

DOI: 10.21870/0131-3878-2023-32-3-26-37

УДК 614.876(470.433):613.2

Вклад содержащих радионуклиды пищевых продуктов в формирование доз внутреннего облучения населения юго-запада Брянской области после аварии на Чернобыльской АЭС

Панов А.В., Комарова Л.Н., Ляпунова Е.Р., Мельникова А.А.

ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск

В статье рассмотрены современные особенности формирования доз внутреннего облучения (СГЭД_{внутр}) населения в зоне чернобыльской аварии. Обследовано 135 городских и сельских поселений со среднегодовой эффективной дозой облучения жителей более 1 мЗв. Для этих населённых пунктов рассчитан вклад ¹³⁷Cs, содержащегося в местных сельскохозяйственных и природных пищевых продуктах, в СГЭД_{внутр} жителей с учётом рациона питания. Проведён сравнительный анализ многолетних данных о роли местных продуктов питания, содержащих радионуклиды, в СГЭД_{внутр} населения. В 2022 г. картофель и свинина, произведённые в личных подсобных хозяйствах исследуемых поселений, полностью соответствовали санитарно-гигиеническим требованиям по уровням содержания ¹³⁷Cs. В 89% населённых пунктов существует риск превышения требований СанПиН по удельной активности ¹³⁷Cs в молоке из частного сектора, в 98% при производстве в них говядины и в 100% проб грибов, собранных в лесах вблизи этих поселений. Через 37 лет после чернобыльской аварии основным дозообразующим пищевым продуктом является молоко (вклад в СГЭД_{внутр} около 60%), меньшая роль в дозоформировании у грибов (около 20%) и минимальная у картофеля и мяса (по 10%). За последние 20 лет вклад ¹³⁷Cs, содержащегося в молоке, в дозу внутреннего облучения возрос на 15-20%, а грибов снизился вследствие изменения рациона питания сельского населения за счёт сокращения и перераспределения местных продуктов в пищевой корзине.

Ключевые слова: авария на ЧАЭС, радиоактивное загрязнение, ¹³⁷Cs, рацион питания населения, молоко, мясо, картофель, грибы, удельная активность радионуклидов в пищевых продуктах, дозы внутреннего облучения, юго-западные районы Брянской области.

Введение

Авария на Чернобыльской АЭС привела к широкомасштабному и долгосрочному (десять лет) радиоактивному загрязнению многих стран, включая Российскую Федерацию [1, 2]. Загрязнение радионуклидами (преимущественно ¹³⁷Cs) территории населённых пунктов, сельскохозяйственных угодий и лесов, аграрной и природной пищевой продукции до настоящего времени определяет формирование у населения зоны аварии на ЧАЭС дополнительных к природному фону дозовых нагрузок [3-5]. Учитывая изотопный состав загрязнения, почвенные, хозяйственные и социально-экономические особенности пострадавших от аварии регионов, с первого года ликвидации её последствий стали развивать и совершенствовать методы определения доз внешнего и внутреннего облучения населения, как меры риска радиационного воздействия на человека [6-8].

Корректная оценка уровней радиоактивного загрязнения пострадавших от аварии на ЧАЭС территорий и дозовых нагрузок на население является ключевым фактором при зонировании населённых пунктов, социальной поддержке их жителей и обосновании оптимальной системы реабилитационных мероприятий [9]. Результаты радиационного контроля территории населённых пунктов, подвергшихся воздействию от аварии на ЧАЭС, публикуются ежегодно, а дозовых

Панов А.В.* – и.о. директора, д.б.н., проф. РАН; Комарова Л.Н. – проф., д.б.н.; Ляпунова Е.Р. – доцент, к.б.н.; Мельникова А.А. – аспирант. ИАТЭ НИЯУ МИФИ.

*Контакты: 249039, Калужская обл., Обнинск, Студгородок, 1. Тел. (484) 394-07-43; e-mail: riar@mail.ru.

нагрузок на население – с периодичностью в несколько лет [3, 10]. Так, по официальным данным на 2017 г. среднегодовые дозы облучения населения в зоне аварии на ЧАЭС превышали установленный законом «О радиационной безопасности населения» порог в 1 мЗв у жителей 135 населённых пунктов [10]. Эти поселения расположены в шести юго-западных районах Брянской области и большая их часть относится к категории сельских.

За прошедшие после аварии на ЧАЭС 37 лет в пострадавших регионах значительно изменилась радиологическая, демографическая и социально-экономическая обстановка [11]. Снижаются уровни радиоактивного загрязнения территории населённых пунктов и их ареалов. Это приводит к уменьшению удельной активности ^{137}Cs в местных сельскохозяйственных и природных пищевых продуктах [12]. Меняются рационы питания жителей пострадавших районов. Весь этот комплекс динамичных факторов определяет особенности дозоформирования населения в разные периоды после аварии на ЧАЭС, включая современный этап.

Целью данной работы является анализ изменения роли основных дозообразующих пищевых продуктов в формировании доз внутреннего облучения населения, подвергшегося воздействию от аварии на Чернобыльской АЭС.

