

Дозовые оценки внутреннего облучения жителей населенных пунктов Брянской области по результатам обследований 2019–2022 гг.

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

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

В статье приведены результаты оценки доз внутреннего облучения населения по итогам радиационно-гигиенических обследований приграничных с Республикой Беларусь населенных пунктов Брянской области в 2019–2022 гг. Цель исследования – выполнить дозиметрические расчеты по разным моделям и определить модельные параметры, подлежащие актуализации. Материалы и методы: Расчеты выполнены для разных возрастных групп населения обследованных населенных пунктов Брянской области, а также для критической группы населения в соответствии с действующими методическими документами. Для дозовых оценок использованы результаты комплексных радиационно-гигиенических обследований населенных пунктов и данные радиационного мониторинга. Результаты исследования и обсуждение: Наибольшие отклонения от модели по поступлению ^{137}Cs с пищевыми продуктами (охватывающей большинство местных пищевых продуктов и их потребление населением) получены для модели, в качестве параметров которой используются коэффициенты перехода радионуклида из почвы в пищевые продукты (молоко и грибы) для взрослого населения, проживающего на территориях с высокими уровнями загрязнения почвы (более 555 кБк/м² по ^{137}Cs). При этом для населения остальных территорий (большинство обследованных населенных пунктов) сходимость результатов дозовых оценок удовлетворительная. Заключение: Средние годовые эффективные дозы внутреннего облучения населения обследованных населенных пунктов в целом не превышают 1 мЗв, дозы внутреннего облучения критической группы жителей – 5 мЗв. Пищевые продукты природного происхождения дают больший вклад в дозу внутреннего облучения в сравнении с сельскохозяйственными пищевыми продуктами. Методология оценки доз внутреннего облучения населения чернобыльских территорий показала свою устойчивость в базисных подходах. Модификация ряда модельных параметров позволила сблизить результаты расчетов, выполненных по разным моделям.

Ключевые слова: авария на Чернобыльской АЭС, население, дозы внутреннего облучения, цезий-137.

Введение

В системе радиационной защиты населения дозовый критерий имеет основополагающее значение. Информация о дозах облучения населения, проживающего в условиях радиоактивного загрязнения окружающей среды, необходима для контроля уровней радиационного воздействия на его здоровье, важна для обоснования проведения реабилитационных мероприятий, востребована при формировании (и изменении) стратегии возврата населения пострадавших территорий к нормальной жизнедеятельности [1]. Систематическая оценка доз облучения населения позволяет проследить тенденцию изменения радиационной обстановки и дать прогноз ее развития в будущем.

Дозовые оценки для населения территорий Российской Федерации (РФ), подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), выполняются с первых дней аварии [2, 3]. В зависимости от радиационной обстановки на том или ином этапе аварии, прева

лируются подходы к оценке доз облучения населения изменялись и развивались [3].

Периодически методы дозиметрических расчетов следует пересматривать с целью актуализации их параметров. Совершенствование методик оценки доз внутреннего облучения проводится путем постоянного сбора данных о содержании радионуклидов в основных видах пищевых продуктов местного происхождения с последующим анализом динамики их изменения. С течением времени меняются модели поведения населения, в т.ч. предпочтения в потреблении пищевых продуктов местного происхождения. Также с течением времени происходят изменения в экосистемах, что может повлиять на распределение радионуклидов в объектах окружающей среды. Отслеживание актуальной радиологической информации, а также научный анализ собранных данных по параметрам радиационной обстановки на загрязненных территориях позволяют уточнить модельные параметры расчета доз облучения населения, скорректировать методические подходы.

С 1991 года постоянным критерием радиационной безопасности населения чернобыльских территорий был определен предел годовой дозы облучения [4]. Годовые дозы

Кравцова Ольга Сергеевна

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: olga.s.kravtsova@mail.ru

внутреннего облучения населения и его наиболее облучаемых представителей – критической группы – оценивали по результатам мониторинга объектов окружающей среды и пищевых продуктов расчетным путем и подтверждали результатами измерений на спектрометрах (счетчиках) излучения человека (СИЧ). Такая практика используется и в настоящее время. Ввиду значительной пятнистости радиоактивного загрязнения территорий, дозы облучения принято оценивать для жителей отдельных населенных пунктов (НП), поскольку в пределах НП (и в пределах его ареала) загрязнение относительно равномерно [4].

Собранные в период 2019–2022 гг. данные текущего радиационного мониторинга и результаты комплексных радиационно-гигиенических обследований НП юго-западных территорий Брянской области, представленные в публикациях [5–9], позволили выполнить расчеты средних годовых эффективных доз (СГЭД) внутреннего облучения населения и сопоставить между собой результаты различных методов оценки.

Цель исследования – выполнить оценку текущих (годовых) доз внутреннего облучения жителей НП Брянской области, обследованных в 2019–2022 гг., и определить параметры дозиметрических моделей, подлежащие актуализации.

Материалы и методы

В системе радиационной защиты населения РФ модели оценки доз внутреннего облучения населения территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на ЧАЭС, базируются на двух подходах: по поступлению радионуклидов в организм жителей с пищевыми продуктами и по содержанию ^{137}Cs в организме человека [10]. Алгоритм расчета СГЭД внутреннего облучения населения НП и его критической группы приведены в методических указаниях МУ 2.6.1.2003-05¹ и МУ 2.6.1.3152-13², алгоритм расчета СГЭД облучения детского населения – в методических рекомендациях МР 2.6.1.0007-10³. Алгоритмы расчета СГЭД облучения населения НП также изложены в методических рекомендациях по обеспечению радиационной безопасности «Радиационный мониторинг доз облучения населения территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС»⁴.

Результаты исследований содержания радионуклидов (^{137}Cs и ^{90}Sr) в пищевых продуктах местного происхождения за период с 2019 по 2022 год приводятся в публикациях [7, 8], уровни содержания ^{137}Cs в организме жителей, измеренные

в этот же период времени, – в публикации [9], оценки уровней потребления тех или иных местных пищевых продуктов рассмотрены в публикации [6], типы обследованных НП и их демографические характеристики – в публикации [5].

