

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА НАСЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ПОСТРАДАВШИХ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ РАЙОНОВ РОССИИ

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

Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ

249039, Калужская обл., г. Обнинск, Студгородок, д. 1



Приведен анализ современной радиационной обстановки в населенных пунктах, расположенных на наиболее радиоактивно загрязненной после аварии на Чернобыльской АЭС территории России. В этих поселениях проведена оценка содержания ^{137}Cs в местной сельскохозяйственной (молоко, говядина, свинина, картофель) и природной (грибы) пищевой продукции, дозы внешнего и внутреннего облучения их жителей. Показано, что через 37 лет после аварии на ЧАЭС в зоне радиоактивного загрязнения остается 72 населенных пункта с общим числом жителей 63869 чел., у которых среднегодовые эффективные дозы облучения превышают 1 мЗв. Все эти города и поселки находятся в пяти юго-западных районах Брянской области и за исключением г. Новозыбков являются сельскими. За последние 30 лет количество населенных пунктов с превышением законодательно установленного норматива по суммарной дозе облучения населения (1 мЗв/год) сократилось в 7,5 раз. В связи со снижением уровня загрязнения ^{137}Cs местных продуктов питания и объемов их потребления роль внутреннего облучения в дозоформировании в последние годы уменьшается. Отмечено, что при планировании реабилитации населенных пунктов со среднегодовыми дозами облучения жителей выше 1 мЗв, кроме комплексной оценки радиационной ситуации в поселениях, аграрных и природных экосистемах, важно учитывать актуальные рационы питания жителей и реальную демографическую ситуацию на пострадавших от аварии на ЧАЭС территориях.

Ключевые слова: авария на ЧАЭС, радиоактивное загрязнение, ^{137}Cs , удельная активность радионуклидов в пищевых продуктах, доза внешнего облучения, доза внутреннего облучения.

Для цитирования: Панов А.В., Комарова Л.Н., Ляпунова Е.Р., Мельникова А.А. Особенности формирования дозовых нагрузок на население наиболее пострадавших после Чернобыльской аварии районов России. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2023. – № 3. – С. 73-84. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.3.06>

ВВЕДЕНИЕ

Авария на Чернобыльской АЭС является самой крупной радиационной катастрофой в истории атомной энергетики, которая привела к широкомасштабному загрязнению техногенными радионуклидами территории не только бывшего СССР (преимущественно Российской Федерации, Республики Беларусь и Украины), но и многих европейских стран. Основным радиологически значимым долгоживущим радионуклидом, выпавшим на территории России в результате аварийного выброса, является ^{137}Cs с периодом полураспада 30,17 лет [1]. Наиболее высокие уровни загрязнения этим радионуклидом были зафиксированы на территориях Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей, а максимальные – в шести юго-западных районах Брянской области [2]. Выпадения радиоцезия на территории населенных пунктов, в аграрных и природных экосистемах привели к формированию у населения региона аварии дополнительных к естественному фону доз внешнего и внутреннего облучения. Корректная оценка дозовых нагрузок на жителей пострадавших от аварии на ЧАЭС областей в различные периоды ликвидации ее последствий стала основой при анализе степени радиационного риска для населения и базой для его социальной поддержки [3, 4].

Наиболее актуальные официальные данные по дозам облучения населения, проживающего на пострадавших от аварии на ЧАЭС территориях, представлены в работе [5]. По данным этого каталога в 2017 г. на радиоактивно загрязненной территории были расположены 135 населенных пунктов (НП) со среднегодовой эффективной дозой облучения жителей (СГЭД) выше 1 мЗв. Согласно Федеральному закону «О радиационной безопасности населения», в этих НП необходимо проведение комплекса мероприятий по снижению дозовых нагрузок на их жителей до законодательно установленного уровня. Таким образом, по прошествии более 37-ми лет после аварии на ЧАЭС несмотря на существенное улучшение радиационной обстановки проблемы пострадавших от этой радиационной катастрофы территорий полностью не решены.