Материалы и методы

Исследование проведено на примере 135 населённых пунктов (НП) со среднегодовой эффективной дозой (СГЭД) облучения жителей, превышающей 1 мЗв [10]. Все эти НП юго-западных районов Брянской области относятся к трём зонам радиоактивного загрязнения (табл. 1). Почти 80% НП входят в зону с правом на отселение. Согласно данным статистики по переписи населения в 2020 г. из 135 жилыми являются только 101 НП с общим числом жителей 67789 чел., из них 38680 чел. (57%) проживают в г. Новозыбков [13].

Таблица 1

Распределение населённых пунктов Брянской области со СГЭД более 1 мЗв в 2017 г. по зонам радиоактивного загрязнения

Район	Число НП [10]	Статус населённого пункта [9]			
		льготный	с правом на отселение	отселение	отчуждение
Гордеевский	24	-	21	3	-
Злынковский	25	-	16	9	-
Климовский	2	-	2	-	-
Клинцовский	21	-	20	1	-
Красногорский	18	-	10	5	3
Новозыбковский	45	-	37	8	-
Всего	135	-	106	26	3

Для каждого из исследуемых НП была собрана информация и сформирован банк данных по уровням загрязнения ^{137}Cs их территории [3], прилегающих лугопастбищных угодий [14] и лесов [5]. При этом использована разработанная ГИС-система [15] с радиологическими и почвенными характеристиками участков природных и аграрных экосистем в ареале НП. Наиболее высокие плотности загрязнения ^{137}Cs отмечены в НП и на лугах Красногорского района, а лесов – в Новозыбковском районе. По всем районам уровни загрязнения ^{137}Cs лесных и луговых экосистем, как правило, в 1,9-2,3 раза выше, чем территории НП (табл. 2).

Таблица 2

Плотность загрязнения ^{137}Cs территории населённых пунктов Брянской области со СГЭД более 1 мЗв и их ареалов в 2022 г., кБк·м⁻²

Район	Населённый пункт [3]	Пастбища [14]	Леса [5]
Гордеевский	375 (260-670)*	940 (650-1665)	710 (520-930)
Злынковский	380 (220-620)	960 (550-1545)	560 (320-910)
Климовский	290 (275-310)	575 (550-600)	430 (400-450)
Клинцовский	305 (240-450)	760 (600-1130)	730 (590-940)
Красногорский	685 (230-1830)	845 (305-1870)	460 (175-915)
Новозыбковский	380 (225-705)	925 (550-1710)	850 (660-955)

* – арифметическое среднее, в скобках – минимальные и максимальные значения.

Оценку среднегодовой дозы внутреннего облучения (СГЭД_{внутри}) жителей НП проводили по формуле, согласно действующим МУ 2.6.1.2003-05 [16]:

$$\text{СГЭД}_{\text{внутри}} = d_k \cdot \sum_i A_i \cdot V_i^{\text{эфф}} \cdot K_i, \quad \text{мЗв} \cdot \text{год}^{-1}, \quad (1)$$

где A_i – средняя удельная активность ^{137}Cs в i -ом пищевом продукте, Бк·кг(л)⁻¹; $V_i^{\text{эфф}}$ – эффективное годовое потребление i -го пищевого продукта (молоко, говядина, свинина, картофель, грибы), кг·год⁻¹; K_i – коэффициент кулинарного снижения ^{137}Cs в i -ом пищевом продукте (молоко – 1, говядина – 0,4, свинина – 0,4, картофель – 0,8, грибы – 0,5), отн. ед. [17]; d_k – дозовый коэффициент для пищевого пути поступления ^{137}Cs в организм человека ($1,2 \cdot 10^{-5}$ мЗв·Бк⁻¹).

Содержание ^{137}Cs в основных дозообразующих пищевых продуктах определяли по плотности загрязнения ^{137}Cs территории НП (для картофеля и свинины), лугопастбищных угодий (для молока и говядины) и лесов (для грибов) через коэффициенты перехода (КП) с учётом почвенных характеристик участков в районе расположения каждого НП. Преобладающими почвами в данном регионе Брянской области являются дерново-подзолистые песчаные и супесчаные, а используемые КП на период 2012-2020 гг. для молока – 0,17, говядины – 0,55, свинины – 0,34, картофеля – 0,06, грибов – 13 (10^{-3} м²·кг⁻¹) согласно [7].

Важным фактором, определяющим дозу внутреннего облучения населения, помимо удельной активности ^{137}Cs в пищевых продуктах местного производства является рацион питания человека. Анализ используемых в научной и методической литературе данных о потреблении сельским населением юго-запада Брянской области местных пищевых продуктов для оценки доз внутреннего облучения показывает, что оно снижалось с течением времени после аварии на ЧАЭС (табл. 3).

Таблица 3

Годовое потребление основных дозообразующих пищевых продуктов в сельских домашних хозяйствах Брянской области на 1 чел., кг(л)

Пищевой продукт	Год, источник данных						
	1985 [6]	1987 [6]	1996 [6]	2005 [16]	2009 [17]	2012 [18]	2015 [7]
Молоко	285	150	190	370	127,6	99	98,1
Говядина	62*	55	48	ДО	3,3	33	9,5
Свинина				ДО	28		18
Картофель	240	240	212	ДО	135	ДО	100
Грибы свежие	ДО**	ДО	ДО	6	5,6	6,5	6,6

* – мясо, ** – данные отсутствуют.