Данные о плотности загрязнения НП предоставлены Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

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

Результаты и обсуждение

Исследования структуры рационов питания населения, изучение современных уровней содержания радионуклидов в пищевых продуктах местного происхождения позволили выполнить расчеты СГЭД внутреннего облучения жителей обследованных НП по модели поступления радионуклидов в организм человека с пищевыми продуктами [11]. Алгоритм расчета по этой модели в качестве исходных данных предполагает информацию об удельной активности радионуклидов в пищевых продуктах и объемы их годового потребления. Для оценки доз внутреннего облучения с использованием модели по поступлению радионуклидов с пищевыми продуктами (далее – модель по поступлению, модель «ПП») были использованы данные по следующим пищевым продуктам: из сельскохозяйственных – свинина, говядина, молоко коровье, молоко козье, творог, мясо птицы домашней, мясо прочих сельскохозяйственных животных (баранина, крольчатина, мяса козы), картофель, овощи, овощная зелень, яйцо куриное; из продуктов природного происхождения – грибы, ягоды лесные, рыба местных водоемов, мясо диких животных. Дополнительно в модели использованы коэффициенты снижения содержания радионуклидов в готовом пищевом продукте вследствие их кулинарной обработки. Численные значения этих коэффициентов были взяты из публикации [12], а также из методических документов, разработанных применительно к ситуации радиоактивного загрязнения вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, перечисленных в разделе выше. Дозовые коэффициенты для расчета эффективной дозы облучения, обусловленной поступлением радионуклидов пероральным путем, были использованы в соответствии с публикацией 72 Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) [13].

Оценка доз внутреннего облучения жителей исследо-

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 (MU 2.6.1.2003-05), Moscow, 2005, 16 p. (In Russ.)]

²Методические указания МУ 2.6.1.3152-13 «Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей на селенных пунктах Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС». Изм. 1 к МУ 2.6.1.2003-05. М., 2014. 7 с. [Methodological guidelines. The assessment of critical population groups average annual effective exposure doses in radioactively contaminated Russian Federation settlements after Chernobyl NPP accident (MU 2.6.1.3152-13). Changes to methodological guidelines 2.6.1.2003-05, Moscow, 2014, 7 p. (In Russ.)]

³Методические рекомендации 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. [Methodological guidelines 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: Rospotrebnadzor; 2011. 27 p. (In Russ.)]

⁴Методические 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.)]

ванных территорий по содержанию ^{137}Cs в основных дозообразующих пищевых продуктах и их эффективному потреблению (далее – модель «ЭП») была выполнена согласно методическим документам МУ 2.6.1.2003-05, МУ 2.6.1.3152-13 и МР 2.6.1.0007-10.

Оценка доз внутреннего облучения взрослых жителей по содержанию ^{137}Cs в основных дозообразующих пищевых продуктах, рассчитанная через коэффициенты перехода (КП) ^{137}Cs из почвы в пищевой продукт (далее – модель «КП»), была выполнена по методическим документам МУ 2.6.1.2003-05, МУ 2.6.1.3152-13.

Оценка доз внутреннего облучения по модели, в качестве исходных данных которой используются результаты СИЧ-измерений (далее – модель «СИЧ»), была выполнена в соответствии с методическими документами МУ 2.6.1.2003-05, МР 2.6.1.0007-10.

Результаты дозовых расчетов по вышеописанным моделям представлены в таблице 1 для разных возрастных групп

населения. В таблице приведен диапазон значений доз внутреннего облучения населения НП с различными уровнями загрязнения почвы ^{137}Cs .

Из анализа данных таблицы 1 можно заключить, что дозы облучения, оцененные по поступлению ^{137}Cs с местными пищевыми продуктами (модель «ПП») и по содержанию ^{137}Cs в основных дозообразующих продуктах и их эффективному потреблению (модель «ЭП»), довольно близки и это характерно для всех возрастных категорий жителей НП, находящихся в различных границах загрязненности почвы ^{137}Cs . Наибольшие отклонения от модели «ПП» (охватывающей большинство местных пищевых продуктов и их потребление населением) получены для СГЭД, оцененных по КП, для жителей НП с высокими уровнями радиоактивного загрязнения почвы (более 555 кБк/м^2 по ^{137}Cs). Дозы, оцененные по СИЧ-измерениям для взрослых жителей и подростков, могут отличаться до 2-3 раз в меньшую сторону от оцененных значений по поступлению ^{137}Cs с пищевыми продуктами («ПП» и «ЭП» модели).

Таблица 1. СГЭД внутреннего облучения населения (E^{int}), мЗв
[Table 1. Average annual effective dose of internal exposure (E^{int}), mSv]