Необходимо отметить, что с течением времени после аварии на ЧАЭС в радиоактивно загрязненных районах существенно меняется радиологическая, социально-экономическая и демографическая обстановка [6, 7]. Снижаются уровни загрязнения ^{137}Cs почвенного покрова, а также удельной активности радионуклида в местных продуктах питания. Изменяется соотношение доз внешнего и внутреннего облучений населения. Меняется вклад сельскохозяйственных и природных пищевых продуктов, содержащих ^{137}Cs , в дозу внутреннего облучения населения вследствие изменения рационов питания людей [8, 9]. Представленный комплекс динамичных факторов в совокупности определяет особенности дозоформирования человека на современном этапе после аварии на ЧАЭС и эффективность предпринимаемых мер по реабилитации населенных пунктов. Поэтому целями работы являются анализ закономерностей формирования доз облучения жителей населенных пунктов в отдаленный период после аварии на ЧАЭС и оценка темпов снижения дозовых нагрузок на население.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на примере 135-ти населенных пунктов со СГЭД выше 1 мЗв [5]. Все эти НП относятся к шести юго-западным районам Брянской области (табл. 1). По данным Брянскстата не во всех из них проживает население [10]. Так за последние 20 лет количество жилых НП сократилось на 22%, а число жителей в них – на 16%.

Таблица 1

Динамика количества населенных пунктов и численности населения юго-западных районов Брянской области со СГЭД выше 1 мЗв в период 2002–2020 гг.

Район	Число НП в 2017 г. [5]	Число НП с населением [10]			Общее число жителей, чел. [10]		
		2002 г.	2010 г.	2020 г.	2002	2010	2020
Гордеевский	24	24	20	17	9670	8798	7649
Злынковский	25	24	17	15	11499	10813	9869
Климовский	2	2	2	2	89	38	13
Клинцовский	21	19	15	13	2167	1830	1477
Красногорский	18	15	14	14	3274	2192	1260
Новозыбковский	45	45	44	40	54450	50660	47521
Всего	135	129	112	101	81149	74331	67789

Согласно МУ 2.6.1.2003-05 [11], все исследуемые НП за исключением г. Новозыбков (население 38680 чел. в 2020 г.) относятся к категории сельских, т.е. с населением менее 10 тыс. чел. Жители этих НП проживают преимущественно в одноэтажных домах и ведут личные подсобные хозяйства (ЛПХ). Около 35% всех исследуемых НП – это поселения с населением 100–500 чел. При этом практически во всех по численности жителей категориях НП наблюдается тенденция к снижению количества жилых поселений во времени (рис. 1). Это обусловлено миграцией трудоспособной части населения в более радиационно безопасные и экономически развитые районы Брянской области и другие регионы в течение длительного периода времени и постепенным старением оставшихся в этих НП жителей [7].

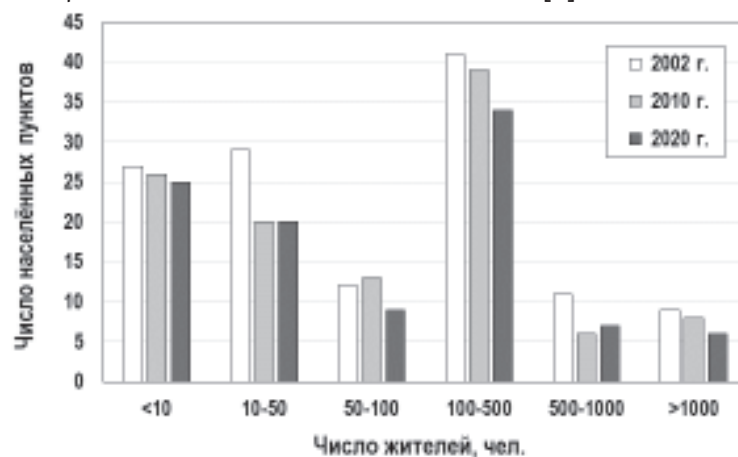


Рис. 1. Динамика распределения населенных пунктов юго-западных районов Брянской области со СГЭД более 1 мЗв по числу жителей в период 2002–2020 гг.