До аварии на ЧАЭС годовое потребление молока составляло в данном регионе 285 л·чел.⁻¹. В первые годы после аварии потребление этого продукта значительно сократилось (до 150-190 л·чел.⁻¹), что было связано с введением ограничений на содержание частного скота в ряде наиболее радиоактивно загрязнённых НП. Впоследствии ограничения сняли, однако население уже не вернулось к содержанию коров в частном секторе НП в прежнем объёме [18].

Анализ многолетних статистических данных обследования сельских домашних хозяйств Брянской области показал, что за последние 20 лет (рис. 1) потребление населением местного молока сократилось в 2,9, говядины в 3,8, картофеля в 2,8, грибов в 3,6 раза и лишь потребление свинины увеличилось на 16% [13]. Причиной снижения потребления продуктов питания сельским населением Брянской области является сложная демографическая и социально-экономическая ситуация в регионе, особенно в юго-западных районах, в наибольшей степени подвергшихся воздействию от аварии на ЧАЭС. Так, за 35 лет после аварии численность населения в этих районах сократилась на 30-55%, что во многом было обусловлено миграцией его трудоспособной части в другие, более экономически привлекательные и радиационно-безопасные регионы [11]. Постепенное старение оставшейся когорты населения привело к снижению активности ведения частных хозяйств в сельских НП и, соответственно, уменьшению объёмов производства и потребления местных пищевых продуктов.

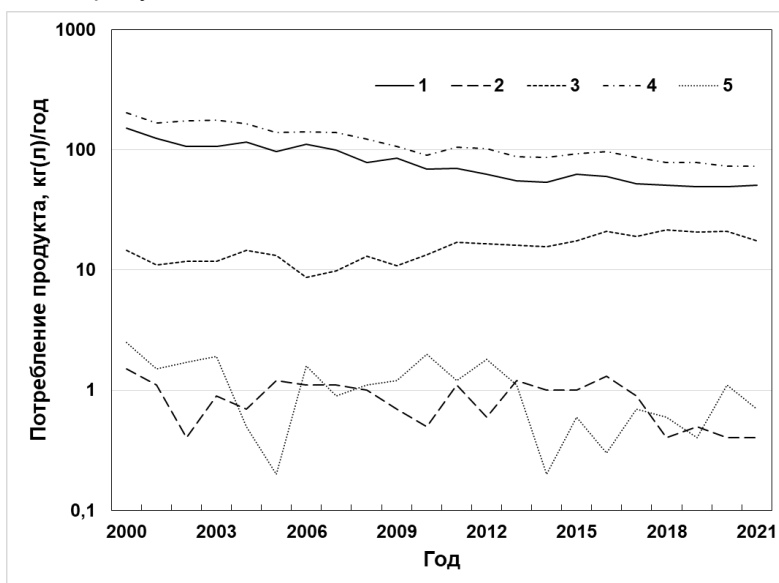


Рис. 1. Динамика годового потребления продуктов питания в сельских домашних хозяйствах Брянской области на 1 чел.: 1 – молоко цельное, 2 – говядина и телятина, 3 – свинина, 4 – картофель, 5 – грибы свежие (по данным [13]).

Необходимо отметить, что в МУ 2.6.1.2003-05 [16] для оценок среднегодовых доз внутреннего облучения населения рекомендуется использовать значительно более высокие годовые показатели потребления молока (370 л·год⁻¹) и грибов (6 кг·год⁻¹), что в 7-8 раз выше существующих в настоящее время объёмов потребления данных пищевых продуктов в сельских НП Брянской области. Это в итоге приводит как к переоценке доз внутреннего облучения, так и к ошибкам в определении доминирующего вклада аграрных и природных пищевых продуктов в формирование дозовых нагрузок на население. В настоящей работе для оценок СГЭД_{внутр} использованы официальные данные Брянскстата по годовому потреблению продуктов питания в сельских

домашних хозяйствах Брянской области на 1 чел. в 2021 г.: молоко цельное – 50,9 л, говядина и телятина – 0,4 кг, свинина – 14,4 кг, картофель – 73 кг, грибы свежие – 0,7 кг [13].

Результаты

Анализ данных по содержанию ^{137}Cs в местных пищевых продуктах исследуемых НП показывает, что даже в поселениях со СГЭД более 1 мЗв продукция растениеводства (картофель) в настоящее время полностью соответствует требованиям СанПиН [19, 20] (табл. 4). Незначительное превышение нормативов по содержанию ^{137}Cs в картофеле возможно лишь в НП Заборье, относящегося к зоне отселения [9], где плотность загрязнения радионуклидом огородов составляет $1800 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$, а на отдельных участках достигая $5400 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ [3]. Производство на территории исследуемых НП свинины также безопасно. Максимальные уровни удельной активности ^{137}Cs в данном виде мясной продукции ниже установленного в СанПиН порога на содержание ^{137}Cs более чем в 2 раза.