Модель * [Model]	взрослые [adults]	подростки [teenagers]	школьники [schoolchildr.]	дошк. орг. [presch. org.] **	дошк. неорг. [presch. unorg.] **
$\sigma^{137} *** < 37$ (19 НП [settlements])					
ПП [F]	0,04 ÷ 0,09	0,04 ÷ 0,07	0,02 ÷ 0,04	0,01 ÷ 0,02	0,01 ÷ 0,02
ЭП [EC]	0,02 ÷ 0,08	0,02 ÷ 0,08	0,01 ÷ 0,04	< 0,01 ÷ 0,02	< 0,01 ÷ 0,02
КП [TF]	0,02 ÷ 0,04	–	–	–	–
СИЧ [WBC] (12 НП [settl.]****)	0,01 ÷ 0,03	0,01 ÷ 0,02	0,01 ÷ 0,03	0,01 ÷ 0,03	0,01 ÷ 0,03
$37 \leq \sigma^{137} < 185$ (136 НП [settlements])					
ПП [F]	0,04 ÷ 0,22	0,04 ÷ 0,17	0,02 ÷ 0,08	0,01 ÷ 0,04	0,01 ÷ 0,04
ЭП [EC]	0,01 ÷ 0,21	0,02 ÷ 0,22	0,01 ÷ 0,10	< 0,01 ÷ 0,06	< 0,01 ÷ 0,06
КП [TF]	0,04 ÷ 0,19	–	–	–	–
СИЧ [WBC] (96 НП [settl.])	0,01 ÷ 0,12	0,01 ÷ 0,07	0,01 ÷ 0,09	0,01 ÷ 0,04	0,01 ÷ 0,06
$185 \leq \sigma^{137} < 555$ (93 НП [settlements])					
ПП [F]	0,06 ÷ 0,41	0,05 ÷ 0,31	0,03 ÷ 0,15	0,02 ÷ 0,08	0,02 ÷ 0,08
ЭП [EC]	0,03 ÷ 0,33	0,03 ÷ 0,34	0,01 ÷ 0,15	0,01 ÷ 0,08	0,01 ÷ 0,08
КП [TF]	0,16 ÷ 0,54	–	–	–	–
СИЧ [WBC] (75 НП [settl.])	0,01 ÷ 0,28	0,01 ÷ 0,08	0,01 ÷ 0,11	0,01 ÷ 0,12	0,01 ÷ 0,12
$555 \leq \sigma^{137} < 1480$ (6 НП [settlements])					
ПП [F]	0,16 ÷ 0,24	0,13 ÷ 0,19	0,07 ÷ 0,10	0,04 ÷ 0,05	0,04 ÷ 0,05
ЭП [EC]	0,15 ÷ 0,21	0,15 ÷ 0,22	0,07 ÷ 0,10	0,04 ÷ 0,05	0,04 ÷ 0,05
КП [TF]	0,53 ÷ 1,1	–	–	–	–
СИЧ [WBC]	0,02 ÷ 0,07	0,02 ÷ 0,04	0,01 ÷ 0,05	0,02 ÷ 0,02	0,02 ÷ 0,03
$\sigma^{137} > 1480$ (1 НП [settlement])					
ПП [F]	0,2	0,15	0,08	0,04	0,04
ЭП [EC]	0,16	0,16	0,07	0,04	0,04

Модель *	Model	взрослые [adults]	подростки [teenagers]	школьники [schoolchildr.]	дошк. орг. [presch. org.]**	дошк. неорг. [presch. unorg.]**
КП [TF]		1,8	–	–	–	–
СИЧ [WBC]		0,07	–	–	–	–

* Модели: «ПП» – оценка E^{int} по поступлению радионуклида с пищевыми продуктами с учетом результатов опросов населения о рационах питания; «ЭП» – оценка E^{int} по удельной активности радионуклида в основных дозообразующих пищевых продуктах (молоко, грибы, картофель) и их эффективному потреблению; «КП» – оценка E^{int} по коэффициентам перехода (КП) радионуклида из почвы в пищевые продукты (молоко, грибы) и их эффективному потреблению; «СИЧ» – оценка E^{int} по результатам СИЧ-измерений [Models: "F" – E^{int} assessment based on radionuclide intake with food products, taking into account the results of population diet ration surveys; "EC" – E^{int} assessment based on the specific activity of the radionuclide in the main dose-forming food products (milk, mushrooms, potatoes) and their effective consumption; "TF" – E^{int} assessment based on the transfer coefficients (TF) of the radionuclide from soil to foodstuffs (milk, mushrooms) and their effective consumption; "WBC" – E^{int} assessment based on the results of WBC-measurements].

** «дошк. орг.» – дошкольники организованные (посещающие детские учреждения), «дошк. неорг.» – дошкольники неорганизованные ["presch. org." – organized preschoolers, "presch. unorg." – unorganized preschoolers].

*** Плотность загрязнения ^{137}Cs почвы территории НП (σ^{137}), кБк/м². В скобках указано количество НП, для которых представлены результаты исследований [^{137}Cs soil surface activity in settlements, kBq/m². The number of the settlements is given in parentheses].

**** Приведено количество НП, где проводились СИЧ-измерения, если оно отличается от указанного количества НП. [The number of settlements where the WBC-measurements were carried out is given if it is different from the given number of settlements].

В таблице приведены значения СГЭД, оцененные по моделям «ПП» и «ЭП», без учета фактического наличия среди населения жителей определенной возрастной группы [The table shows the values of the average annual effective dose of internal exposure according to "F" and "EC" models, without taking into account the actual presence of residents of a certain age group among the population].

Наблюдаемые различия наглядно демонстрирует диаграмма рассеяния (рис. 1), на которой сопоставлены дозовые оценки для взрослых жителей НП типа I по моделям «ПП» и «ЭП» (панель «а»; коэффициент корреляции Пирсона $r=0,94$) и по моделям «СИЧ» и «ЭП» (панель «б»; коэффициент корреляции Пирсона $r=0,5$).

По нашим оценкам, средний вклад в дозу внутреннего облучения поступления в организм жителей ^{137}Cs с пищевыми продуктами природного происхождения

(определенный по модели «ПП») для взрослого населения варьирует от 50 до 65 % в зависимости от загрязненности местности ^{137}Cs . Остальная доля приходится на сельскохозяйственные пищевые продукты. Подобные оценки были получены нами в 2018 году [14], согласно которым для взрослого населения территорий 12 субъектов РФ с преобладанием дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почв (как и в Брянской области) такой вклад в дозу внутреннего облучения в прошлой декаде столетия составлял 65 %.