Дозовые нагрузки на население исследуемых НП рассчитывали на основании действующих МУ 2.6.1.2003-05 [11]. Для каждого НП были собраны результаты радиационного обследования организациями Росгидромета, Минсельхоза и Рослесхоза (табл. 2), на основании которых сформирован банк данных по уровням загрязнения ^{137}Cs территории поселений [12], прилегающих к ним лугопастбищных угодий [13, 14] и лесов [15]. Для учета радиологических и почвенных характеристик участков природных и аграрных экосистем в ареале НП использована ГИС-система по реабилитации юго-западных районов Брянской области [16].

Таблица 2

Плотность загрязнения ^{137}Cs территории населенных пунктов юго-западных районов Брянской области со СГЭД более 1 мЗв и их ареалов в 2022 г., кБк/м²

Район	Населенный пункт [12]	Пастбища [13, 14]	Леса [15]
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 среднегодовых доз внешнего облучения (СГЭД_{внеш}) жителей НП проводили по формуле

$$\text{СГЭД}_{\text{внеш}} = k_{\gamma} \cdot \sigma_{137}, \text{ мЗв/г.}, \quad (1)$$

где k_{γ} – коэффициент $1,2 \cdot 10^{-3}$ мЗв·м²/кБк·г. по [11]; σ_{137} , кБк/м², – поверхностная активность ^{137}Cs в почве на территории НП по данным [12].

Оценку среднегодовых доз внутреннего облучения (СГЭД_{внутр}) жителей НП проводили по формуле

$$\text{СГЭД}_{\text{внутр}} = d_k \cdot \sum_i A_i \cdot V_i^{\text{эфф}} \cdot K_i, \text{ мЗв/г.}, \quad (2)$$

где A_i – средняя удельная активность ^{137}Cs в i -ом пищевом продукте, Бк/кг(л); $V_i^{\text{эфф}}$ – эффективное годовое потребление i -го пищевого продукта (молоко, говядина, свинина, картофель, грибы), кг(л)/г.; K_i – коэффициент кулинарного снижения содержания ^{137}Cs в i -ом пищевом продукте (молоко – 1, говядина – 0,4, свинина – 0,4, картофель – 0,8, грибы – 0,5), отн. ед. по [17]; d_k – дозовый коэффициент для пищевого пути поступления ^{137}Cs в организм человека ($1,2 \cdot 10^{-5}$ мЗв/Бк) по [11].

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 учетом почвенных характеристик участков в районе расположения каждого НП. Преобладающими почвами в данном регионе Брянской области являются дерново-подзолистые песчаные и супесчаные, а величины КП для молока – 0,17, говядины – 0,55, свинины – 0,34, картофеля – 0,06, грибов – 13 (10^{-3} м²/кг) согласно [18].

При оценке дозы внутреннего облучения населения необходимо использовать не только данные по удельной активности ^{137}Cs в пищевых продуктах местного производства, но и актуальный рацион питания населения. В МУ 2.6.1.2003-05 [11] для расчетов принимают годовое потребление на одного человека молока – 370 л, грибов – 6 кг. Однако эти объемы потребления пищевых продуктов в юго-западных районах Брянской области уже много лет не соответствуют действительности. В последние годы производство в ЛПХ данного региона местных продуктов питания постоянно снижается, а вследствие старения населения падают и объемы их потребления [9]. Так, по данным Брянскстата в 2021 г. годовое потребление основных дозообразующих пищевых продуктов в сельских домашних хозяйствах Брянской области на одного человека составило: молоко цельное – 50,9 л, говядина и телятина – 0,4 кг, свинина – 14,4 кг, картофель – 73 кг, грибы свежие – 0,7 кг [10]. Для

расчетов использовали современные данные по рациону питания жителей НП региона исследования.