Таблица 4

Удельная активность ^{137}Cs в местных пищевых продуктах населённых пунктов Брянской области со СГЭД более 1 мЗв в 2022 г., Бк·кг(л)⁻¹

Район	Молоко	Говядина	Свинина	Картофель	Грибы
Гордеевский	160 (110-285)*	520 (355-915)	60 (40-90)	25 (15-40)	7290 (5315-9560)
Злынковский	165 (95-265)	525 (300-850)	55 (35-85)	20 (15-35)	5780 (3290-9320)
Климовский	95 (90-100)	315 (305-330)	45 (40-50)	17 (15-20)	4380 (4130-4630)
Клинцовский	130 (100-190)	420 (330-620)	50 (40-70)	20 (15-30)	7490 (6070-9620)
Красногорский	145 (50-325)	460 (165-990)	40 (15-85)	40 (15-85)	4720 (1780-9390)
Новозыбковский	155 (95-290)	510 (300-940)	25 (15-40)	25 (15-40)	8740 (6785-9795)
СанПиН [19, 20]	100	200		80	500

* – арифметическое среднее, в скобках – минимальные и максимальные значения.

Наиболее высокое содержание ^{137}Cs в продукции животноводства (молоко, говядина) отмечается в НП Красногорского района, где плотность загрязнения радионуклидом лугопастбищных угодий составляет до $1870 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ (табл. 2). Так, в НП со СГЭД более 1 мЗв этого района удельная активность ^{137}Cs в молоке коров из частного сектора может превышать предельный уровень СанПиН ($100 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$) в 3 раза. Если рассматривать НП всех шести районов, то в 89% поселений существует риск (вероятность) получения молока из частного сектора, не соответствующего требованию СанПиН (табл. 4). В говядине санитарно-гигиенический норматив по содержанию ^{137}Cs ($200 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$) может быть превышен в 98% НП со СГЭД более 1 мЗв. В наиболее критичных поселениях такая разница с предельным уровнем СанПиН может достигать пяти раз. В среднем по рассматриваемым районам требования СанПиН превышены по молоку в 1,5 раза, по говядине – до 2,5 раза. В то же время широкий спектр возможных реабилитационных мероприятий в сфере кормопроизводства и животноводства позволяет при достаточном финансировании полностью решить проблему производства в частном секторе НП со СГЭД более 1 мЗв молока и говядины, соответствующих санитарно-гигиеническим нормативам [14, 15].

Самая сложная ситуация остаётся с потреблением населением природной продукции (грибы, ягоды, дичь) в наиболее радиоактивно загрязнённых районах Брянской области. Выборочный радиационный контроль даров леса, проводимый Роспотребнадзором, ежегодно фиксирует в шести юго-западных районах области 20-55% проб грибов и 40-80% проб ягод с превышением

граничных уровней СанПиН по содержанию ^{137}Cs [11]. Расчёты содержания радионуклида в грибах, которые могут быть собраны в наиболее радиоактивно загрязнённых лесах вблизи НП со СГЭД более 1 мЗв, показывают, что во всех поселениях санитарно-гигиенический норматив ($500 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$) будет превышен для данного пищевого продукта до 8-17 раз (табл. 4). С учётом длительного периода времени, прошедшего после аварии на ЧАЭС, снижение вклада ^{137}Cs в дозу внутреннего облучения населения от потребления природной продукции возможно только за счёт информирования жителей региона о правилах её безопасного сбора и переработки: обозначение участков леса с минимальной (радиационно-безопасной) и максимальной плотностью загрязнения ^{137}Cs , ознакомление людей с видовым составом грибов и ягод и их ранжированием по степени накопления радионуклида, а также рекомендациями по кулинарной переработке природных продуктов для снижения поступления радиоизотопов в организм человека.

С учётом удельной активности ^{137}Cs в местной пищевой продукции и актуального рациона питания сельского населения Брянской области рассчитан вклад каждого из пищевых продуктов в дозу внутреннего облучения жителей НП со СГЭД более 1 мЗв (табл. 5).

Таблица 5

Вклад местных пищевых продуктов, содержащих ^{137}Cs , в дозу внутреннего облучения населения юго-западных районов Брянской области со СГЭД более 1 мЗв в 2022 г.

Район	СГЭД _{внутр} , мЗв	Вклад местных пищевых продуктов в СГЭД _{внутр} , %				
		молоко	говядина	свинина	картофель	грибы
Гордеевский	0,48 (0,33-0,76)*	60	2	8	10	20
Злынковский	0,47 (0,27-0,75)	64	2	8	10	16
Климовский	0,30 (0,29-0,32)	59	1	10	12	18
Клинцовский	0,41 (0,32-0,57)	58	2	7	9	24
Красногорский	0,45 (0,17-0,96)	57	2	11	17	13
Новозыбковский	0,49 (0,31-0,81)	58	1	8	10	23

* – арифметическое среднее, в скобках – минимальные и максимальные значения.

