знания о потреблении естественных продуктов питания как сельским, так и городским населением [4].

В настоящее время существует ряд математических моделей для расчета доз внутреннего облучения от лесных продуктов.

В исследованиях международного проекта JSP-5 (Joint study project-5 – совместный проект между странами СНГ (Россия, Беларусь, Украина) и комиссией Европейского сообщества) [6] была разработана детерминистическая модель для оценки вклада продуктов леса в формирование дозы внутреннего облучения населения Беларуси после катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Формулы для расчета поступления цезия-137 в организм человека [6]:

$$INTK_m = DC \cdot TF \cdot Q \cdot PF,$$

где $INTK_m$ – суточное потребление Cs^{137} с потребленными в пищу грибами (Бк/день); DC – плотность загрязнения ($кБк/м^2$); TF – коэффициент перехода в грибы (для всех видов) ($м^2/кг \cdot 10^3$); Q – количество потребляемых грибов в день ($кг/день$); PF – среднее значение коэффициента кулинарной обработки.

При наличии точных данных о видовом составе используется следующая формула:

$$INTK_m = DC \cdot \sum_i TF_k \cdot Q_k \cdot PF_k,$$

где $INTK_m$ – сезонно-зависимое суточное потребление Cs^{137} с потребленными в пищу грибами (Бк/день); TF_k – видовой коэффициент перехода ($м^2/кг$); Q_k – сезонно-зависимое количество потребляемых грибов в день ($кг/день$); PF_k – нормализованный коэффициент кулинарной обработки.

Для ягод также могут быть применены описанные формулы.

Для дичи используется только первая формула.

Общая формула для расчета поступления цезия-137 в организм человека с продуктами леса:

$$INTK = INTK_m + INTK_b + INTK_g,$$

где $INTK$ – суточное потребление Cs^{137} с потребленными в пищу дарами леса (Бк/день); $INTK_m$ – суточное потребление Cs^{137} с потребленными в пищу грибами (Бк/день); $INTK_b$ – суточное потребление Cs^{137} с потребленными в пищу ягодами (Бк/день); $INTK_g$ – суточное потребление Cs^{137} с потребленной в пищу дичью (Бк/день).

$$[INTK]_a = \int_0^{365} INTK \cdot dt,$$

где $[INTK]_a$ – годовое потребление Cs^{137} с потребленными в пищу дарами леса (Бк/год).

Для расчета поступления цезия-137 в организм с дарами леса предлагаются следующие значения, указанные в таблице 5.

Таблица 5

Коэффициент перехода и коэффициент уменьшения активности

Лесные продукты	Коэффициент перехода, TF, Бк·кг ⁻¹ /кБк·м ⁻²	Коэффициент уменьшения активности, PF
Грибы, все виды в целом	30	0,5
Ягоды, все виды в целом	9	0,5

Таким образом, используя данные, полученные в исследуемых районах, можно получить суточное поступление Cs^{137} в организм человека (табл. 6).

Таблица 6

Суточное поступление Cs^{137} в организм человека

Пищевая продукция	Суточное поступление Cs^{137} в организм человека, Бк/день		
	сельские жители, проживающие возле лесов	сельские жители	городские жители
	г. Хойники		
Грибы	31,5...288	10,5...210	< 1,05
Лесные ягоды	15,75...52,5	15,75...94,5	< 1,05
	г. Наровля		
Грибы	10,8...99	3,6...72	< 0,36
Лесные ягоды	5,4...18	5,4...32,4	< 0,36

Заключение

Прием пищи, полученной на сельскохозяйственных и естественных экосистемах, является важным путем формирования внутреннего облучения радиоактивным цезием. Структура и стиль сельской жизни обуславливают то, что потребление местных продуктов составляет основную долю питания (диеты) для населения, проживающего на территориях, подвергшихся загрязнению в результате аварии на ЧАЭС. Неравномерность загрязнения и различная доступность некоторых лесных продуктов указывает на сложности в предсказании дозы, которая может быть получена населением, без детального изучения каждого населения.

Проблема снижения дозовых нагрузок на население остается весьма актуальной. Для уменьшения радиологических последствий в результате ядерных аварий необходима достоверная оценка дозы.

Все модели оценки экосистемы, которые могут описать перенос радионуклидов от источника к населению посредством расчета доз, моделируют приблизительное значение вследствие комплексности систем. Построение таких моделей имеет не только теоретический интерес, но и большое практическое значение.

Анализ влияния загрязненных радионуклидами лесных экосистем на формирование доз облучения сельских жителей показал, что облучение сельских жителей при отсутствии контрмер будет продолжаться в течение нескольких десятилетий. Для восприятия и применения контрмер жителями населенных пунктов необходимо сочетание массового воздействия средств информации, рекламы и обучения всех слоев населения, в том числе и школьников.

В целом относительная важность различных сельскохозяйственных систем и экосистем должна быть пересмотрена в отношении поступления радиоцезия в организм человека, в частности для сельского населения, где использование пространственных производственных систем и природных экосистем может быть более важным, чем для городских районов.

ЛИТЕРАТУРА

1. 20 Years after the Chernobyl Catastrophe: the consequences in the Republic of Belarus and their overcoming. National report // Edited by V.E. Shevchuk, V.L. Gurachevsky – Minsk: Committee on the Problems of the Consequences of the Catastrophe at the Chernobyl NPP under the Belarusian Council of Ministers, 2006. – 104 p.
2. Орлов А.А., Краснов В.П., Прищепа А.Л. Радиоактивно загрязненные леса как критические ландшафты: радиоактивность пищевых продуктов и влияние на формирование дозы внутреннего облучения населения (аналитический обзор). – Житомир: Изд-во ЖИТИ, 2002.
3. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / В.А. Ипатьев, В.Ф. Багинский, И.М. Булавик и др. – Мн.: Ин-т леса НАН Беларуси, 1999.
4. Goncharova N.V., Bairasheuskaya D.A. Risk assessment: radioactive contaminated food products and exposure dose of the population // G. Arapis et al. (eds.), Ecotoxicology, Ecological Risk Assessment and Multiple stressors – 2006 Springer. – P. 181 – 189.
5. Оценка эффективности значимых мероприятий по снижению дозовых нагрузок на сельское население, обусловленных продукцией лесных экосистем / С.К. Фирсакова, Ю.М. Жученко, С.В. Фесенко, Н.Д. Кучма, А.М. Дворник // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2002. – Т. 42, № 2. – С. 211 – 215.
6. JSP-5. Pathway analysis and dose distributions. Final report/ P. Jacob and I. Likhtarev. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1996.