Оценку среднегодовой дозы суммарного (внешнего и внутреннего) облучения (СГЭД_{сумм}) для критической группы жителей НП проводили по формуле

$$\text{СГЭД}_{\text{сумм}} = \text{СГЭД}_{\text{внеш}} \cdot 1,8 + \text{СГЭД}_{\text{внутр}} \cdot 3,0, \text{ мЗв/год.} \quad (3)$$

Выполненные расчеты доз облучения населения 135-ти исследуемых НП на 2022 г. с учетом современных демографических показателей позволили оценить реальный масштаб остающихся проблем по реабилитации радиоактивно загрязненных территорий юго-западных районов Брянской области.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассчитанные для каждого исследуемого НП уровни удельной активности ¹³⁷Cs в основных дозообразующих аграрных и природных пищевых продуктах (табл. 3) близки к результатам исследований других авторов [19]. Полученные нами данные демонстрируют, что в ЛПХ населенных пунктов со СГЭД выше 1 мЗв в настоящее время производятся картофель и свинина, полностью удовлетворяющие санитарно-гигиеническим требованиям (СанПиН) по содержанию ¹³⁷Cs. В молоке из частного сектора этих НП содержание радионуклида может превышать граничный уровень СанПиН до трех (в среднем – 1,5), в говядине до пяти (в среднем – 2,5) раз. Оценка удельной активности ¹³⁷Cs в грибах, которые могут быть собраны в наиболее радиоактивно загрязненных лесах вблизи НП со СГЭД более 1 мЗв, показывает, что во всех поселениях санитарно-гигиенический норматив по ¹³⁷Cs будет превышен для данного пищевого продукта до 8–17 раз.

Результаты расчетов доз облучения населения демонстрируют, что по сравнению с 2017 г. (135 НП) СГЭД превышает 1 мЗв в 2022 г. в 98 НП, что обусловлено распадом ¹³⁷Cs и снижением доз как внешнего, так и внутреннего облучения (табл. 4). Кроме сокращения общего количества НП с превышением дозовых нагрузок на население можно отметить и перераспределение составляющих доз – внешнего и внутреннего облучения. В таблице 4 представлен разработанный в [20] подход, который позволяет классифицировать НП с превышением дозовых нагрузок на население по уровню

Таблица 3

Удельная активность ¹³⁷Cs в местных пищевых продуктах населенных пунктов юго-западных районов Брянской области со СГЭД более 1 мЗв в 2022 г., Бк/кг(л)

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 - 2001/2010	100	200	200	80	500

* – арифметическое среднее, в скобках минимальные и максимальные значения

Таблица 4

Распределение населенных пунктов России со СГЭД выше 1 мЗв после аварии на ЧАЭС

Средняя доза внутреннего облучения, мЗв/г.	Плотность загрязнения территории населенного пункта ¹³⁷ Cs, кБк/м ²			
	37 – 185	185 – 370	370 – 555	> 555
1991 г. [20]				
< 0,5	0	30	18	33
0,5 – 1	19	69	25	30
> 1	73	74	72	97
1996 г. [20]				
< 0,5	0	6	22	2
0,5 – 1	0	28	70	84
> 1	7	12	11	65
2001 г. [20]				
< 0,5	0	0	18	2
0,5 – 1	3	7	47	97
> 1	6	7	6	23
2017 г. [5]				
< 0,5	0	0	0	0
0,5 – 1	0	55	21	2
> 1	0	4	34	19
2022 г.				
< 0,5	0	43	6	2
0,5 – 1	0	0	36	11
> 1	0	0	0	0