Видно, что в настоящее время доминирующий вклад (57-64%) в СГЭД_{внутр} вносит ^{137}Cs , содержащийся в молоке частных коров. Несмотря на высокую удельную активность радионуклида в говядине, вследствие низкого потребления данного вида мяса ($0,4 \text{ кг} \cdot \text{год}^{-1}$) её роль в дозоформировании ничтожно мала и не превышает 1-2%. Вклад свинины и картофеля, производящихся на территории НП, сопоставим и составляет в среднем около 10%. Вклад грибов в СГЭД_{внутр} находится на втором месте после молока и варьирует в достаточно широких пределах, достигая четверти от дозы внутреннего облучения населения. Поскольку содержание ^{137}Cs в свинине и картофеле даже в наиболее критичных НП (СГЭД более 1 мЗв) соответствует требованиям СанПиН, а роль радионуклида, содержащегося в говядине, в дозоформировании крайне мала, можно говорить, что молоко и грибы остаются в настоящее время основными дозообразующими местными продуктами питания в регионе аварии на ЧАЭС.

Полученные данные позволили провести сравнительный анализ закономерностей формирования доз внутреннего облучения населения в различные периоды (5-10, 15-20 и 35 лет) после аварии на ЧАЭС (рис. 2). Для этого использованы результаты аналогичных исследований в юго-западных районах Брянской области [12]. Так, в первые годы после аварии на ЧАЭС в НП со СГЭД более 1 мЗв, расположенных на территории Брянского полесья, основным дозообразующим продуктом, содержащим ^{137}Cs , являлось молоко. Его вклад в дозу внутреннего облучения

превышал 50%. ^{137}Cs , содержащийся в грибах, дополнительно формировал около 25% дозы внутреннего облучения. Через 20 лет после аварии на ЧАЭС роль молока в дозоформировании снизилась и составляла порядка 40%, при этом вклад радионуклидсодержащих грибов в СГЭД_{внутр} существенно возрос (до 35%). В основном, такая закономерность была обусловлена различной динамикой снижения удельной активности ^{137}Cs в сельскохозяйственных и природных пищевых продуктах. К настоящему времени роль молока из частного сектора, содержащего ^{137}Cs , в дозоформировании вновь выросла (вклад в дозу внутреннего облучения 60%), а у грибов заметно снизилась (в среднем до 20%). Вклад мяса (говядина и свинина) из частного сектора, а также картофеля в СГЭД_{внутр} в течение всего периода после аварии на ЧАЭС колебался в диапазоне 10-15%.

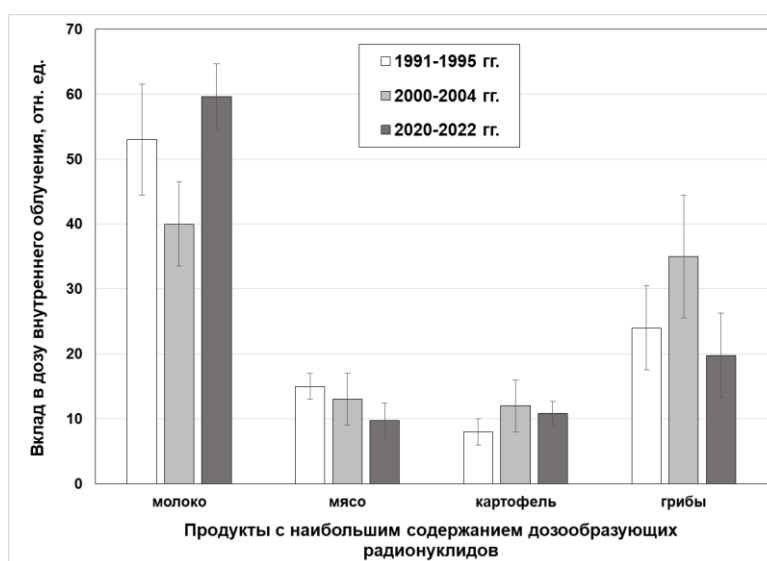


Рис. 2. Динамика вклада ^{137}Cs , содержащегося в сельскохозяйственных продуктах и грибах, в дозу внутреннего облучения населения юго-западных районов Брянской области со СГЭД более 1 мЗв.

Таким образом, если к 2000-м годам уменьшение вклада молока от частных коров, содержащего ^{137}Cs , в СГЭД_{внутр} было связано с разной скоростью снижения параметров миграции радионуклида между аграрными и природными пищевыми продуктами, то к настоящему времени рост вклада молочной компоненты в дозоформирование обусловлен перераспределением объёмов потребления населением местных пищевых продуктов.

Заключение

Результаты настоящего исследования позволяют сформулировать ряд выводов, которые необходимо учитывать при реабилитации НП, расположенных на территории, подвергшейся воздействию от аварии на ЧАЭС.

1. В населённых пунктах юго-западных районов Брянской области со СГЭД выше 1 мЗв в настоящее время существует риск превышения требований СанПиН по содержанию ^{137}Cs : в грибах в среднем до 10, говядине в 2,5, в молоке в 1,5 раза. Производящиеся в этих населённых пунктах свинина и картофель соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям по содержанию радионуклида и их потребление полностью безопасно.