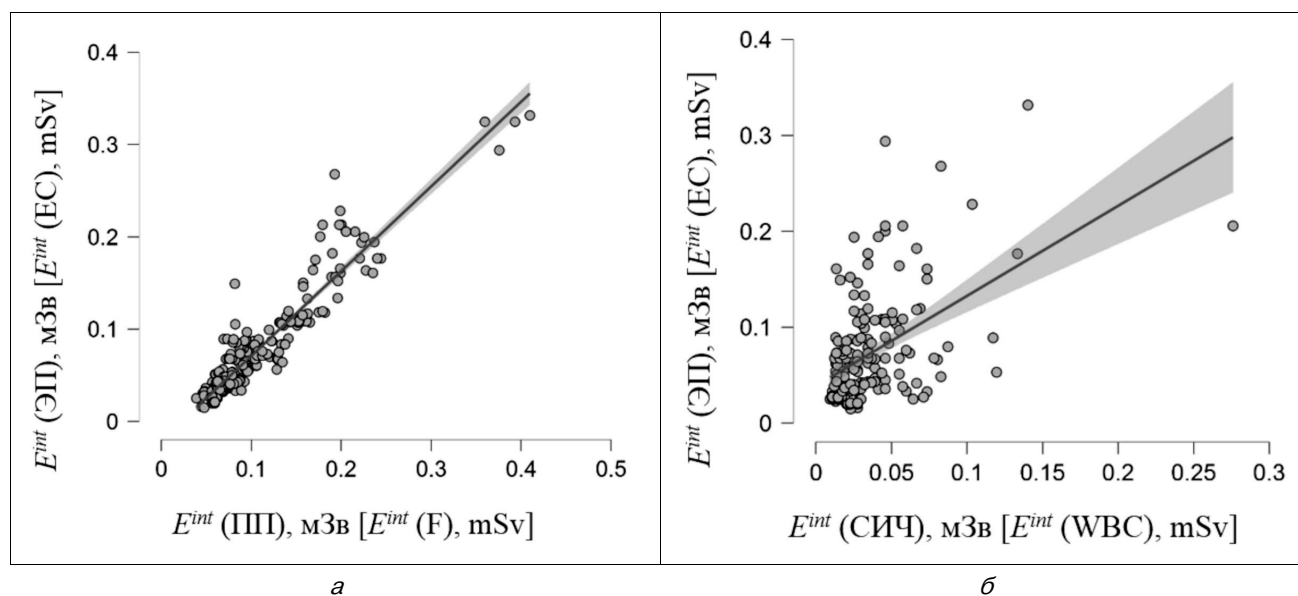


Рис. 1. Сопоставление СГЭД внутреннего облучения (E^{int}) взрослых жителей обследованных НП типа I]

[Fig. 1. Comparison of average annual effective doses of internal exposure (E^{int}) of adult residents of settlements "Type I"]

Результаты дозовых расчетов для критической (наиболее облучаемой) группы жителей обследованных НП (СГЭД КГ) представлены в таблице 2. Для оценки доз облучения

критической группы использовались соответствующие коэффициенты соотношения СГЭД и СГЭД КГ из методического документа МУ 2.6.1.2003-05.

Таблица 2. СГЭД внутреннего облучения критической группы населения, мЗв
[Table 2. Average annual effective dose of internal exposure of the critical group, mSv]

Плотность загрязнения ^{137}Cs почвы территории НП, кБк/м ² [^{137}Cs soil surface activity in settlements, kBq/m ²]	Модель [Model]*			
	ПП ^{КТ} [F ^{CG}]	ЭП ^{КТ} [EC ^{CG}]	КП ^{КТ} [TF ^{CG}]	СИЧ ^{КТ} [WBC ^{CG}]
<i>НП типа I [Settlements "Type I"]</i>				
< 37 (19 НП [settl.])**	0,12 ÷ 0,26***	0,06 ÷ 0,24	0,07 ÷ 0,12	0,04 ÷ 0,09 (12 НП [settl.])
37 – 185 (135 [settl.])	0,12 ÷ 0,67	0,05 ÷ 0,64	0,12 ÷ 0,58	0,03 ÷ 0,35 (96 НП [settl.])
185 – 555 (92 НП [settl.])	0,18 ÷ 1,2	0,1 ÷ 0,99	0,48 ÷ 1,7	0,04 ÷ 0,83 (75 НП [settl.])
555 – 1480 (6 НП [settl.])	0,47 ÷ 0,71	0,44 ÷ 0,62	1,6 ÷ 3,5	0,08 ÷ 0,22
> 1480 (1 НП [settl.])	0,6	0,48	5,5	0,22
<i>НП типа II [Settlements "Type II"]</i>				
37 – 185 (1 НП [settl.])	0,28	0,37	0,58	0,1
185 – 555 (1 НП [settl.])	0,43	0,28	1,4	0,12

* Обозначения моделей даны в примечании к таблице 1 применительно к критической группе (КТ) населения [The designations of the models are given in the notes to Table 1 in relation to the critical group (CG)].

** В скобках указано количество НП, для которых представлены результаты исследований [The number of the settlements is given in parentheses].

*** В таблице приведен диапазон значений СГЭД облучения критических групп населения НП, находящихся в указанных границах загрязнения почвы ^{137}Cs . [The table shows the range of values of the average annual effective dose of internal exposure of critical groups in settlements located within the boundaries of soil contamination by ^{137}Cs].

Если сопоставить дозовые оценки внутреннего облучения для критической группы населения НП с установленным для населения РФ пределом доз техногенного облучения⁵, определенным в 1 мЗв в год, то только по внутреннему облучению этот норматив будет превышен для трех НП согласно оценкам по модели «ПП»; для одного НП оцененное значение дозы по модели «ЭП» близко к дозовому пределу, для 42 НП, согласно расчетам по модели «КП», дозовый предел превышен. Однако следует принять во внимание, что методика расчета СГЭД внутреннего облучения, изложенная в МУ 2.6.1.2003-05, допускает использование алгоритма расчета с КП ^{137}Cs из почвы в пищевые продукты, но при наличии информации об удельной активности радионуклида в пищевых продуктах, полученной по результатам инструментальных исследований, предпочтительней использовать результаты измерений содержания ^{137}Cs в пищевых продуктах.

Сопоставительный анализ дозиметрических расчетов, выполненных по разным моделям оценки доз внутреннего облучения, выявил необходимость внесения корректив в действующие методы расчета в согласии с современными обстоятельствами и особенностями жизнедеятельности населения радиоактивно загрязненных территорий. Выполненный ранее анализ параметров радиационной обстановки и изучение социально-демографических характеристик обследованных НП [5–9] позволил провести предварительный пересмотр ряда модельных параметров.

Согласно принятой методологии дозовых оценок, НП

чернобыльских территорий подразделяются на три типа НП [10], различающиеся количеством населения и долей населения с личными подсобными хозяйствами. Анализ результатов СИЧ-измерений [9] позволил предположить, что целесообразно рассмотреть малые НП с численностью менее 100 человек как самостоятельную категорию. В нашем исследовании такой тип НП обозначен как «НП типа I» и последующие расчеты выполнены с его учетом. Для прочих НП с численностью до 10 тыс. человек оставлено прежнее название «НП типа I».