ням поверхностной плотности загрязнения ¹³⁷Cs территории поселений и дозам внутреннего облучения. Видно, что по официальным данным в 2017 г. 58% НП с превышением лимита дозовой нагрузки на жителей имели дозы внутреннего облучения в диапазоне 0,5–1 мЗв/г. По расчетам на 2022 г. доля НП в этом диапазоне сократилась до 48%, а большая их часть (52%) перешла в группу с дозой внутреннего облучения на уровне менее 0,5 мЗв/г., т.е. вклад внешнего облучения в НП этой зоны является доминирующим. Все это говорит о снижении роли внутреннего облучения в дозоформировании при учете реальных рационов питания населения. Населенные пункты со СГЭД выше 1 мЗв достаточно равномерно распределены по плотностям загрязнения ¹³⁷Cs территории поселений (зоны 185–370 и 370–555 кБк/м²), кроме высокорadioактивно загрязненной зоны. При этом с увеличением плотности загрязнения ¹³⁷Cs роль внутреннего облучения в формировании СГЭД возрастает. По данным каталога [5] в 2017 г. основной вклад в суммарную дозу вносило внутреннее облучение – 64% (при вариативности 43–72%). Расчеты на 2022 г. демонстрируют иную картину. Вклад внутреннего облучения в СГЭД оказался меньше и в среднем составляет 36% при разбросе данных в диапазоне 19–39%. Такие отличия связаны в

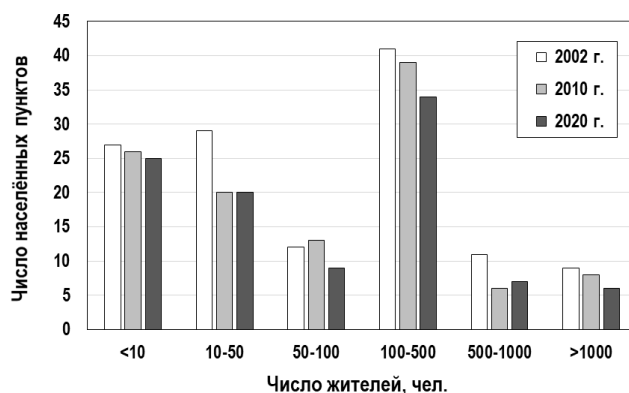


Рис. 2. Динамика количества жилых населенных пунктов России со СГЭД более 1 мЗв

большей степени с рационами питания населения, которые больше в МУ 2.6.1.2003-05 по сравнению с реальными для молока – в 7,5 раза, по грибам – в 8,5 раза.

Сопоставляя полученные данные по дозовым нагрузкам на население юго-западных районов Брянской области с современной демографической ситуацией видно, что в 2022 г. из 98 НП с превышением СГЭД 1 мЗв реально жилыми являются 72 населенных пункта (рис. 2). В этих НП в настоящее время проживает 63 869 чел. Из этой когорты населения 39% приходится на сельские населенные пункты и 61% на г. Новозыбков.

По сравнению с 1991 г. (т.е. за 30 лет) количество НП с превышением СГЭД в 1 мЗв сократилось в 7,5 раз, и если в первые 10–20 лет после аварии на ЧАЭС это снижение происходило, в основном, за счет защитных и реабилитационных мероприятий [20], то в последние годы эффект от применения контрмер значительно сократился, и оно определяется преимущественно за счет распада ^{137}Cs . Учитывая, что в 1990-е годы в стратегии применения защитных мероприятий в населенных пунктах предпочтение отдавалось технологиям, направленным на снижение доз внутреннего облучения населения [20], а в настоящее время роль этой составляющей в дозоформировании снизилась, следует скорректировать подходы к дальнейшей реабилитации населенных пунктов и определить наиболее эффективные технологии в современных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в работе данные отражают масштаб остающихся задач по реабилитации населенных пунктов, расположенных на радиоактивно загрязненной вследствие аварии на ЧАЭС территории. Для 72-х НП с превышением доз облучения населения необходима разработка адресных программ реабилитации с целью возвращения их к условиям нормальной жизнедеятельности по радиационному фактору. Результаты исследования также показывают, что при оценке необходимости реабилитации населенных пунктов кроме радиационной обстановки важно учитывать актуальные рационы питания населения и реальную демографическую ситуацию на пострадавших от аварии на ЧАЭС территориях. В целом, следует отметить необходимость продолжения радиоэкологического мониторинга в населенных пунктах со СГЭД выше 1 мЗв, уделив особое внимание оценке удельной активности ^{137}Cs в местных критических по дозоформированию пищевых продуктах, которые, как правило, не проходят обязательный радиационный контроль. Для оценки средних годовых эффективных доз облучения населения по МУ 2.6.1.2003-05 с учетом большой разницы в используе-

