

Содержание ^{137}Cs в организме жителей населенных пунктов Брянской области по результатам радиационно-гигиенических обследований

Романович И.К., Базюкин А.Б., Братилова А.А., **Брук Г.Я.**, Жеско Т.В., Кадука М.В., Кравцова О.С.

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Измерения содержания ^{137}Cs в организме жителей территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, на счетчике (спектрометре) излучения человека дают наиболее точную оценку в определении уровней радиационного воздействия на население. Целью данного исследования являлся анализ уровней содержания ^{137}Cs в организме жителей населенных пунктов Брянской области, расположенных в границах чернобыльского следа, по результатам таких измерений. Материалы и методы: В период 2019-2022 гг. проведены измерения содержания ^{137}Cs в теле более 10 тысяч жителей юго-западных территорий Брянской области. Результаты исследования и обсуждение: Наиболее высокие уровни ^{137}Cs выявлены у жителей, в чей рацион питания включены такие продукты природного происхождения, как мясо диких животных и лесные грибы. Показано, что средние уровни содержания ^{137}Cs в организме жителей малых населенных пунктов (с численностью населения до 100 человек) выше, чем у жителей более крупных населенных пунктов. Заключение: Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о необходимости выделения населенных пунктов с численностью жителей менее 100 человек в отдельную категорию. Анализ характеристик распределений нормированных величин удельной активности ^{137}Cs в теле детей дошкольного возраста, не посещающих детские учреждения, подтвердил оправданность обособления этой категории детского населения в дозиметрических моделях.

Ключевые слова: авария на Чернобыльской АЭС, население, внутреннее облучение, цезий-137, СИЧ-измерения.

Введение

Дозиметрические модели оценки доз внутреннего облучения населения территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), в системе радиационной защиты населения Российской Федерации базируются на двух основных подходах: по поступлению радионуклидов в организм жителей с пищевыми продуктами и по содержанию ^{137}Cs в организме человека¹. Для оценки поступления радионуклидов в организм жителей радиоактивно загрязненных территорий исследуются рационы питания населения местными пищевыми продуктами и определяется содержание радионуклидов в таких пищевых продуктах. Для оценки содержания ^{137}Cs в организме жителей используется метод измерения человека на счетчике (спектрометре) излучений.

Измерения содержания изотопов цезия в организме жителей территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на ЧАЭС, на счетчике (спектрометре) излучения человека (СИЧ) начали с первого года после аварии [1–4]. Использование этого метода дает наиболее точную оценку в определении уровней радиационного воздействия на население, поскольку исключает как недооценку поступления радионуклида в организм жителей, так и его переоценку [5]. Поэтому, наряду с исследованиями параметров алиментарного пути поступления радионуклидов, в программу мониторинга доз облучения населения территорий чернобыльского следа в отдаленный период после аварии включены прямые измерения ^{137}Cs в теле жителей². Такие измерения были проведены в 2019–2022 гг. в населенных пунктах (НП) юго-западных территорий Брянской области [6].

¹Методические указания МУ 2.6.1.2003-05 «Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей на селенных пунктах Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС». М., 2005. 16 с. [Methodological guidelines. The assessment of critical population groups average annual effective exposure doses in radioactively contaminated Russian Federation settlements after Chernobyl NPP accident (MG 2.6.1.2003-05), Moscow, 2005, 16 p. (In Russ.)]

²Методические рекомендации по обеспечению радиационной безопасности «Радиационный мониторинг доз облучения населения территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС» // Радиационная гигиена. 2008. Т. 1, № 2. С. 72-96 [Methodical guidelines "Radiation monitoring of exposure doses to the public of the radioactive contaminated territories due to the accident at the Chernobyl nuclear power plant". Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2008; 1(2): 72-96. (In Russ.)]

Братилова Анжелика Анатольевна

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева

Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: bratilova@gmail.com

Данная публикация является продолжением цикла статей³, посвященных результатам работы 2019-2022 гг. по изучению современной радиационной обстановки на приграничных с Республикой Беларусь территориях Брянской области, и представляет результаты измерений содержания ¹³⁷Cs в теле жителей обследованных НП.

Цель исследования – по результатам СИЧ-измерений провести анализ современных уровней содержания ¹³⁷Cs в организме жителей НП Брянской области, расположенных в границах чернобыльского следа.

Материалы и методы

Измерения содержания ¹³⁷Cs в организме жителей радиоактивно загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС выполнены в рамках радиационно-гигиенических обследований НП радиоактивно загрязненных территорий Брянской области в период 2019-2022 гг. [6]. Методы проведения радиационно-гигиенических обследований территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на ЧАЭС, изложены в соответствующих методических документах^{2,4,5,6} Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор).

Содержание ¹³⁷Cs в организме жителей было определено путем измерений содержания данного радионуклида в теле человека с использованием гамма-спектрометра (СИЧ-измерения) использовался портативный спектрометр-радиометр гамма-излучения diGiDART (ORTEC, США) с детектором NaI(Tl) 75 x 75 мм. Измерения проводили в положении обследуемого человека «сидя»² с детектором у нижней части живота. Время измерения фона составляло 300 с, время измерения человека – 100 с. Условия проведения измерений соответствовали экспедиционным: измерения проводили в обследуемом НП; место измерения располагалось в наиболее подходящем для размещения спектрометрического оборудования и организации измерений здании. СИЧ-измерения были организованы в летний и осенний периоды года.

Следует отметить, что к преимуществам использования портативного спектрометра относится возможность проведения СИЧ-измерений жителей, ранее не проходивших по разным причинам (социальным, возрастным и прочим) этот вид обследования. Охват СИЧ-измерениями таких представителей населения позволяет получить более полную информацию об уровнях содержания ¹³⁷Cs в организме жителей НП. К недостаткам использования портативных СИЧ относится: отсутствие защиты детектора от внешнего гамма-излучения; значительно варьирующий коэффициент экранирования в зависимости от плотности загрязнения местности гамма-

излучающими радионуклидами, пространственного распределения фонового излучения, массы и пропорций измеряемого человека, условий проведения измерения².

Исследование результатов СИЧ-измерений проводилось для пяти групп населения^{4,5}: взрослые жители (в возрасте от 18 лет и старше), дети в возрасте от 15 до 17 лет включительно («подростки»), дети в возрасте от 7 до 14 лет включительно («школьники»), дети в возрасте от 1 до 6 лет включительно («дошкольники»), посещающие и не посещающие детские дошкольные учреждения..

В период 2019–2022 гг. были проведены измерения свыше 10 тыс. жителей приграничных с Республикой Беларусь НП Брянской области [6] в возрасте от двух до 94 лет. Самая многочисленная группа измеренных жителей – взрослые (~ 7 тыс. чел.), а среди детей (~ 3,3 тыс. чел.) – школьники (примерно 70 % обследованного детского населения). В меньшей степени охвачены СИЧ-измерениями дети дошкольного возраста – только 6 % от общего количества измеренных жителей младше 18 лет, что можно объяснить малочисленностью этой возрастной когорты, в особенности в НП сельского типа.