К одному из модельных параметров, который требует обновления, относится коэффициент перехода ^{137}Cs из почвы в пищевой продукт методических документов МУ 2.6.1.2003-05 и МУ 2.6.1.3152-13. На данном этапе исследования был проведен его пересчет на конец 2022 года. В итоге получили следующие, более низкие относительно прежних, значения (единица измерения – $10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$): для молока – 0,21 (торфяно-болотные почвы), 0,16 (песчаные и супесчаные), 0,04 (легко- и среднесуглинистые), 0,01 (тяжелосуглинистые и глинистые); для грибов – 13 (торфяно-болотные), 8,6 (песчаные и супесчаные), 2,6 (легко- и среднесуглинистые), 0,64 (тяжелосуглинистые и глинистые).

Использование модельного параметра «эффективное потребление» в дозиметрических расчетах доз внутреннего облучения позволяет существенно оптимизировать радиационный мониторинг на восстановительной стадии аварии. Использование эффективного потребления двух-

⁵ Нормы 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). [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.)]

трех основных дозообразующих пищевых продуктов позволяет учитывать вклад в дозу других компонентов рациона питания. С целью определения актуальных численных значений этого модельного параметра были выполнены оценки эффективного годового потребления молока (эквивалент сельскохозяйственных пищевых продуктов) и грибов (эквивалент пищевых продуктов природного происхождения) для следующих возрастных категорий жителей: взрослые, подростки, школьники, дошкольники. Недостаток информации по неорганизованным дошкольникам не позволил на данном этапе исследования выделить их в отдельную категорию, однако в дальнейших исследованиях мы планируем продолжить изучение рационов питания этой категории жителей. Полученные оценки для взрослых жителей (для НП типа Im (в кг/год): грибы – 8, молоко – 200; НП типа I (в кг/год): грибы – 7, молоко – 170; НП типа II (в кг/год): грибы – 5, молоко – 70) хорошо согласуются с результатами работы, изложенной в публикации [15], согласно которой для данной категории населения эффективное годовое потребление молока для НП с численностью населения до 10 тыс. человек составляет 170 кг, грибов – 9 кг. Для взрослых жителей более крупных НП в 2019-2022 гг. получены иные оценки, однако следует признать, что в данном исследовании к категории НП свыше 10 тыс. человек относились только два НП (в публикации [20] оценки проведены для населения 12 субъектов РФ) и оценки для жителей крупных НП в дальнейшем следует пересмотреть.

В действующих методических документах для связи удельной активности ^{137}Cs в теле человека, определенной по результатам СИЧ-измерения, с годовой эффективной дозой внутреннего облучения (в мЗв) используется дозовый коэффициент (k_d , (мЗв·кг)/(кБк·год)), равный 2,3. Коэффициент с указанным значением используется как для взрослого населения, так и для детского. В нашем исследовании с использованием методов регрессионного анализа мы выполнили дифференцирование этого модельного параметра по возрасту и принадлежности жителей к НП того или иного типа. Более устойчивые результаты были получены для взрослых жителей (k_d для НП типа Im – 2,3, НП типа Im – 2,43, НП типа II – 3,75).

По результатам выполненных модификаций модельных параметров были проведены новые расчеты СГЭД внутреннего облучения (E^{int}) жителей обследованных НП. В модифицированной модели оценки дозы внутреннего облучения E^{int} по удельной активности ^{137}Cs в основных дозообразующих пищевых продуктах (молоко, грибы) (модель «ЭП м») были использованы обновленные данные об их эффективном годовом потреблении населением. Ранее оцененные нормированные на плотность загрязнения ^{137}Cs почвы НП величины удельной активности в молоке и грибах [7, 8], полученные по результатам анализа массива данных за 2019-2022 гг. о содержании ^{137}Cs в местных пищевых продуктах, позволили выполнить расчеты E^{int} с учетом этих коэффициентов перехода радионуклида из почвы в пищевой продукт. Такая оценка СГЭД внутреннего облучения (модель «ЭП а») была выполнена также на основе новых данных об эффективном потреблении молока и грибов. Обновленные значения коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в молоко и грибы методических документов МУ 2.6.1.2003-05 и МУ 2.6.1.3152-13 и новое эффективное потребление молока

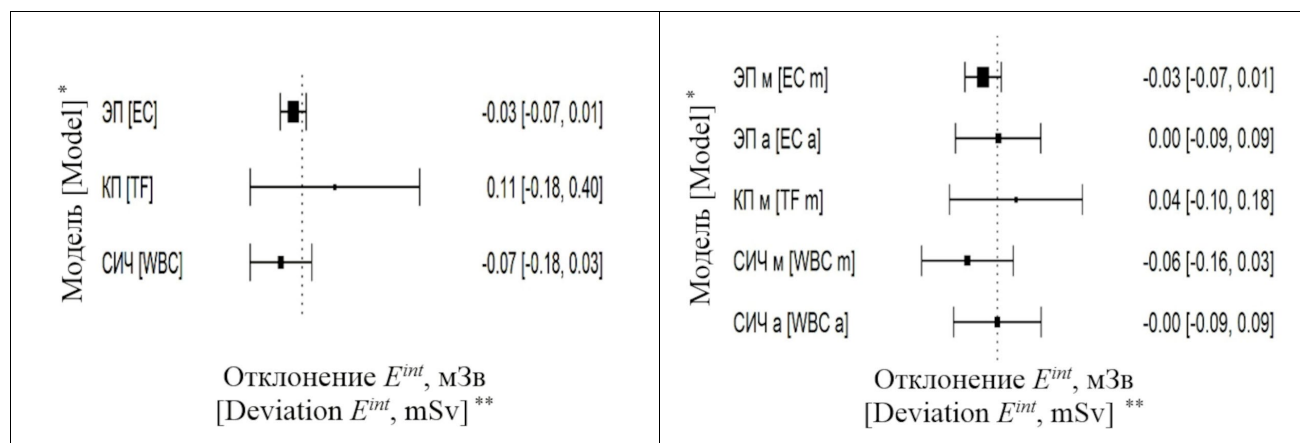
и грибов были использованы при расчетах по модели «КП м». Модификация дозовых коэффициентов, используемых в модели расчета дозы внутреннего облучения по результатам измерения содержания ^{137}Cs в теле человека, была учтена при расчетах по модели «СИЧ м». Нормированные величины удельной активности ^{137}Cs в теле человека на плотность загрязнения ^{137}Cs почвы НП, полученные в работе [9], и новые дозовые коэффициенты для оценки СГЭД по данным СИЧ-измерений позволили рассчитать дозу внутреннего облучения, которую могли бы иметь жители, проживая на территориях с известным загрязнением почвы ^{137}Cs (модель «СИЧ а»).