2. Через 37 лет после аварии на ЧАЭС в населённых пунктах со СГЭД выше 1 мЗв основными местными пищевыми продуктами, содержащими ^{137}Cs , которые определяют до 70-80% дозы внутреннего облучения, являются молоко и грибы. Поэтому в стратегии реабилитации радиоактивно загрязнённых территорий должны преобладать мероприятия и технологии, направленные на минимизацию поступления радионуклида от этих двух аграрных и природных пищевых продуктов.

3. За последние 15-20 лет отмечена тенденция к перераспределению роли пищевых продуктов в формировании дозы внутреннего облучения населения, проживающего на территориях с высокими уровнями загрязнения ^{137}Cs . Так, наметившийся к 2000-м годам рост вклада грибов в дозу внутреннего облучения населения на территориях, подвергшихся воздействию от аварии на ЧАЭС, сменился повышением роли в дозоформировании молока от частного скота.

4. Необходимо продолжение радиоэкологического мониторинга в населённых пунктах со СГЭД выше 1 мЗв, уделяя особое внимание оценке удельной активности ^{137}Cs в местных критических по дозоформированию пищевых продуктах, которые, как правило, не проходят обязательный радиационный контроль.

5. Для корректной оценки средних годовых эффективных доз облучения населения по МУ 2.6.1.2003-05, учитывая большую разницу в используемых в них данных о рационах питания с реальными объёмами потребления в настоящее время сельскими жителями местных пищевых продуктов в Брянской области, необходима корректировка методических указаний в части рационов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-29-00024).

Литература

1. Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group «Environment» (EGE). Vienna: IAEA, 2006. 166 p.
2. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия-Беларусь) /под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича. Москва-Минск, 2009. 140 с.
3. Данные по радиоактивному загрязнению территории населённых пунктов Российской Федерации ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ /под ред. С.М. Вакуловского. Обнинск: Тайфун, 2022. 233 с.
4. **Панов А.В., Санжарова Н.И., Шубина О.А., Гордиенко Е.В., Титов И.Е.** Современное состояние и прогноз загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей, подвергшихся воздействию аварии на Чернобыльской АЭС //Радиация и риск. 2017. Т. 26, № 3. С. 66-74.
5. **Марченко Т.А., Радин А.И., Раздайковин А.Н.** Ретроспективное и современное состояние лесных территорий приграничных районов Брянской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению //Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 2. С. 6-18.
6. **Травникова И.Г., Брук Г.Я., Шутов В.Н., Базюкин А.В.** Пути формирования доз внутреннего облучения сельских жителей Брянской области после аварии на ЧАЭС (Часть первая) //Радиационная гигиена. 2013. Т. 6, № 2. С. 11-20.
7. **Братилова А.А., Брук Г.Я.** Влияние потребления различных пищевых продуктов на формирование доз внутреннего облучения взрослого населения Российской Федерации после аварии на Чернобыльской АЭС //Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 2. С. 53-59.
8. **Власов О.К., Брук Г.Я., Звонова И.А., Щукина Н.В.** Оценки неопределённостей доз внешнего и внутреннего облучения населения в загрязнённых областях РФ после аварии на ЧАЭС на основе инструментальных данных //Радиация и риск. 2022. Т. 31, № 4. С. 34-52.
9. Постановление Правительства РФ от 08.10.2015 г. № 1074 «Об утверждении перечня населённых пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС». М., 2015.
10. **Брук Г.Я., Романович И.К., Базюкин А.Б., Братилова А.А., Власов А.Ю., Громов А.В., Жеско Т.В., Кадука М.В., Кравцова О.С., Сапрыкин К.А., Степанов В.С., Титов Н.В., Яковлев В.А.** Средние годовые эффективные дозы облучения в 2017 году жителей населённых пунктов Российской Федерации, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (для целей зонирования населённых пунктов) //Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 4. С. 73-78.
11. **Панов А.В.** Возвращение радиоактивно загрязнённых территорий к нормальной жизнедеятельности: современные проблемы и пути решения (к 35-летию аварии на Чернобыльской АЭС) //Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2021. № 1. С. 5-13.
12. **Панов А.В., Фесенко С.В., Алексахин Р.М., Пастернак А.Д., Прудников П.В., Санжарова Н.И., Горяинов В.А, Новиков А.А., Музалевская А.А.** Радиозкологическая ситуация в сельскохозяйственной сфере на загрязнённых территориях России в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС //Радиационная биология. Радиозкология. 2007. Т. 47, № 4. С. 423-434.
13. Письмо Брянскстата № ТБ-Т35-09/773-ТС от 22.02.2023 г. «О предоставлении статистической информации».
14. **Панов А.В., Прудников П.В., Титов И.Е., Кречетников В.В., Ратников А.Н., Шубина О.А.** Радиозкологическая оценка сельскохозяйственных земель и продукции юго-западных районов Брянской области, загрязнённых радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС //Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 1. С. 25-35.