В исследовании НП поделены на два типа¹: «НП типа I» – сельские НП и НП городского типа, где большинство жителей имеет личные подсобные хозяйства, и «НП типа II» – городские НП, где жители приобретают пищевые продукты, в основном, в торговой сети. Ко второй категории отнесены города Клинцы и Новозыбков, к первой – остальные НП [6].

Данные о плотности загрязнения почвы территории НП были предоставлены Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет).

Расчеты, обработка и статистический анализ данных проводились с использованием табличного процессора MS Excel, пакетов статистической обработки среды программирования R (CRAN), платформы статистического анализа JASP. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием параметрических и непараметрических методов анализа.

Результаты и обсуждение

Современные уровни значений удельной активности (УА) ¹³⁷Cs в теле жителей трех (наиболее многочисленных) возрастных категорий из 192 НП проиллюстрированы на рисунке 1 (в различных границах радиоактивного загрязнения почвы территории НП⁷), а статистические характеристики оцененных значений⁸ для взрослых жителей НП двух типов, в качестве примера – с загрязнением почвы ¹³⁷Cs от 37 до 555 кБк/м², представлены в таблице 1.

³ Опубликованы в журнале «Радиационная гигиена» [6–9].

⁴ МР 2.6.1.0006-10. Проведение комплексного экспедиционного радиационно-гигиенического обследования населенного пункта для оценки доз облучения населения. Методические рекомендации. М.: Федеральный Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. 10 с. [MR 2.6.1.0006-10. Carrying out the comprehensive expeditionary radiation-hygienic survey of the settlement to assess the exposure doses to the public. Methodical guidelines. Moscow: Rosпотребнадзор; 2010. 10 p. (In Russ.)]

⁵ МР 2.6.1.0007-10: Оценка доз облучения детей, проживающих на территориях, радиоактивно загрязненных вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. М.: Федеральный Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 27 с. [MR 2.6.1.0007-10. Assessment of exposure doses to children living in areas with radioactive contamination due to the accident at the Chernobyl nuclear power plant. Methodical guidelines. Moscow: Rosпотребнадзор; 2011. 27 p. (In Russ.)]

⁶ Методические рекомендации по обеспечению радиационной безопасности «Радиационный мониторинг доз облучения населения территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС» // Радиационная гигиена. 2008. Т. 1, № 2. С. 72-96. [Methodical guidelines "Radiation monitoring of exposure doses to the public of the radioactive contaminated territories due to the accident at the Chernobyl nuclear power plant". Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2008;1(2): 72-96. (In Russ.)]

⁷ По данным Росгидромет о средней плотности загрязнения ¹³⁷Cs почвы территории НП по состоянию на год проведения измерений.

⁸ Оценка статистических характеристик распределений исследуемых величин УА проводилась без использования методов анализа цензурированных данных.

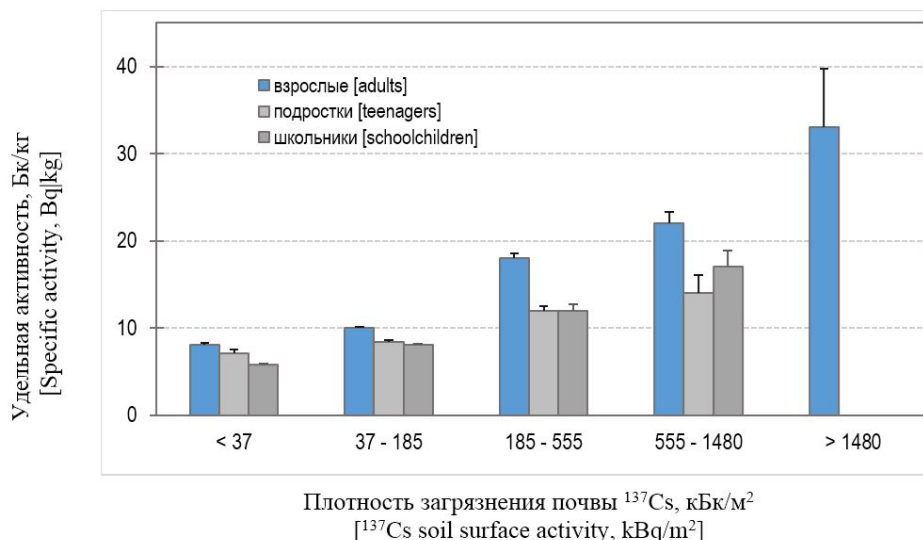


Рис. 1. Средние значения удельной активности ¹³⁷Cs в теле жителей НП, Бк/кг (по уровням плотности загрязнения почвы НП)

[Fig. 1. Average values of specific activity of ¹³⁷Cs in the whole body of residents (by the levels of ¹³⁷Cs soil surface activity in the settlements)]

Таблица 1

Удельная активность ¹³⁷Cs в организме взрослых жителей НП, Бк/кг

[Table 1

Specific activity of ¹³⁷Cs in the whole body of residents, Bq/kg

Плотность загрязнения ¹³⁷ Cs почвы территории НП, кБк/м ² [¹³⁷ Cs soil surface activity, kBq/m ²]	Статистические параметры [Statistical parameters]*					
	N	Среднее ± Ст.ош. [Mean ± St.Err.]	Медиана [Median]	Геом. средн. [GM]	KB [CV]	Мин. - Макс. [Min. - Max.]
НП типа I [Settlements "Type I"]						
37 – 185	2550	10 ± 0,19	7,7	8,8	0,9	4 – 250
185 – 555	2144	19 ± 0,71	12	13	1,8	4 – 870
НП типа II [Settlements "Type II"]						
37 – 185	1135	9,3 ± 0,17	7,4	8,3	0,6	5 – 76
185 – 555	660	14 ± 0,7	8,7	11	1,3	4 – 290

* Здесь и далее используются следующие обозначения статистических параметров: N – количество измеренных жителей; Среднее – среднее арифметическое значение; Ст.ош. – стандартная ошибка среднего; Геом. средн. – среднее геометрическое значение; KB – коэффициент вариации; Максимум (Макс.) – максимальное значение [The names and symbols of quantities are hereafter called as: N – the number of the inhabitants; Mean – the arithmetic mean; St.Err. – the standard error; Median – the median value; GM – the geometric mean; CV – the coefficient of variation; Maximum (Max.) – the maximum value].

Результирующая погрешность индивидуальных измерений² в среднем для всего массива полученных результатов составила 40 % (диапазон: 18–80 %), т.е. для части измерений неопределенность при доверительной вероятности 95 % можно признать существенной. Наиболее высокие значения результирующей погрешности характерны для значений измеренной активности, близких к минимально детектируемой активности (МДА). Минимально детектируемый уровень обнаружения активности над уровнем флуктуаций фона с доверительной вероятностью 95 % также существенно разнился и в среднем составил 460 Бк. Разброс значений МДА связан с особенностями использования портативных спектрометров в качестве СИЧ и спецификой проведения измерений в экспедиционных условиях. Доля СИЧ-измерений, не превышающих МДА, составила 42 %, из них 70 % измерений были проведены жителям НП, где плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs

не превышала 185 Бк/м², т.е. жителям территорий с относительно невысоким загрязнением. Такие данные (ниже МДА) из общего массива результатов СИЧ-измерений не исключались, поскольку наряду с детектируемыми уровнями содержания ¹³⁷Cs в теле человека характеризуют современную радиационную обстановку на исследуемых территориях.

