

# Результаты современных радиационно-гигиенических обследований приграничных с Республикой Беларусь населенных пунктов Брянской области Российской Федерации. Часть 3: Содержание радионуклидов в сельскохозяйственных пищевых продуктах<sup>1</sup>

И.К. Романович<sup>1</sup>, А.Б. Базюкин<sup>1</sup>, А.А. Братилова<sup>1</sup>, Г.Я. Брук<sup>1</sup>, Е.А. Дроздова<sup>1</sup>, Т.В. Жеско<sup>1</sup>,  
М.В. Кадука<sup>1</sup>, О.С. Кравцова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> Уральский научно-практический центр радиационной медицины, Федеральное медико-биологическое агентство, Челябинск, Россия

*В третьей статье цикла публикаций, посвященных результатам изучения современной радиационной обстановки на приграничных с Республикой Беларусь территориях Брянской области, приведены результаты исследований содержания радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ) в пробах сельскохозяйственных пищевых продуктов, произведенных в личных подсобных хозяйствах населения. Исследованы особенности изменения содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пробах коровьего молока и картофеля в зависимости от уровня радиоактивного загрязнения территории и определены современные значения величин, характеризующих распределение отношений концентрации радионуклидов в сельскохозяйственных пищевых продуктах к плотности радиоактивного загрязнения почвы обследуемой территории. Проведен анализ соотношения средних значений концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в молоке стойлового и выпасного периодов содержания крупного рогатого скота. По результатам исследования выявлено, что радиологическому критерию безопасности не соответствует часть образцов молочной продукции (менее 1%). В исследованных образцах картофеля, овощей и мяса сельскохозяйственных животных превышений гигиенических нормативов не обнаружено.*

**Ключевые слова:** авария на Чернобыльской АЭС, население, внутреннее облучение, цезий-137, стронций-90, сельскохозяйственные пищевые продукты.

## Введение

Данная публикация является продолжением цикла статей, посвященных результатам исследований, проведенных в период 2019–2022 гг. по изучению современной радиационной обстановки на приграничных с Республикой Беларусь территориях Российской Федерации (РФ) в ходе реализации мероприятий «Программы совместной деятельности России и Беларуси в рамках Союзного государства по защите населения и реабилитации тер-

риторий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС»<sup>2</sup> (далее – Программа) [1, 2]. В статье приводятся результаты исследований содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в образцах сельскохозяйственных пищевых продуктов местного производства.

В исследованиях, проведенных за последние годы на территориях, загрязненных вследствие аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС), отмечается неравномерный темп снижения содержания  $^{137}\text{Cs}$

<sup>1</sup> Продолжение. Начало статьи опубликовано в журнале «Радиационная гигиена». 2023. Т. 16, № 3 [1] и № 4 [2] [The continuation. The beginning was published in the Radiation Hygiene in 2023 [1; 2]].

<sup>2</sup> Постановление Совета министров Союзного государства от 29 августа 2019 № 8 «О Программе совместной деятельности России и Беларуси в рамках Союзного государства по защите населения и реабилитации территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» [Decree of the Council of Ministers of the Union State No. 8, August 29, 2019 "On the Program of joint activities of Russia and Belarus within the framework of the Union State to protect the population and rehabilitate territories affected by the disaster at the Chernobyl nuclear power plant" (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

в почвенном слое пахотных угодий, а значит, и в сельскохозяйственной продукции [3]. Оцененные эффективные периоды полуснижения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в картофеле, выращенном в юго-западных районах Брянской области, варьируют от 10 до 27 лет, что объясняется различиями физико-химическими характеристиками почвы территории и особенностями проведенных на конкретных сельскохозяйственных угодьях защитных мероприятий. Однако, наряду с естественным снижением содержания  $^{137}\text{Cs}$  в местных пищевых продуктах, может наблюдаться и рост данного показателя, как, например, для картофеля, производимого в настоящее время в Злынковском районе Брянской области [3]. Данный факт можно объяснить падением плодородия почв территории, связанным с прекращением реализации на ней защитных мероприятий, в том числе внесения удобрений.

Более сложная ситуация наблюдается в отношении динамики содержания радионуклидов в кормовых культурах. Если овощная продукция юго-западных районов Брянской области уже продолжительное время соответствует требованиям радиационной безопасности [4, 5], то в растительности, предназначенной для корма сельскохозяйственным животным, и в настоящее время обнаруживаются значительные превышения допустимых уровней содержания цезия [6]. По прогнозным оценкам ожидается, что превышения гигиенических нормативов содержания  $^{137}\text{Cs}$  в кормах сельскохозяйственных животных, выращенных на юго-западных территориях области, где проводились защитные мероприятия, перестанут фиксироваться не ранее 2030 г. [6, 7].