В качестве модели сличения была принята модель «ПП» как основанная на широком наборе местных пищевых продуктов с большим объемом исследований по определению содержания в них ^{137}Cs и представительным массивом информации по их потреблению населением. СИЧ-модель для этой цели на данном этапе исследования была отклонена ввиду необходимости ее более тщательного анализа. Чтобы сопоставить расчеты СГЭД внутреннего облучения по разным моделям было оценено численное отличие (в мЗв) величин той или иной модели от соответствующих величин, оцененных по модели «ПП». Отличие определялось для каждой возрастной категории жителей каждого обследованного НП. Рисунок 2 позволяет визуальнo оценить результаты сопоставления расчетов, выполненных по разным моделям для взрослых жителей НП типа I, относительно расчетов по модели «ПП» (на рисунке обозначена пунктирной линией) до корректирования модельных параметров (панель «а») и после (панель «б»).

Результаты корректирования модельных параметров дали положительный эффект: расчеты по модифицированным моделям в той или иной степени позволили снизить различия в оценках дозы внутреннего облучения жителей.

Модели «ЭП а» и «СИЧ а» учитывают не только нормированные величины удельных активностей, но также и их изменение в зависимости от уровней загрязненности почвы ^{137}Cs . Эти модели разработаны в рамках настоящего исследования и построены с использованием методов регрессионного анализа. Использование моделей «ЭП а» и «СИЧ а» может быть полезно на практике для планирования радиационно-гигиенических обследований и/или объема радиационного мониторинга. Согласно принятой методологии оценки доз облучения [10], НП чернобыльских территорий принято делить не только по типам (численность жителей и т.д.), но и по группам: «НП группы 1» – НП, где предварительная оценка дозы для критической группы населения составляет величину менее 1,0 мЗв/год; «НП группы 2» – НП, где таковая величина равна или более 1,0 мЗв/год. Модели «ЭП а» и «СИЧ а» позволяют выполнить такие предварительные расчеты.

В контексте радиационной безопасности проживания населения на территориях чернобыльского следа, как и упомянуто выше, наибольший интерес представляют расчеты СГЭД внутреннего облучения для его критической группы. Рисунок 3 демонстрирует отличие результатов расчетов, выполненных по модифицированным моделям, от расчетов, выполненных по модели по поступлению с местными пищевыми продуктами (модель «ПП»; также обозначена на рисунке пунктирной линией) в отношении критической группы (КГ) населения.



до корректирования [before correction] (a)

после корректирования [after correction] (б)

Рис. 2. Сопоставление отклонений значений СГЭД внутреннего облучения (E^{int}) взрослых жителей НП типа I (a) и НП типа I (б), рассчитанных по разным моделям, от дозы E^{int} , рассчитанной по модели поступления радионуклидов с пищевыми продуктами «ПП», мЗв

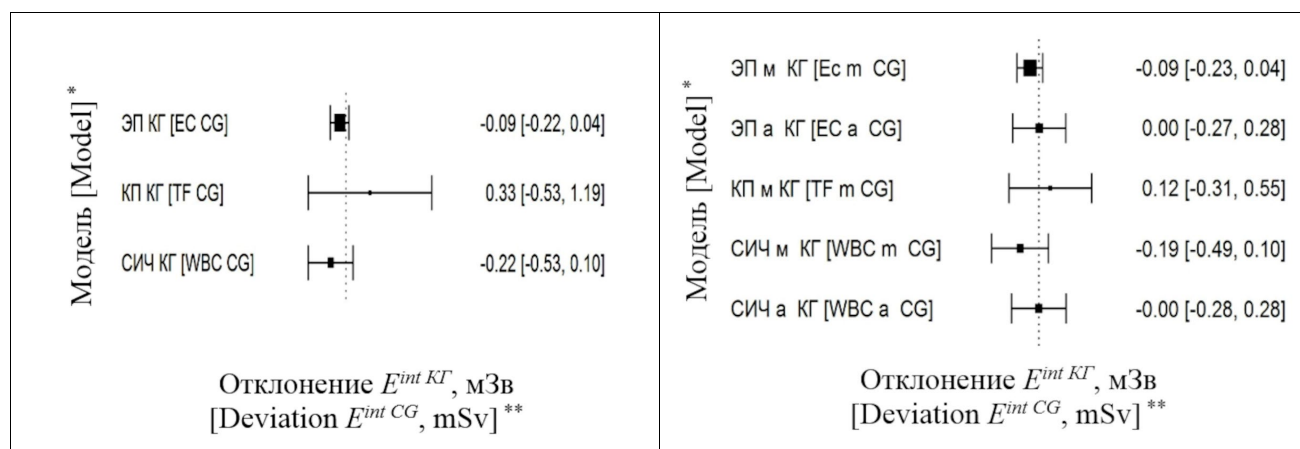
* Обозначения моделей даны в примечании к таблице 1 и в тексте статьи.

** Приведены средние значения отклонений (и дан диапазон стандартного отклонения от среднего) величин E^{int} , рассчитанных по разным моделям, от величин E^{int} , рассчитанных по модели «ПП» (пунктирная линия графика).

[Fig. 2. Comparison of deviations of the average annual effective dose of internal exposure (E^{int}) of adults of the settlement "Type I" (a) and both the settlement "Type Is" and "Type I" (б) calculated using different models from the dose E^{int} calculated using the model "F", mSv

* The designations of the models are given in the note to Table 1 and in the article text.

** The average values of deviations (and the range of standard deviations from the average) of the E^{int} values calculated using different models from the E^{int} values calculated using the F model (dotted line are given.)