Для представителей населения, у которых измеренная активность радионуклида в теле была ниже уровня детектирования, УА оценивалась по значению МДА. Существенное влияние на статистические характеристики распределений величин таким образом оцененных УА могли оказать при обработке результатов, полученных, как было сказано выше, для жителей территорий с относительно невысоким загрязнением окружающей среды (так, к примеру: доля взрослых жителей НП, где плотность загрязнения ¹³⁷Cs почвы не превышала 185 Бк/м², у которых измеренная активность была ниже

МДА, в среднем составила 42 %; доля взрослых жителей НП, где плотность загрязнения ^{137}Cs почвы фиксировалась в диапазоне от 555 до 1480 Бк/м², – 16 %). Однако следует отметить, что значения УА, оцененные по МДА, в большей части были невысоки: на территориях с загрязнением до 185 Бк/м² для возрастной категории «школьники» в среднем не превышали 6,9 Бк/кг; от 185 до 555 Бк/м² – 8,3 Бк/кг, от 555 до 1480 Бк/м² – 9,1 Бк/кг; для взрослых жителей этих территорий и подростков – от 6,2 до 7,4 Бк/кг. Только для взрослых жителей НП с загрязнением территории свыше 1480 Бк/м² оцененные по МДА значения УА составили 16 Бк/кг; однако 80 % результатов УА для жителей такого типа территорий были выше указанного значения.

Полученные оценки УА (см. табл. 1) можно сопоставить со значением УА, при котором годовая доза внутреннего облучения жителя, обусловленная присутствием в окружающей среде ^{137}Cs , составила бы половину⁹ величины предела дозы техногенного облучения для населения, равного 1 мЗв¹⁰. Это

значение соответствует 217 Бк/кг. Как следует из приведенной в таблице 1 информации, среди жителей обследованных НП имеются представители населения, для которых средняя годовая доза техногенного облучения может превысить установленный санитарными правилами предел.

Из анализа распределений значений УА ^{137}Cs в теле измеренных жителей НП следует, что среди населения есть представители, для которых содержание ^{137}Cs в организме существенно выше – кратность превышения максимальных значений над средними по НП среди взрослых жителей достигает почти 30 раз, среди детей – 10 раз. Рисунок 2, на котором представлены диаграммы размаха значений УА ^{137}Cs в теле жителей (по уровням плотности загрязнения почвы НП) с указанием медианы, нижнего и верхнего квартилей, в отношении двух возрастных групп – взрослого и детского населения в возрасте от 7 до 14 лет (школьники) – также наглядно демонстрирует присутствие нетипичных (аномальных) значений.

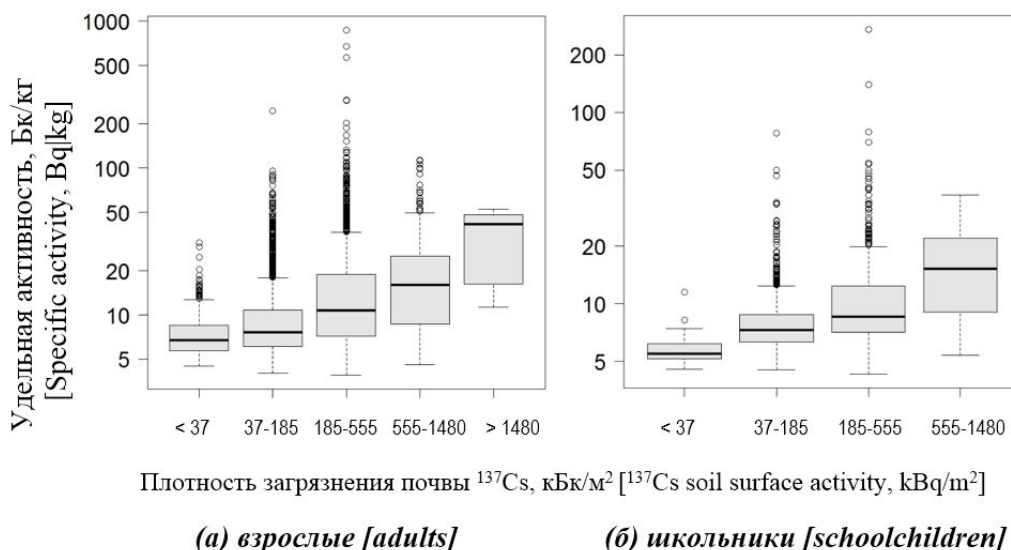


Рис. 2. Распределение значений удельной активности ^{137}Cs в организме жителей (по уровням плотности загрязнения почвы НП)

[Fig. 2. Specific activity of ^{137}Cs in the whole body of residents (by levels of ^{137}Cs soil surface activity in the settlements)]

Максимальные значения содержания ^{137}Cs в организме взрослых жителей (около 900 Бк/кг) и школьников (около 300 Бк/кг) были измерены в 2020 году в НП Злынковского района. Наиболее высокие значения УА ^{137}Cs в теле жителей подросткового возраста не превысили 100 Бк/кг (п. Климово Климовского района, где плотность радиоактивного загрязнения почвы территории (σ^{137}) на год измерения была чуть ниже 185 кБк/м²), детей дошкольного возраста – 69 Бк/кг (НП Клинцовского и Гордеевского районов, где $185 < \sigma^{137} < 555$ кБк/м²).

В 2022 году во время проведения СИЧ-измерений был проведен опрос измеренных жителей о потреблении ими пищевых продуктов природного происхождения – лесных грибов и ягод, а также прочих продуктов (в т.ч. дичи, рыбы местных водоемов). Сопоставление усредненных величин стандартизованных значений УА ^{137}Cs (стандартизация проведена по среднему значению для возрастной группы жителей в НП) для опрошенных жителей (2213 чел.) с различными предпочтениями в потреблении природных пищевых продуктов, продемонстрированное на рисунке 3, подтверждает

⁹Годовая доза техногенного облучения определяется как сумма дозы внешнего облучения и дозы внутреннего облучения. Здесь сделано предположение, что доза внешнего и доза внутреннего облучения сопоставимы.

¹⁰Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523 09. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 No 47 (зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 14.08.2009, регистрационный No 14534). [Norms of radiation safety (NRB-99/2009). Sanitary rules and norms SanPiN 2.6.1.2523-09. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 07.07.2009 No. 47 (registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on 14.08.2009, registration No. 14534). (In Russ.)]

факт влияния фактора потребления природных продуктов на уровни содержания ^{137}Cs в организме жителей [7], а различные средние значения стандартизованной УА ^{137}Cs в организме жителей, включающих в свой рацион питания природные продукты, указывают на различную степень такого

влияния. Различные же доверительные интервалы оцененных средних значений (на рис. 3 обозначены линиями) демонстрируют, хотя и косвенным образом, разную степень разброса содержания ^{137}Cs и в самих природных пищевых продуктах [9].