мых в них данных о рационах питания с реальными объемами потребления в настоящее время сельскими жителями местных пищевых продуктов в Брянской области необходима корректировка методических указаний в части рационов.

Благодарности

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

Литература

1. IAEA. International Atomic Energy Agency. 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.
Электронный ресурс: <https://www.iaea.org/publications/7382/environmental-consequences-of-the-chernobyl-accident-and-their-remediation-twenty-years-of-experience> (дата доступа 29.01.2023).
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.
Электронный ресурс: <https://chernobyl.mchs.gov.by/informatsionnyu-tsentr/atlas-sovremennykh-i-prognoznnykh-posledstviy-katastrofy-na-chaes/> (дата доступа 29.01.2023).
3. *Власов О.К., Брук Г.Я., Звонова И.А., Шукина Н.В.* Оценки неопределенностей доз внешнего и внутреннего облучения населения в загрязненных областях РФ после аварии на ЧАЭС на основе инструментальных данных // *Радиация и риск*. – 2022. – Т. 31. № 4. – С. 34-52.
DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2022-31-4-34-52>
4. Постановление Правительства РФ от 08.10.2015 № 1074 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС».
5. *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 населенных пунктов Российской Федерации, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (для целей зонирования населенных пунктов) // *Радиационная гигиена*. – 2017. – Т. 10. № 4. – С. 73-78. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-4-73-78>
6. *Романович И.К., Брук Г.Я., Барковский А.Н., Братилова А.А., Громов А.В., Кадука М.В.* Обоснование концепции перехода населенных пунктов, отнесенных в результате аварии на Чернобыльской АЭС к зонам радиоактивного загрязнения, к условиям нормальной жизнедеятельности населения // *Радиационная гигиена*. – 2016. – Т. 9. № 1. – С. 6-18.
7. *Панов А.В.* Возвращение радиоактивно загрязненных 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.
DOI: <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2021-0-1-05-13>.
8. *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.
9. *Травникова И.Г.* Динамика изменений рационов питания населения Брянской области, живущего на территориях, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС // *Радиационная гигиена*. – 2014. – Т. 7. № 3. – С. 26-32.
10. Письмо Брянскстата № ТБ-Т35-09/773-ТС от 22.02.2023 «О предоставлении статистической информации».
11. Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. МУ 2.6.1.2003-05. М., 2005. – 20 с.
12. Данные по радиоактивному загрязнению территории населенных пунктов Российской Федерации ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ / *Под ред. С.М. Вакуловского*. Обнинск: Тайфун, 2022. – 233 с.

Электронный ресурс: <https://www.rpatyphoon.ru/products/pollution-media.php> (дата доступа 29.01.2023).

13. *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.

DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2017-26-3-66-74>.

14. *Панов А.В., Прудников П.В., Титов И.Е., Кречетников В.В., Ратников А.Н., Шубина О.А.* Радиозологическая оценка сельскохозяйственных земель и продукции юго-западных районов Брянской области, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12. № 1. – С. 25-35.

DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-1-25-35>.

15. *Марченко Т.А., Радин А.И., Раздайков А.Н.* Ретроспективное и современное состояние лесных территорий приграничных районов Брянской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению // Радиационная гигиена. – 2020. – Т. 13. № 2. – С. 6-18.

DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-2-6-18>.