до корректирования [before correction] (a)

после корректирования [after correction] (б)

Рис. 3. Сопоставление отклонений значений СГЭД внутреннего облучения критической группы населения ($E^{int}_{KГ}$) обследованных НП типа I (a) и НП типа I и НП типа I (б), рассчитанных по разным моделям, от дозы ($E^{int}_{KГ}$), рассчитанной по модели поступления радионуклидов с пищевыми продуктами (модель «ПП КГ»), мЗв

* Обозначения моделей даны в примечании к таблицам 1 и 2 и в тексте статьи.

** Приведены средние значения отклонений (и дан диапазон станд. отклонения от среднего) величин $E^{int}_{KГ}$, рассчитанных по разным моделям, от величин $E^{int}_{KГ}$, рассчитанных по модели «ПП КГ» (пунктирная линия графика).

[Fig. 3. Comparison of deviations of the average annual effective dose of internal exposure of critical group ($E^{int}_{KГ}$) of the settlement "Type I" (a) and both the settlements "Type Is" and "Type I" (б) calculated using different models from the dose $E^{int}_{KГ}$ calculated using the model "F^{CG}", mSv

* The designations of the models are given in the notes to Table 1 and Table 2 as well as in the article text.

** The average values of deviations (and the range of standard deviations from the average) of the $E^{int}_{KГ}$ values, calculated using different models, from the $E^{int}_{KГ}$ values, calculated using the "F^{CG}" model (dashed line on the graph) are given.

Корректирование модельных параметров с учетом современной радиационной обстановки позволило уточнить количество НП, где наиболее облучаемая часть населения имеет СГЭД внутреннего облучения свыше 1 мЗв: норматив будет превышен для одного НП по модели «ЭП м» (как и прежде) и для 22 НП согласно расчетам по модели «КП м».

Заключение

На современном этапе радиационной аварии на ЧАЭС СГЭД внутреннего облучения населения НП юго-западных территорий Брянской области, оцененные по инструментальным моделям, не превышают 1 мЗв, а для большинства обследованных НП не зафиксировано превышения 1 мЗв и для критической группы населения. Однако в отдельных НП СГЭД критической группы населения может достигать 5 мЗв (по консервативным оценкам). Наибольший вклад в дозу внутреннего облучения населения вносят пищевые продукты природного происхождения.

Выполненные дозовые оценки подтвердили устойчивость методологии оценки доз внутреннего облучения населения черномыльских территорий в своих базисных принципах. Однако часть модельных параметров нуждается в корректурах. Результаты ранее проведенного анализа [5–9] позволили выявить современные особенности формирования доз внутреннего облучения населения и выполнить модификацию дозиметрических моделей. Результаты корректирования дали положительный эффект: расчеты по модифицированным моделям в той или иной степени позволили снизить различия в оценках дозы внутреннего облучения жителей. Однако предпринятые на данном этапе исследования изменения имеют предварительный характер и требуют дальнейшей проработки.

Помимо предпринятых в данном исследовании шагов по совершенствованию методологии оценки доз внутреннего облучения населения черномыльских территорий, остается еще ряд вопросов, требующих рассмотрения.

Изучение путей формирования доз облучения – важная задача в системе радиационной защиты населения как в начальный период радиационной аварии, так и в ее отдаленном периоде. Именно постоянный мониторинг радиационной обстановки и ее анализ позволяет получить представление о дозовых нагрузках на население и на его наиболее облучаемых представителей.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

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

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

Братилова А.А. – организация экспедиционных исследований, сбор и систематизация данных, поиск литературных источников.

Брук Г.Я. – разработка концепции, определение цели и формулирование задач исследования.

Жеско Т.В. – обработка первичных материалов исследования.

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

Благодарности

Авторы выражают благодарность и признательность за содействие в работе специалистам Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, а также сотрудникам ФБУЗ ЦГиЭ в 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 2026–2030 гг. по теме: «Совершенствование моделей расчета доз облучения населения территорий РФ, загрязненных радиоактивными выпадениями вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, для обеспечения радиационной защиты в отдаленные сроки».

Литература

1. ICRP. Application of the Commission's Recommendations to the Protection of Individuals Living in Long Term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency. ICRP Publication 111 // Annals of the ICRP. 2009. Vol. 39, No 3. P. 1–74.
2. МАГАТЭ. Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление: Двадцатилетний опыт: доклад экспертной группы «Экология» Чернобыльского форума. Вена: МАГАТЭ, 2008. 180 с.
3. Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС / под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и проф. А.Ю. Поповой. Санкт-Петербург: НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2016. Т. 1. 448 с.
4. Балонов М.И., Анисимова Л.И., Перминова Г.С. Критерии защиты населения и реабилитации территорий России в отдаленный период после чернобыльской аварии // Радиация и риск. 1999. № 11. С. 108–116.
5. 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.
6. 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.
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 3: Содержание радионуклидов в сельскохозяйственных пищевых продуктах // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 2. С. 7–17.
8. 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.
9. Романович И.К., Базюкин А.Б., Братилова А.А. и др. Содержание ^{137}Cs в организме жителей населенных пунктов Брянской области по результатам радиационно-гигиенических обследований // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 4. С. 7–18.
10. Оценка доз облучения населения Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС: Сборник методических документов. Издание третье. Санкт-Петербург, 2011. 456 с.

11. International Atomic Energy Agency. Assessment of doses to the public from ingested radionuclides. Vienna: IAEA, 1999. 95 с.
12. Шутов В.Н., Кадука М.В., Кравцова О.С. и др. Защита от радиации. СПб, 2011. 88 с.
13. ICRP. Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5. Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients. ICRP Publication 72 // Annals of the ICRP. 1996. Vol. 26, No 1. P. 1–108.
14. 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.
15. 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.