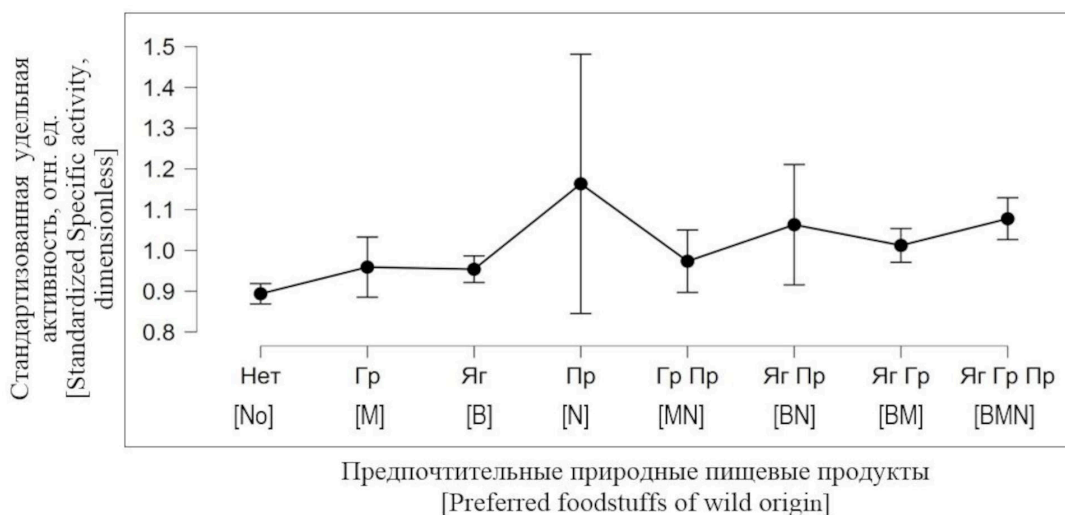


Рис. 3. Доверительные интервалы ($P=0,95$) средних значений стандартизованной удельной активности ^{137}Cs в теле жителей. Обозначения: Нет – без употребления, Гр – грибы, Яг – ягоды, Пр - прочие природные продукты)

[Fig. 3. Confidence intervals ($P=0.95$) for the mean values of standardized specific activity of ^{137}Cs in the whole body of residents. The symbols: No – no consumption, M – mushrooms, B – forest berries, N – other natural (wild origin) foodstuffs]

Большой массив полученных в исследовании данных позволил выявить характеристики величин, стандартизованных для НП с различным радиоактивным загрязнением. Нормированные на среднюю плотность загрязнения почвы территории НП значения УА ^{137}Cs в теле жителей, оцененные по результатам исследований 2019-2022 гг. для территорий, где плотность загрязнения почвы ^{137}Cs была выше 37 kBq/m^2 , представлены в таблице 2 (с исключением аномальных значений согласно критерию «интервала доверия» [10] применительно к распределению логарифмированных величин). Поскольку проведение СИЧ-измерений осуществляли в разные месяцы календарного года, перед процедурой стандартизации значения УА ^{137}Cs были унифицированы с учетом сезонного коэффициента⁶. Следует принимать во внимание, что в таблице 2 приведены обобщенные значения нормированных величин без разделения НП по преобладающим группам типов почв, что, возможно, следует учитывать при построении прогностических дозовых моделей. Однако с использованием данных таблицы 2 можно получить ориентировочные оценки УА ^{137}Cs в теле жителей, перемножив соответствующее значение нормированной величины на плотность загрязнения радионуклидом почвы территории НП, выраженную в kBq/m^2 .

Изучение характеристик распределений¹¹ значений УА в отношении жителей НП с различной численностью населения (в пределах территории с одним уровнем радиоактивного загрязнения) показало отличие характера распределения исследуемой величины для взрослого населения малых НП (с численностью до 100 чел., далее – НП типа Im»), что подтвердилось при статистическом анализе распределений нормированных на плотность загрязнения почвы территории значений УА ^{137}Cs в теле взрослых жителей (тест Краскела-Уоллиса ($p < 0,01$) с апостериорным тестом межгрупповых различий с использованием критерия Данна (коррекция Холма ($p < 0,01$)) (рис. 4а). Статистически значимое различие также подтвердилось при анализе характеристик распределений этих величин для групп подростков и школьников (рис. 4б). С точки зрения моделирования дозовых оценок внутреннего облучения жителей это означает, что, возможно, следует рассмотреть параметры модели внутреннего облучения жителей для такого типа НП (малого НП с численностью менее 100 чел.) в отдельности; в особенности, если учесть, что в настоящее время доля таких НП составляет 60 % от всех НП, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения вследствие аварии на Чернобыльской АЭС¹² [11].

¹¹Здесь и далее – предварительный тест принадлежности выборок к нормальному распределению проведен с использованием критерия Шапиро–Уилка. Тест на гомогенность дисперсий проведен с использованием критерия Левена, если не оговорено иное [Here and below, the preliminary test for normal distribution of the samples was conducted using the Shapiro–Wilk test. The test for homogeneity of variances was conducted using the Levene test, unless otherwise stated].

¹²Постановление Правительства РФ от 08.10.2015 № 1074 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС». [Governmental decree of Russian Federation №1074 from 08.10.2015 «On approval of the list of locations within the contaminated zone boundaries due to the Chernobyl NPP accident». (In Russ.)]

Нормированная удельная активность ¹³⁷Cs в организме жителей обследованных НП, 10⁻³·м²/кг (нормирование по среднему значению плотности загрязнения ¹³⁷Cs почвы территории НП)

[Table 2

Normalized specific activity of ¹³⁷Cs in the whole body of the residents of surveyed settlements, 10⁻³·m²/kg (normalized to the average value of ¹³⁷Cs soil surface activity in the settlements)]

Возрастная группа [Age group]	Статистические параметры [Statistical parameters]*						
	N	Среднее [Mean]	Ст. откл. средн. [SD]	Геом. средн. [GM]	Ст. откл. геом. средн. [GSD]	K95 [Q95]	Мин. - Макс. [Min. - Max.]
НП типа I [Settlements "Type I"]							
взрослые [adults]	3149	0,091	0,091	0,064	2,3	0,26	0,01 – 1,10
подростки [teenagers]	246	0,060	0,056	0,046	2	0,16	0,01 – 0,49
школьники [schoolch.]	671	0,064	0,053	0,052	1,9	0,14	0,01 – 0,74
НП типа II [Settlements "Type II"]							
взрослые [adults]	1093	0,064	0,047	0,053	1,9	0,15	0,01 – 0,63
подростки [teenagers]	322	0,050	0,034	0,043	1,7	0,11	0,01 – 0,31
школьники [schoolch.]	96	0,054	0,03	0,049	1,5	0,09	0,03 – 0,28

* Здесь и далее используются следующие обозначения статистических параметров: Ст. откл. средн. – стандартное отклонение от арифметического среднего значения; Ст. откл. геом. средн. – стандартное отклонение от геометрического среднего значения; K95 – 95-й процентиль (95% квантиль) [The names and symbols of quantities are hereafter called as: SD – the standard deviation from the arithmetical mean value; GSD – the standard deviation from the geometric mean value; Q95 – 95th percentile (95% quantile)].