16. *Titov I.E., Kretchetnikov 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 // Nuclear Engineering and Technology. – 2022. – Vol. 54. – Iss. 6. – PP. 2244-2252.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.12.017>.

17. *Громов А.В.* Оценка текущих доз внутреннего облучения жителей отдельных населенных пунктов Брянской области вследствие аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3. № 3. – С. 28-35.

18. *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.

DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-2-53-59>.

19. *Белоус Н.М., Прудников П.В., Щеглов А.М., Смольский Е.В., Белоус И.Н., Силаев А.Л.* Вероятность получения молока и кормов, не соответствующих допустимым уровням содержания ^{137}Cs на территории юго-запада Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиация и риск. – 2019. – Т. 28. № 3. – С. 36-46.

DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2019-28-3-36-46>

20. *Панов А.В., Фесенко С.В., Алексахин Р.М., Пастернак А.Д., Прудников П.В.* Радиологическая оценка защитных мероприятий в частном секторе сельских населенных пунктов в регионе аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2007. – Т. 47. № 2. – С. 224-230.

Поступила в редакцию 03.02.2023

Авторы

Панов Алексей Валерьевич, и.о. директора, доктор биологических наук, профессор РАН,

E-mail: riar@mail.ru

Комарова Людмила Николаевна, профессор, доктор биологических наук,

E-mail: komarova_l411@mail.ru

Ляпунова Елена Романовна, доцент, кандидат биологических наук;

E-mail: lyapunovae@gmail.com

Мельникова Анжелика Александровна, аспирант;

E-mail: angelik_melnikova@mail.ru

Peculiarities of the Exposure Dose Formation on the Population in the Most Affected Regions of Russia After the Chernobyl NPP Accident

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

IATE MEFhI

1 Studgorodok, 249039 Obninsk, Kaluga Reg., Russia

ABSTRACT

The paper presents an analysis of the current radiation situation in the settlements of the Russian Federation located on the most radioactively contaminated territory after the Chernobyl accident. The assessment of ^{137}Cs content in local agricultural (milk, beef, pork, potatoes), natural (mushrooms) foodstuffs, doses of external, and internal irradiation of residents was carried out. 37 years after the Chernobyl NPP accident, 72 settlements with a total number of residents of 63869 remain in the zone of radioactive contamination whose average effective radiation doses exceed 1 mSv/year. All these settlements are located in five southwestern districts of the Bryansk region and are rural except for the Novozybkov. In the private sector of settlements, potatoes and pork fully comply with radiological standards for the content of ^{137}Cs . In milk, the content of the radionuclide can exceed the standards up to 3, in beef up to 5, in mushrooms up to 8–17 times. Over the past 30 years, the number of settlements exceeding the legally established standard for the total exposure dose to the population (1 mSv/year) has decreased by 7.5 times. Due to the decrease in the levels of ^{137}Cs contamination of local foodstuffs and the volume of their consumption, the role of internal exposure dose has been decreasing in recent years. It was noted that in addition to a comprehensive assessment of the radiation situation in settlements, agricultural and natural ecosystems, when planning the rehabilitation of settlements with average annual radiation doses of residents above 1 mSv, it is important to take into account the current diets of residents and the real demographic situation in the territories affected by the Chernobyl accident.

Key words: Chernobyl accident, radioactive contamination, ^{137}Cs , specific activity of radionuclides in foodstuffs, external exposure dose, internal exposure dose.

For citation: Panov A.V., Komarova L.N., Lyapunova E.R., Mel'nikova A.A. Peculiarities of the Exposure Dose Formation on the Population in the Most Affected Regions of Russia after the Chernobyl NPP Accident. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2023, № 3, pp. 73-84; DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.3.06> (in Russian).