15. Titov I.E., Krechetnikov V.V., Mikailova R.A., Panov A.V. Geoinformation decision support system for remediation of the ^{137}Cs contaminated agricultural lands after the Chernobyl NPP accident //Nucl. Eng. Technol. 2022. V. 54, N 6. P. 2244-2252. DOI: 10.1016/j.net.2021.12.017.
16. Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населённых пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. МУ 2.6.1.2003-05. М.: Роспотребнадзор, 2005. 20 с.
17. Громов А.В. Оценка текущих доз внутреннего облучения жителей отдельных населённых пунктов Брянской области вследствие аварии на Чернобыльской АЭС //Радиационная гигиена. 2010. Т. 3, № 3. С. 28-35.
18. Травникова И.Г. Динамика изменений рационов питания населения Брянской области, живущего на территориях, загрязнённых в результате аварии на Чернобыльской АЭС //Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, № 3. С. 26-32.
19. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: Санитарно-эпидемиологические правила и нормы. СанПиН 2.3.2.1078-01. М.: Минздрав России, 2002. 164 с.
20. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.3.2.2650-10). Доп. и изм. № 18 к СанПиН 2.3.2.1078-01. М.: Минздрав России, 2010. 10 с.

Contribution of foodstuffs contained radionuclides to formation of internal radiation doses received in areas Bryansk region affected by the Chernobyl accident

Panov A.V., Komarova L.N., Lyapunova E.R., Mel'nikova A.A.

National Research Nuclear University MEPhI, Obninsk

The authors review current specific features of internal radiation doses received by people resided in 135 urban and rural settlements in six south-western districts of the Bryansk region affected by the Chernobyl accident. The residents received the average annual radiation dose > 1 mSv. The ^{137}Cs radioactivity contained in local agricultural and natural food was evaluated with the account of the dietary structure. Comparative analysis of long-term data on a contribution of local food contained radionuclides to the population, estimated by the average annual effective dose of internal radiation was carried out. Potatoes and pork taken from the private farms in the settlements under survey met health and hygiene standards for different levels of ^{137}Cs in 2022. However, there was a risk of exceeding the sanitary hygiene's requirements for ^{137}Cs specific radioactivity in milk from privately-owned farms located in 89% of the settlements under survey, in 98% of beef produced in the farms and in 100% of mushrooms collected in forests near these settlements. Currently, the main dose-forming product is milk (contribution to the internal exposure dose is 60%), a smaller role in dose formation is in mushrooms (about 20%) and a minimal dose is in potatoes and meat (10% each). Over the past 20 years, the contribution of milk to the internal exposure dose has increased by 15-20%, and the contribution of mushrooms has decreased because of changes in the diet of the rural population of the Bryansk region and due to the reduction and redistribution of local products in the food basket.

Key words: *Chernobyl accident, radioactive contamination, ^{137}Cs , diet of the population, milk, meat, potatoes, mushrooms, specific activity of radionuclides in foodstuffs, internal exposure doses, south-western districts of Bryansk region.*

Panov A.V.* – Acting Director, D. Sc., Biol. Prof. of RAS; Komarova L.N. – Prof., D. Sc., Biol.; Lyapunova E.R. – Associate Professor, C. Sc., Biol.; Mel'nikova A.A. – Graduate Student. NRNU MEPhI.

*Contacts: 1 Studgorodok, Obninsk, Kaluga region, Russia, 249039. Tel.: +7(484) 394-07-43; e-mail: riar@mail.ru.