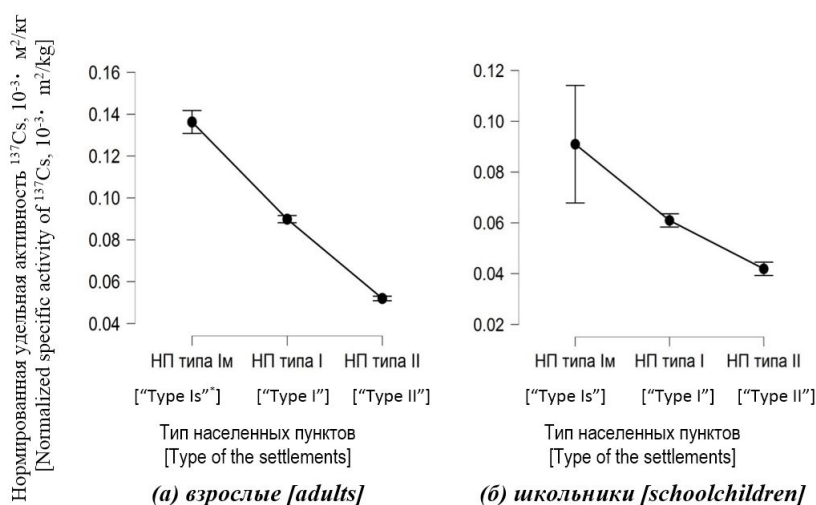


Рис. 4. Доверительные интервалы (P=0,95) средних значений нормированной удельной активности ¹³⁷Cs в организме жителей НП (нормирование по среднему значению плотности загрязнения ¹³⁷Cs почвы территории НП) [Fig. 4. Confidence intervals (P=0.95) for the mean values of normalized specific activity of ¹³⁷Cs in the whole body of inhabitant (normalized to the average value of soil contamination density with the ¹³⁷Cs)]

Сравнительный анализ нормированных величин УА ¹³⁷Cs для разных возрастных групп жителей, дополнительно стратифицированных по полу, также показал, что обособление малых НП оправданно. По результатам такого анализа нормированные величины УА ¹³⁷Cs в теле жителей в возрасте старше 7 лет как мужского, так и женского пола трех типов НП (включая НП малые) значимо различаются (p < 0,01; кри-

терий Данна (коррекция Холма)). Различие между представителями мужского и женского пола взрослых жителей в каждом типе НП также статистически значимо (p < 0.05; t-критерий Стьюдента [12]). Принимая во внимание изложенные здесь доводы, был выполнен расчет нормированных величин для трех типов НП (табл. 3). Помимо результатов расчетов по гендерному признаку, в таблице 3 также

представлены (как расширение табл. 2) оцененные значения для обоих полов для малых НП и для прочих НП первого типа. Сопоставление данных таблицы 2 и таблицы 3 позволяет заключить, что нормированные величины для взрослых жителей малых НП (табл. 3), в среднем, почти в полтора раза

выше, чем для НП сельского типа в целом, т.е. НП типа I (табл. 2). Из чего можно сделать вывод, что выделение малых НП в отдельную категорию повысит точность оценки доз внутреннего облучения.

Таблица 3

Нормированная удельная активность ^{137}Cs в организме жителей обследованных НП (с разделением по полу и возрасту), $10^{-3}\cdot\text{м}^2/\text{кг}$
(нормирование по среднему значению плотности загрязнения ^{137}Cs почвы территории НП)

[Table 3]

Normalized specific activity of ^{137}Cs in the whole body of the inhabitants (with age and gender specifics), $10^{-3}\cdot\text{м}^2/\text{кг}$
(normalized to the average value of ^{137}Cs soil surface activity in the settlement)]

Возрастная группа [Age group]	Статистические параметры [Statistical parameters]						
	Пол	N	Среднее [Mean]	Ст. откл. средн. [SD]	Геом. средн. [GM]	Ст. откл. геом. средн. [GSD]	K95 [Q95]
НП типа Im [Settlements "Type Is"] *							
взрослые [adults]	м	126	0,16	0,13	0,12	2,2	0,43
	ж	166	0,14	0,12	0,10	2,3	0,41
	оба пола	292	0,15	0,12	0,11	2,2	0,42
НП типа I [Settlements "Type I"] **							
взрослые [adults]	м	1058	0,099	0,096	0,071	2,3	0,27
	ж	1799	0,078	0,076	0,056	2,3	0,21
	оба пола	2857	0,086	0,085	0,061	2,3	0,23
подростки [teenagers]	м	143	0,061	0,066	0,044	2,1	0,17
	ж	99	0,056	0,037	0,046	1,8	0,15
	оба пола	242	0,059	0,056	0,045	2	0,16
школьники [schoolch.]	м	370	0,061	0,041	0,051	1,8	0,14
	ж	275	0,064	0,060	0,050	2	0,14
	оба пола	645	0,062	0,050	0,051	1,9	0,14
НП типа II [settlements "Type II"]							
взрослые [adults]	м	483	0,069	0,055	0,056	1,9	0,15
	ж	610	0,061	0,039	0,051	1,8	0,14
подростки [teenagers]	м	198	0,050	0,035	0,043	1,7	0,11
	ж	124	0,049	0,032	0,042	1,7	0,10
школьники [schoolch.]	м	52	0,051	0,017	0,048	1,4	0,08
	ж	44	0,058	0,041	0,051	1,6	0,12

* НП типа Im – населенные пункты с численностью жителей до 100 чел. [Settlements "Type Is" – the settlements where population is less than 100 people].

** НП типа I – прочие населенные пункты категории «НП типа I» [Settlements "Type I" – other settlements of the category "Type I"].

Информация в таблицах 2 и 3 также дает представление о внутригрупповой неоднородности распределений исследуемых величин – коэффициенты вариации находятся в диапазоне от 0,3 до 1 и большая их часть близка к 0,9, что указывает как на большую вариабельность пищевых предпочтений, так и на большую вариативность уровней загрязнения пищевых продуктов, употребляемых населением в пищу. Такая же ситуация часто наблюдается и при исследовании распределений УА ^{137}Cs , в т.ч. трансформированных (логарифмированных), для жителей одной возрастной категории одного НП. Из чего можно за-

ключить, что детальное изучение характеристик распределений исследуемых величин остается актуальной задачей и на современном этапе радиационной аварии.

Стандартизация исследуемых величин позволила также более детально изучить вопрос возможного различия уровней содержания ^{137}Cs в организме жителей дошкольного возраста. Рисунок 5 демонстрирует, что по результатам проведенных СИЧ-измерений средние уровни содержания ^{137}Cs в теле детей дошкольного возраста, не посещающих дошкольные учреждения, выше средних уровней для детей, которые дошкольные учреждения посещают.