REFERENCES

1. IAEA. International Atomic Energy Agency. 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. Available at: <https://www.iaea.org/publications/7382/environmental-consequences-of-the-chernobyl-accident-and-their-remediation-twenty-years-of-experience> (accessed Jan. 29, 2023).
2. 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. Available at: <https://chernobyl.mchs.gov.by/informatsionnyy-tsentr/atlas-sovremennykh-i-prognoznykh-posledstviy-katastrofy-na-chaes/> (accessed Jan. 29, 2023) (in Russian).

3. *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. *Radiation and Risk*. 2022, no. 31 (4), pp. 34-52; DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2022-31-4-34-52> (in Russian).
4. 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", M, 2015.
5. *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*. 2017, no. 10 (4), pp. 73-78; DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-4-73-78> (in Russian).
6. *Romanovich I.K., Bruk G.Y., Barkovskiy A.N., Bratilova A.A., Gromov A.V., Kaduka M.V.* Substantiation of the concept of transfer to conditions of normal population activity of the settlements considered to be zones of radioactive contamination after the Chernobyl NPP accident. *Radiatsionnaya Gygiena*. 2016, no. 9 (1), pp. 6-18 (in Russian).
7. *Panov A.V.* Returning radioactively contaminated territories to normal life: current problems and ways for solution (35 years after the Chernobyl NPP accident). *Medico-Biological and Socio-Psychological Issues of Safety in Emergency Situations*. 2021, no. 1, pp. 5-13; DOI: <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2021-0-1-05-13> (in Russian).
8. *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*. 2013, no. 6 (2), pp. 11-20 (in Russian).
9. *Travnikova I.G.* The dynamics of food rations of Bryansk region population living in the territories contaminated after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena*. 2014, no. 7 (3), pp. 26-32 (in Russian).
10. Official order of Bryansk Statistic Department No. TB-T35-09/773-TS dated February 22, 2023 "On the provision of statistical information". (in Russian).
11. 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, 2005. 20 p. (in Russian).
12. Data on radioactive contamination of the territory of settlements of the Russian Federation with ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$. Eds.: *S.M. Vakulovsky*. Obninsk. 2022. 233 p. Available at: <https://www.rpatyphoon.ru/products/pollution-media.php> (accessed Jan. 29, 2023) (in Russian).
13. *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. *Radiation and Risk*. 2017, no. 26 (3), pp. 66-74; DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2017-26-3-66-74> (in Russian).
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*. 2019, no. 12 (1), pp. 25-35; DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-1-25-35> (in Russian).
15. *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*. 2020, no. 13 (2), pp. 6-18; DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-2-6-18> (in Russian).
16. *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, no. 54 (6), pp. 2244-2252. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.12.017>.
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*. 2010, no. 3 (3), pp. 28-35 (in Russian).
18. *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*. 2018, no. 11 (2), pp. 53-59;
DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-2-53-59> (in Russian).

19. *Belous N.M., Prudnikov P.V., Shcheglov A.M., Smolskiy E.V., Belous I.N., Silayev A.L.* Estimating risk of radiocesium presence at levels exceeded the permissible amount of the radionuclide in forage and milk from the south-west part of Bryansk region long after the Chernobyl accident. *Radiation and Risk*. 2019, no. 28 (3), pp. 36-46; DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2019-28-3-36-46> (in Russian).

20. *Panov A.V., Fesenko S.V., Alexakhin R.M., Pasternak A.D., Prudnikov P.V.* Radiological assessment of protective countermeasures in the private sector of rural settlements in the Chernobyl nuclear power plant accident area. *Radiatsionnaia biologiya, radioecologiya*. 2007, no. 47 (2), pp. 224-230 (in Russian).

Authors

Aleksei V. Panov, Acting Director, Dr. Sci. (Biology), professor RAS,

E-mail: riar@mail.ru

Ludmila N. Komarova, Professor, Dr. Sci. (Biology),

E-mail: komarova_l411@mail.ru

Elena R. Lyapunova, Associate Professor, Ph.D. (Biology),

E-mail: lyapunovae@gmail.com

Anzhelika A. Mel'nikova, Graduate student,

E-mail: angelik_melnikova@mail.ru