References

1. Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group «Environment» (EGE). Vienna, IAEA, 2006. 166 p.
2. Atlas sovremennykh i prognoznykh aspektov posledstviy avarii na Chernobyl'skoy AES na postradavshikh territoriyakh Rossii i Belarusi (ASPA Rossiya-Belarus') [Atlas of modern and predictive aspects of the consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant in the affected territories of Russia and Belarus (ASPA Russia-Belarus)]. Eds.: Yu.A. Izrael, I.M. Bogdevich. Moscow-Minsk, 2009. 140 p.
3. Dannyye po radioaktivnomu zagryazneniyu territorii naselennykh punktov Rossiyskoy Federatsii ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ [Data on radioactive contamination of the territory of settlements of the Russian Federation with ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$]. Ed.: S.M. Vakulovsky. Obninsk, Typhoon, 2022. 233 p.
4. **Panov A.V., Sanzharova N.I., Shubina O.A., Gordienko E.V., Titov I.E.** Modern situation and the prognosis of the contamination by ^{137}Cs of the farm lands of Bryansk, Kaluga, Orel and Tula regions, affected by the Chernobyl NPP accident. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2017, vol. 26, no. 3, pp. 66-74. (In Russian).
5. **Marchenko T.A., Radin A.I., Razdaivodin A.N.** Retrospective and current state of forest territories of the border areas of the Bryansk region exposed to radioactive contamination. *Radiatsionnaya gygiena – Radiation Hygiene*, 2020, vol. 13, no. 2, pp. 6-18. (In Russian).
6. **Travnikova I.G., Bruk G.Y., Shutov V.N., Bazjukin A.B.** Contribution of different foodstuffs to the internal exposure of the rural inhabitants of the Bryansk region in Russia after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya gygiena – Radiation Hygiene*, 2013, vol. 6, no. 2, pp. 11-20. (In Russian).
7. **Bratilova A.A., Bruk G.Y.** Influence of the consumption of different foodstuffs on the internal exposure dose formation in the adult population of the Russian Federation after the accident at the Chernobyl NPP. *Radiatsionnaya gygiena – Radiation Hygiene*, 2018, vol. 11, no. 2, pp. 53-59. (In Russian).
8. **Vlasov O.K., Bruk G.Ya., Zvonova I.A., Shchukina N.V.** Estimating uncertainties in external and internal radiation doses in people resided in contaminated regions of Russia after the Chernobyl accident with the use of instrumental data. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2022, vol. 31, no. 4, pp. 34-52. (In Russian).
9. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 08.10.2015 N 1074 «Ob utverzhdenii perechnja naselennykh punktov, nahodjashhihsja v granicah zon radioaktivnogo zagryaznenija vsledstvie katastrofy na Chernobyl'skoj AES» [Order of the Russian Federation Government 08.10.2015 No 1074 "On approval of the list of settlements within the boundaries of radioactive pollution zones caused by Chernobyl NPP accident"]. Moscow, 2015.
10. **Bruk G.Y., Romanovich I.K., Bazyukin A.B., Bratilova A.A., Vlasov A.Yu., Gromov A.V., Zhesko T.V., Kaduka M.V., Kravtsova O.S., Saprykin K.A., Stepanov V.S., Titov N.V., Yakovlev V.A.** The average annual effective doses for the population of the settlements of the Russian Federation attributed to zones of radioactive contamination due to the Chernobyl accident (for the zonation purposes). *Radiatsionnaya gygiena – Radiation Hygiene*, 2017, vol. 10, no. 4, pp. 73-78. (In Russian).
11. **Panov A.V.** Returning radioactively contaminated territories to normal life: current problems and ways for solution (35 years after the Chernobyl NPP accident). *Mediko-biologicheskiye i sotsial'no-psikhologicheskiye problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh – Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*, 2021, no. 1, pp. 5-13. (In Russian).
12. **Panov A.V., Fesenko S.V., Alexakhin R.M., Pasternak A.D., Prudnikov P.V., Sanzharova N.I., Goryainov V.A., Novikov A.A., Muzalevskaya A.A.** The radioecological situation in the agricultural sphere in the contaminated regions of Russia during the long term after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya – Radiation Biology. Radioecology*, 2007, vol. 47, no. 4, pp. 423-434. (In Russian).
13. Pis'mo Bryanskstata N TB-T35-09/773-TS ot 22.02.2023 «O predostavlenii statisticheskoy informatsii» [Letter from Bryanskstat No TB-T35-09/773-TS dated February 22, 2023 "On the provision of statistical information"].

14. **Panov A.V., Prudnikov P.V., Titov I.E., Krechetnikov V.V., Ratnikov A.N., Shubina O.A.** Radioecological assessment of the agricultural lands and products in south-west districts of the Bryansk region contaminated by radionuclides as the result of the Chernobyl NPP accident. *Radiatsionnaya gygiena – Radiation Hygiene*, 2019, vol. 12, no. 1, pp. 25-35. (In Russian).
15. **Titov I.E., Krechetnikov V.V., Mikailova R.A., Panov A.V.** Geoinformation decision support system for remediation of the ^{137}Cs contaminated agricultural lands after the Chernobyl NPP accident. *Nucl. Eng. Technol.*, 2022, vol. 54, no. 6, pp. 2244-2252. DOI: 10.1016/j.net.2021.12.017.
16. Otsenka srednikh godovykh effektivnykh doz oblucheniya kriticheskikh grupp zhiteley naselennykh punktov Rossiyskoy Federatsii, podvergshikhsya radioaktivnomu zagryazneniyu vsledstviye avarii na Chernobyl'skoy AES [Estimation of average annual effective doses of critical groups of residents of settlements of the Russian Federation exposed to radioactive contamination as a result of the Chernobyl accident]. MU 2.6.1.2003-05. Moscow, Rospotrebnadzor, 2005. 20 p.
17. **Gromov A.V.** Assessment of current internal exposure doses due to the accident at Chernobyl NPP for the citizens of some Bryansk region settlements. *Radiatsionnaya gygiena – Radiation Hygiene*, 2010, vol. 3, no. 3, pp. 28-35. (In Russian).
18. **Travnikova I.G.** The dynamics of food rations of Bryansk region population living in the territories contaminated after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya gygiena – Radiation Hygiene*, 2014, vol. 7, no. 3, pp. 26-32. (In Russian).
19. Gigienicheskie trebovaniya k bezopasnosti i pishchevoj cennosti pishchevyh produktov: Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normy SanPiN 2.3.2.1078-01 [Hygienic requirements to safety and nutritional value of food products: Sanitary and epidemiological rules and norms SanPiN 2.3.2.1078-01]. Moscow, Russian Ministry of Health, 2002. 164 p.
20. Sanitarno-jepidemiologicheskie pravila i normativy (SanPiN 2.3.2.2650-10). Dop. i izm. N 18 k SanPiN 2.3.2.1078-01 [Sanitary and epidemiologic rules and specifications (SanPiN 2.3.2.2650-10). As amended and supplemented No 18 to SanPiN 2.3.2.1078-01]. Moscow, Russian Ministry of Health, 2010. 10 p.