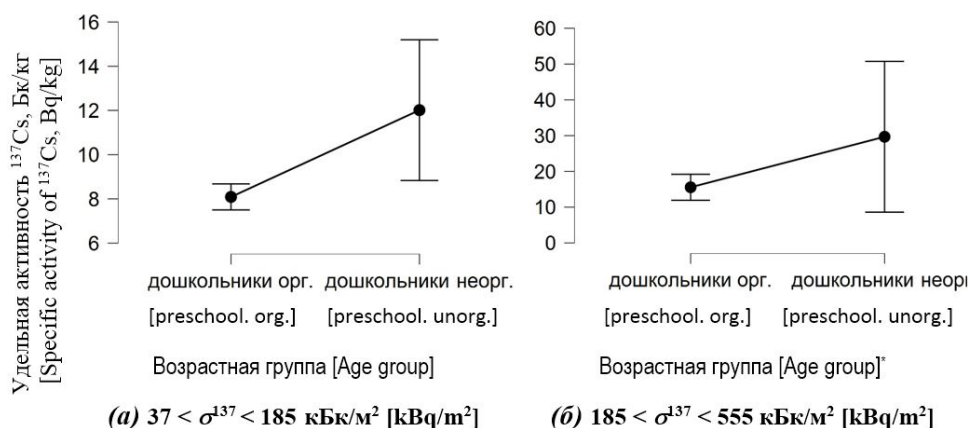


Рис. 5. Доверительные интервалы ($P=0,95$) средних значений удельной активности ^{137}Cs в организме жителей НП дошкольного возраста

[Fig. 5. Confidence intervals ($P=0,95$) for the mean values of specific activity of ^{137}Cs in the whole body of preschoolers]

Как представлено выше, численность таких жителей (дошкольников) в данном исследовании довольно мала и выполнить сравнительный анализ этих групп населения в пределах одного НП практически невозможно. Однако сравнение представляется возможным, если провести анализ распределений стандартизованных величин. С этой целью значения УА ^{137}Cs в теле жителей младшего возраста были нормированы на среднее значение величины, оцененное для возрастной группы в пределах одного НП, а также нормированы на плотность загрязнения ^{137}Cs почвы территории НП. Изучение характеристик распределений величин, нормированных на внутригрупповое среднее значение, позволило сделать вывод о неоднородности их дисперсий ($p < 0,05$; критерий Муда); при этом распределение величин для группы неорганизованных дошкольников характеризуется бóльшим разбросом значений. Анализ характеристик распределений величин, нормированных на плотность загрязнения почвы, также показал, что распределения величин для двух групп детей различны ($p < 0,05$; критерий Манна-Уитни). Средние значения УА ^{137}Cs , нормированной на плотность σ^{137} , оцененные для неорганизованных дошкольников, выше (в 1,7 раза), чем для организованных дошкольников. С некоторой степенью допущений полученный в этом анализе результат согласуется с результатом анализа объемов потребления местных пищевых продуктов детьми дошкольного возраста, по результатам которого было установлено, что неорганизованные дошкольники в бóльших объемах потребляют молоко, грибы, рыбу местных водоемов, а также дикорастущие пряные травы [7].

В данном исследовании, с целью получения более устойчивых характеристик вероятностного распределения величин содержания ^{137}Cs в организме жителей, из массива данных нормированных величин исключены экстремально высокие значения, для чего использован робастный метод фильтрации, чувствительный к асимметричному распределению [10]. Однако вопрос оправданности и корректности удаления anomalously высоких значений при оценке доз внутреннего облучения критической группы населения остается дискуссионным, поскольку высокое значение поступления ^{137}Cs в организм человека может быть связано не только с большими объемами потребления, но и с высоким содержанием радионуклида в пищевом продукте. Наше ис-

следование, как и исследования с использованием результатов СИЧ-измерений других авторов [13, 14], показывает, что пищевые продукты природного происхождения остаются фактором повышенного радиационного воздействия на жителей радиоактивно загрязненных территорий. Но жизнедеятельность населения тесно связана с природными объектами окружающей среды и регулировать этот процесс – довольно сложная задача. Разъяснительная работа среди населения с изложением основных принципов радиационной гигиены (профилактических мер, способствующих снижению риска воздействия радиации на организм человека) остается одним из способов решения этой проблемы.

Заключение

В данной публикации представлены результаты измерений содержания ^{137}Cs в организме жителей радиоактивно загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС юго-западных районов Брянской области, выполненных в рамках радиационно-гигиенических обследований НП в 2019-2022 гг. Проведен анализ характеристик распределений величин УА радионуклида, исследованы закономерности изменения содержания ^{137}Cs в теле жителей разных возрастных категорий различных типов НП в зависимости от уровня радиоактивного загрязнения территории. Результаты СИЧ-измерений показали, что среди населения есть представители, для которых содержание ^{137}Cs в организме существенно выше средних значений для НП: среди взрослых жителей – почти в 30 раз, среди детей – в 10 раз. Однако доля измеренных жителей с низким содержанием радионуклида тоже довольно велика.

По результатам изучения закономерностей изменения УА ^{137}Cs , оцененной для обследованного населения разного возраста и пола, проживающего в НП различного типа, в зависимости от уровня радиоактивного загрязнения территории определены современные значения величин, характеризующих распределение отношения этой величины к плотности радиоактивного загрязнения почвы территории. Анализ нормированных на плотность загрязнения почвы территории величин УА ^{137}Cs в теле взрослых жителей НП, где численность населения не превышает 100 человек, позволил сделать вывод о необходимости выделения в до-

симметрической модели НП данного типа в отдельную категорию.

Анализ характеристик распределений нормированных величин ^{137}Cs в теле детей дошкольного возраста подтвердил оправданность выделения детей дошкольного возраста, не посещающих детские учреждения, в отдельную категорию, поскольку для них оцененные уровни поступления радионуклида в организм выше, чем для детей того же возраста, но посещающих детские учреждения. Однако с целью уточнения численных значений дозиметрических параметров для этой категории населения исследование необходимо продолжить.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Романович И.К. – общее и научное руководство проектом, разработка концепции изложения материалов исследования.

Базюкин А.Б. – поиск и анализ литературных источников данных, сбор и систематизация материалов исследования.

Братилова А.А. – координация работы участников проекта, организация экспедиционных работ, сбор и систематизация данных, поиск литературных источников.

Брук Г.Я. – разработка концепции, определение цели и формулирование задач исследования, дизайн проекта, координация работы участников проекта.

Жеско Т.В. – обработка первичных материалов исследования.

Кадука М.В. – обработка первичных материалов исследования, поиск литературных данных.

Кравцова О.С. – поиск и анализ литературных источников информации, обобщение, систематизация и обработка материалов исследования, проведение расчетов, анализ и интерпретация результатов исследования, написание текста статьи.