Поступила: 05.05.2026

Кравцова Ольга Сергеевна – 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. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: olga.s.kravtsova@mail.ru; ORCID: 0009-0008-5543-5411, РИНЦ Author ID: 651947

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, РИНЦ Author ID: 649202

Братилова Анжелика Анатольевна – старший научный сотрудник, заведующая 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: 0000-0002-6489-3974, РИНЦ Author ID: 183297

Брук Геннадий Яковлевич – кандидат технических наук, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, 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, РИНЦ Author ID: 651942

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, РИНЦ Author ID: 422310

Для цитирования: Кравцова О.С., Базюкин А.Б., Братилова А.А., Брук Г.Я., Жеско Т.В., Романович И.К. Дозовые оценки внутреннего облучения жителей населенных пунктов Брянской области по результатам обследований 2019–2022 гг. // Радиационная гигиена. 2026. Т. 19, № 2. С. 7–17. DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-2-7-17

Dose assessments of internal exposure for residents of populated areas of the Bryansk region according to the 2019–2022 survey

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

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

This article presents results of internal radiation dose assessments for the population based on radiation and hygienic surveys of settlements in the Bryansk region bordering the Republic of Belarus in 2019–2022. The objective of the study was to perform dose assessments with various models and to determine model parameters to updating. Materials and Methods: Calculations were performed for different age groups of the

Olga S. Kravtsova

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

Address for correspondence: 8, Mira Str., Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: olga.s.kravtsova@mail.ru

population of the surveyed settlements in the Bryansk region, as well as for critical groups, in accordance with current methodological documents. The results of comprehensive radiation and hygienic survey of settlements and radiation monitoring data were used for dose assessments. Results and Discussion: The greatest deviations from the model for ^{137}Cs intake with food products (covering the majority of local food products and their consumption by the population) were obtained for the model which parameters are the coefficients of radionuclide transfer from soil to food products (milk and mushrooms) for the adult population living in areas with high levels of soil contamination (more than 555 kBq/m^2 by ^{137}Cs). At the same time, for the population of other areas (the majority of the surveyed settlements), the convergence of the dose assessment results is satisfactory. Conclusion: The average annual effective doses of internal exposure to the population of the surveyed settlements do not exceed 1 mSv , and the internal doses to the critical groups do not exceed 5 mSv . Food products of wild origin make a greater contribution to the internal radiation dose than local agricultural food products. The methodology for dose assessment to the population of the Chernobyl territories has proven its stability in basic approaches. Modification of several model parameters has allowed to improve calculation results.

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

Authors' personal contribution

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.

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

Bratilova A.A. – 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.

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

Acknowledgements

The authors express their gratitude and appreciation for assistance in the work to employees of the St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene named after Prof. P.V. Ramzaev, as well as to employees of FBUZ CDPH in Bryansk region. The authors are grateful to the reviewers for their constructive comments and recommendations.

Conflict of interests

The authors have no conflicts of interest to disclose.

Sources of funding

The study was performed within the framework of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing program for 2026–2030 on the topic: “Improving models for calculating radiation doses to the population of the territories of the Russian Federation contaminated with radioactive fallout due to the accident at the Chernobyl nuclear power plant, to ensure radiation protection in the long-term phase.”

References

- ICRP. Application of the Commission's Recommendations to the Protection of Individuals Living in Long Term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency. ICRP Publication 111. *Annals of the ICRP*. 2009;39(3): 1–74.
- IAEA. Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Mitigation: Twenty-Year Experience: Report of the Ecology Expert Group of the Chernobyl Forum. Vienna: IAEA; 2008. 180 p. (In Russian).
- Onishchenko GG, Popova AY (eds.). Radiation-Hygienic Aspects of Mitigating the Consequences of the Chernobyl Accident. St. Petersburg: NIIRG named after prof. P.V. Ramzaev; 2016. 448 p. (In Russian).
- Balonov MI, Anisimova LI, Perminova GS. Criteria for Population Protection and Rehabilitation of Russian Territories in the Late Period after the Chernobyl Accident. *Radiatsiya i risk = Radiation and Risk*. 1999;(11): 108–116. (In Russian).
- 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).
- 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).
- 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).
- 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).
- Romanovich IK, Bazyukin AB, Bratilova AA, Bruk GYa, Zhesko TV, Kaduka MV, et al. 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. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025;18(4): 7–18. (In Russian).
- Assessment of radiation doses to the population of the Russian Federation due to the accident at the Chernobyl nuclear power plant: Collection of methodological documents. Third edition. St. Petersburg; 2011. 456 p.
- International Atomic Energy Agency. Assessment of doses to the public from ingested radionuclides. Vienna: IAEA; 1999. 95 p.
- Shutov VN, Kaduka MV, Kravtsova OS, Parkhomenko VI, Samoilenko VM. Protection from radiation. Saint Petersburg: Textbook; 2011. 88 p. (In Russian).

13. ICRP. Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5. Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients. ICRP Publication 72. *Annals of the ICRP*. 1996;26(1): 1–108.
14. Bratilova AA, Bruk GYa. Effect of Consumption of Various Food Products on the Formation of Internal Radiation Doses of the Adult Population of the Russian Federation after the Chernobyl Accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(2): 53–59. (In Russian).
15. Bruk GYa, Bazyukin AB, Bratilova AA, Yakovlev VA. Patterns of Formation and Forecast of Internal Radiation Doses of the Population of the Bryansk Region in the Late Period after the Chernobyl Accident. *Mediko-biologicheskie problemy zhiznedeyatel'nosti = Medical and Biological Problems of Life Activity*. 2019;2(22): 17–23. (In Russian).

Received: May 05, 2026

For correspondence: Olga S. Kravtsova – Candidate of Biological Sciences, Acting 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 (8, Mira Str., Saint Petersburg, Russia, 197101; E-mail: olga.s.kravtsova@mail.ru); ORCID: 0009-0008-5543-5411, RSCI Author ID: 651947

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, RSCI Author ID: 649202

Angelika A. Bratilova – Head of the Laboratory of Internal Exposure at 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: 0000-0002-6489-3974, RSCI Author ID: 183297

Gennadiy Ya. Bruk – Candidate of Technical Sciences, 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, RSCI Author ID: 651942

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, RSCI Author ID: 422310

For citation: Kravtsova O.S., Bazyukin A.B., Bratilova A.A., Bruk G.Ya., Zhesko T.V., Romanovich I.K. Dose assessments of internal exposure for residents of populated areas of the Bryansk region according to the 2019-2022 survey. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2026. Vol. 19, No. 2. P. 7–17. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-2-7-17