Благодарности

Авторы выражают благодарность и признательность за содействие в работе В.А. Яковлеву, А.В. Громову, К.А. Сапрыкину, В.А. Некрасову, С.А. Иванову (специалисты Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева в период проведения исследований), а также А.В. Кудряшова (главный врач филиала ФБУЗ ЦГиЭ в городе Клинцы Брянской области), В.А. Лалаюну (заместитель главного врача по санитарно-эпидемиологическим вопросам филиала ФБУЗ ЦГиЭ в городе Клинцы Брянской области), А.А. Ладику (эксперту-физику по контролю за источниками ионизирующих и неионизирующих излучений филиала ФБУЗ ЦГиЭ в городе Клинцы Брянской области). Авторы благодарны рецензентам за конструктивные замечания и рекомендации.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Исследование выполнено в рамках отраслевой программы Роспотребнадзора на 2021–2025 гг. «Научное обоснование национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками здоровью и повышения качества жизни населения России» по теме: «Научное сопровождение работ по реализации Концепции перехода населения территорий Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие радиационных аварий и катастроф, от состояния проживания в условиях радиационной аварии к условиям нормальной жизнедеятельности населения».

Литература

1. Российский национальный доклад: 35 лет чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России. 1986-2016 / Под общ. ред. Л.А. Большова. М., 2021. 104 с.
2. Константинов Ю.О. Чернобыльская авария: обоснование и реализация решений по защите населения // Радиационная гигиена. 2011. Т. 4, № 2. С. 59–67.
3. Брук Г.Я., Базюкин А.Б., Барковский А.Н. и др. Облучение населения Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС и основные направления дальнейшей работы на предстоящий период // Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, № 4. С. 72–77.
4. Брук Г.Я., Базюкин А.Б., Братилова А.А. и др. Закономерности формирования и прогноз доз внутреннего облучения населения брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. 2019. № 2(22). С. 17–23.
5. Рожко А.В., Власов О.К., Чунихин Л.А. и др. СИЧ-ориентированный метод оценки годовых доз внутреннего облучения населения в отдаленный период чернобыльской аварии // Радиация и риск. 2009. Т. 18, № 2. С. 48–60.
6. Романович И.К., Базюкин А.Б., Барковский А.Н. и др. Результаты современных радиационно-гигиенических обследований приграничных с Республикой Беларусь населенных пунктов Брянской области Российской Федерации. Часть 1: Характеристика населенных пунктов // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 22–36.
7. Романович И.К., Базюкин А.Б., Братилова А.А. и др. Результаты современных радиационно-гигиенических обследований приграничных с Республикой Беларусь населенных пунктов Брянской области Российской Федерации. Часть 2: Структура рационов питания населения // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 4. С. 7–21.
8. Романович И.К., Базюкин А.Б., Братилова А.А. и др. Результаты современных радиационно-гигиенических обследований приграничных с Республикой Беларусь населенных пунктов Брянской области Российской Федерации. Часть 3: Содержание радионуклидов в сельскохозяйственных пищевых продуктах // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 2. С. 7–17.
9. Романович И.К., Базюкин А.Б., Братилова А.А. и др. Содержание ^{137}Cs в пищевых продуктах природного происхождения по результатам современных радиационно-гигиенических обследований приграничных с Республикой Беларусь населенных пунктов Брянской области // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 1. С. 7–17.
10. Hubert M., Vandervieren E. An adjusted boxplot for skewed distributions // Computational Statistics & Data Analysis. 2008. Vol. 52, No 12. P. 5186–5201.
11. Населенные пункты России: численность населения и географические координаты. URL: <https://www.data-in.ru/data-catalog/datasets/160/> (Дата обращения: 30.09.2025).
12. Лемешко Б.Ю. Критерии проверки гипотез об однородности. Руководство по применению. Препринт расширенного издания. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2018.
13. Цыгинцев П.Н., Цуранков Э.Н. Влияние информированности сельского населения на формирование доз внутреннего облучения // Радиационно-экологические последствия радиационных аварий – к 35-ой годовщине аварии на ЧАЭС: Сборник докладов международной научно-практической конференции. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2021. С. 383–387.
14. Агеева Т.Н., Мерзлова О.А. О дозах облучения населения Могилевской области в зонах радиоактивного загрязнения // Радиационно-экологические последствия радиационных аварий – к 35-ой годовщине аварии на ЧАЭС: Сборник докладов международной научно-практической конференции. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2021. С. 166–168.

Поступила: 11.08.2025

Романович Иван Константинович – доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, директор Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0003-0668-459X

Базюкин Анатолий Борисович – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории внутреннего облучения Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0002-9853-0696

Братилова Анжелика Анатольевна – заведующий лабораторией внутреннего облучения Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: bratilova@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6489-3974

Брук Геннадий Яковлевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией внутреннего облучения Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0002-9558-7558

Жеско Татьяна Викторовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории внутреннего облучения Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0009-0007-1678-2931

Кадука Марина Валерьевна – кандидат биологических наук, заведующий радиохимической лабораторией Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0009-0009-6970-4536

Кравцова Ольга Сергеевна – кандидат биологических наук, исполняющая обязанности ведущего научного сотрудника лаборатории внутреннего облучения Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0009-0008-5543-5411

Для цитирования: Романович И.К., Базюкин А.Б., Братилова А.А., Брук Г.Я., Жеско Т.В., Кадука М.В., Кравцова О.С. Содержание ^{137}Cs в организме жителей населенных пунктов Брянской области по результатам радиационно-гигиенических обследований // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 4. С. 7–18. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-4-7-18

The current levels of ^{137}Cs in the body of residents of populated areas of the Bryansk region according to the results of radiation and hygienic survey

Ivan K. Romanovich, Anatoly B. Bazyukin, Anzhelika A. Bratilova, Gennadiy Ya. Bruk, Tatyana V. Zhesko, Marina V. Kaduka, Olga S. Kravtsova

Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance of Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

Measurements of the ^{137}Cs content in the bodies of residents of the territories radioactively contaminated due to the Chernobyl accident using a whole body counter (spectrometer) provide the most accurate assessment in determining the levels of radiation exposure to the population. The object of this study was analysis of

Anzhelika A. Bratilova

Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: 8, Mira Str., Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: bratilova@gmail.com

results of ^{137}Cs measurements with a whole body counter. *Materials and methods:* In 2019–2022 measurements of the ^{137}Cs content in the bodies of more than 10 thousand residents of the southwestern territories of the Bryansk region were carried out. *Research results and discussion:* The results of measurements of the ^{137}Cs content in the bodies of residents of the surveyed settlements are presented. The highest levels of ^{137}Cs were measured in residents whose diet included such natural products as wild meat and wild mushrooms. It is shown that the average levels of ^{137}Cs in the bodies of residents of small settlements (up to 100 residents) are higher than that for residents of other settlements. *Conclusion:* Analysis of the obtained results allowed us to conclude that it is necessary to separate settlements with a population of less than 100 people into a specific category. Analysis of the distribution characteristics of the normalized values of specific activity of ^{137}Cs in the body of preschool children who do not attend child care institutions confirmed the justification for separating this category in dosimetric models.

Key words: accident at the Chernobyl NPP, population, internal exposure, cesium-137, WBC-measurements.

Authors' personal contribution

Romanovich I.K. – general and scientific management of the project, development of the concept of presentation of research materials.

Bazyukin A.B. – search and analysis of literary data sources, collection and systematization of research materials.

Bratilova A.A. – coordination of work of the project participants, organization of expedition works, collection and systematization of data, search of literature sources.

Bruk G.Ya. – concept development, definition of the goal and formulation of the research objectives, project design, coordination of the work of the project participants.

Zhesko T.V. – collection of primary research materials.

Kaduka M.V. – processing and systematization of primary research materials, literature search.

Kravtsova O.S. – design of survey cards, search and analysis of literary sources of information, generalization, systematization and processing of research data, carrying out calculations, analysis and interpretation of research results, writing the text of the article.

Acknowledgements

The authors express their gratitude and appreciation for assistance in the work to V.A. Yakovlev, A.V. Gromov, K.A. Saprykin, V.A. Nekrasov, S.A. Ivanov (who were employees of the St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene named after Prof. P.V. Ramzaev during the period of the study), as well as to A.V. Kudryashov (Chief Doctor of the Branch of FBUZ CHE in Klinty, Bryansk region), V.A. Lalayan (Deputy Chief Doctor for Sanitary and Epidemiological Issues of the Branch of FBUZ CHE in Klinty, Bryansk region), A.A. Ladik (Expert-Physicist for Control of Ionizing and Non-ionizing Radiation Sources of the Branch of FBUZ CHE in Klinty, Bryansk region). The authors are grateful to the reviewers for their constructive comments and recommendations.

Conflict of interests

The authors declare that they have no conflicts of interest.

Sources of funding

The study was carried out within the framework of the sectoral program of Rospotrebnadzor for 2021–2025: “Scientific substantiation of the national system for ensuring sanitary and epidemiological wellbeing, managing health risks and improving the quality of life of the population of Russia” on the topic: “Scientific support for work on the implementation of the Concept for the transition of the population of territories

of the Russian Federation subjected to radioactive contamination due to radiation accidents and disasters, from the state of living in conditions of a radiation accident to conditions of normal life of the population”.

References

1. Russian national report: 35 years of the Chernobyl accident. Results and prospects of overcoming its consequences in Russia. 1986–2016. Under the general editorship of LA Bolshov. Moscow; 2021. 104 p. (In Russian).
2. Konstantinov YuO. Chernobyl accident: rationale and realization of decisions on protection of the population. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2011;4(2): 59–67. (In Russian).
3. Bruk GYa, Bazyukin AB, Barkovsky AN., Bratilova AA, Vlasov AYu, Goncharova YuN, et al. Exposure of the population of the Russian Federation due to the accident at the Chernobyl NPP and the main directions of further work in the coming period. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(4): 72–77. (In Russian).
4. Bruk GYa, Bazyukin AB, Bratilova AA, Yakovlev VA. Peculiarities of internal exposure doses forming and their prognosis for the population of Bryansk region in the remote period after the Chernobyl accident. *Mediko-biologicheskoe problemy zhiznedeyatel'nosti = Medico-biological problems of life activity*. 2019;2(22): 17–23 (In Russian).
5. Rozhko AV, Vlasov OK, Chunikhin LA, Drozdov DN. WBC-related method for annual internal dose assessment at long time after Chernobyl accident. *Radiatsiya i risk = Radiation and Risk*. 2009;18(2): 48–60. (In Russian).
6. Romanovich IK, Bazyukin AB, Barkovsky AN., Biblin AM, Bratilova AA, Bruk GYa, et al. Results of modern radiation-hygienic surveys of settlements of Bryansk Oblast of the Russian Federation bordering the Republic of Belarus. Part 1: Characteristics of the settlements. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(3): 22–36. (In Russian). DOI:10.21514/1998-426x-2023-16-3-22-36.
7. Romanovich IK, Bazyukin AB, Bratilova AA, Bruk GYa, Varfolomeeva KV, Drozdova EA, et al. Results of modern radiation-hygienic surveys of settlements of Bryansk Oblast of the Russian Federation bordering the Republic of Belarus. Part 2: Population's food preferences (diet). *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(4): 7–21. (In Russian). DOI:10.21514/1998-426x-2023-16-4-7-21.
8. Romanovich IK, Bazyukin AB, Bratilova AA, Bruk GYa, Drozdova EA, Zhesko TV, et al. Results of modern radiation-hygienic surveys of settlements of Bryansk Oblast of the Russian Federation bordering the Republic of Belarus. Part 3: Radionuclide content in agricultural food products. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024;17(2): 7–17. (In Russian). DOI:10.21514/1998-426x-2023-17-2-7-17.
9. Romanovich IK, Bazyukin AB, Bratilova AA, Bruk GYa, Zhesko TV, Kaduka MV, et al. The current levels of ^{137}Cs in foodstuffs of wild origin according to the results of the radiation-hygienic survey of the Bryansk region settlements. *Radiatsionnaya*

- Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025;18(1): 7–17. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-1-7-17.
10. Hubert M, Vandervieren E. An adjusted boxplot for skewed distributions. *Computational Statistics & Data Analysis*. 2008;52(12): 5186–5201.
 11. Populated areas of Russia: population and geographical coordinates. Available from: <https://www.data-in.ru/data-catalog/datasets/160/> [Accessed 2025 Sep 30].
 12. Lemeshko BYu. Criteria for testing homogeneity hypotheses. Application Guide. Preprint of the extended edition. Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University; 2018.
 13. Tsygvintsev PN, Tsurankov EN. The Impact of Rural Population Awareness on the Formation of Internal Radiation Doses. Radioecological Consequences of Radiation Accidents – on the 35th Anniversary of the Chernobyl Accident: Collection of Reports of the International Scientific and Practical Conference. Obninsk: FGBNU VNIIRAE; 2021. P. 383–387.
 14. Ageeva TN., Merzlova OA. On Radiation Doses of the Population of the Mogilev Region in Radioactive Contamination Zones. Radioecological Consequences of Radiation Accidents – on the 35th Anniversary of the Chernobyl Accident: Collection of Reports of the International Scientific and Practical Conference. Obninsk: FGBNU VNIIRAE; 2021. P. 166–168.

Received: August 11, 2025

Ivan K. Romanovich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0000-0003-0668-459X

Anatoly B. Bazyukin – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Internal Irradiation, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0000-0002-9853-0696

For correspondence: Angelika A. Bratilova - Head of the Laboratory of Internal Irradiation, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Mira Str., 8, Saint Petersburg, Russia, 197101; E-mail: bratilova@gmail.com)
ORCID: 0000-0002-6489-3974

Gennady Ya. Bruk – Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Internal Irradiation, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0000-0002-9558-7558

Tatiana V. Zhesko – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Internal Irradiation, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0009-0007-1678-2931

Marina V. Kaduka – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Head of the Radiochemical Laboratory of the Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0009-0009-6970-4536

Olga S. Kravtsova – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Internal Irradiation, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0009-0008-5543-5411

For citation: Romanovich I.K., Bazyukin A.B., Bratilova A.A., Bruk G.Ya., Zhesko T.V., Kaduka M.V., Kravtsova O.S. The current levels of ¹³⁷Cs in the body of residents of populated areas of the Bryansk region according to the results of radiation and hygienic survey. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No. 4. P. 7–18. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-4-7-18