По результатам белорусского исследования перехода  $^{137}\text{Cs}$  в растения пойменных лугов р. Сож Гомельской области показан высокий градиент загрязнения почвы пойменных земель. Оцененные граничные значения плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  пойменных участков в пределах окрестностей исследованного населенного пункта (НП) различаются почти в 5 раз, а в луговых травах – в 14 раз [8].

Из приведенных сведений следует, что в настоящее время на загрязненных в результате чернобыльской аварии территориях Брянской области радионуклиды продолжают поступать в организм жителей через потребление сельскохозяйственных пищевых продуктов местного происхождения.

**Цель исследования** – дать аналитическую характеристику современным уровням радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных пищевых продуктов местного производства.

### Материалы и методы

Исследования содержания  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственных пищевых продуктах, произведенных населением в личных подсобных хозяйствах (ЛПХ), выполнены в рамках осуществления комплексных радиационно-гигиенических обследований НП юго-западных районов Брянской области в период 2019–2022 гг. [1].

С целью определения уровней поступления  $^{137}\text{Cs}$  в организм жителей НП обследованных территорий был организован отбор образцов наиболее представительных для данной местности сельскохозяйственных пищевых продуктов [1], а также проведен опрос жителей о структуре их рациона питания [2]. Образцы пищевых продуктов отбирали на протяжении всего календарного года в течение выше обозначенного периода проведения исследований. Для получения более полной информации о содержании радиоактивных веществ в пищевых продуктах были собраны и обобщены результаты радиационного мониторинга, проводимого в НП учреждениями Роспотребнадзора в тот же период времени.

Отбор проб пищевых продуктов из ЛПХ жителей и определение в них содержания радионуклидов (в рамках комплексного обследования –  $^{137}\text{Cs}$ , в рамках радиационного мониторинга –  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ) проводили в соответствии с действующими методическими документами<sup>3,4,5,6</sup>. Измерения счетных образцов проводили на радиометрическом и спектрометрическом оборудовании (гамма-спектрометрические комплексы «Прогресс» (НПП «Доза», Россия) и МКС-01А «Мультирад» («НТЦ «Амплитуда», Россия), альфа-бета-радиометры для измерения малых активностей УМФ-2000 (НПП «Доза», Россия). Данные о плотности загрязнения почвы территории НП были предоставлены Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (далее – Росгидромет).

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

<sup>3</sup> Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / под ред. А.Н. Мареев, А.С. Зыковой. М.: Вторая типография МЗ СССР, 1980 [Marey AN, Zykova AS, Eds. Methodical guidelines for sanitary control over the content of radioactive elements in environmental objects. Moscow: Second Printing House of the Ministry of Health of the USSR; 1980. (In Russ.)]

<sup>4</sup> МУК 4.3.2504-09 Цезий-137. Определение удельной активности в пищевых продуктах. М.: Федеральный Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 24 с. [МУК 4.3.2504-09. Caesium-137. Determination of specific activity in food products. Methodical guidelines. Moscow: Rospotrebnadzor; 2009. 24 p. (In Russ.)]

<sup>5</sup> МУК 2.6.1.1194-03. Радиационный контроль. Стронций-90 и Цезий-137. Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка. М., 2003 [МУК 2.6.1.1194-03. Radiation control. Strontium-90 and caesium-137. Food products. Sampling, analysis and hygienic assessment. Methodical guidelines. Moscow; 2003. (In Russ.)]

<sup>6</sup> МР 2.6.1.0094-14. Радиохимическое определение удельной активности цезия-137 и стронция-90 в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах. М., 2014. [MR 2.6.1.0094-14. Radiochemical determination of the specific activity of caesium-137 and strontium-90 in samples of food products, soil, other environmental objects and bioassays. Methodical guidelines. Moscow; 2014. (In Russ.)]

## Результаты и обсуждение

В рамках комплексных радиационно-гигиенических обследований НП приграничных территорий в 2019–2022 гг. [1] проведены исследования содержания  $^{137}\text{Cs}$  в пробах сельскохозяйственных пищевых продуктов из 238 НП с плотностью радиоактивного загрязнения<sup>7</sup> почвы территории НП (далее –  $\sigma^{137}$ ) до 1,85 МБк/м<sup>2</sup>. Во всех обследованных НП с плотностью радиоактивного загрязнения<sup>8</sup> почвы до 1,85 МБк/м<sup>2</sup> максимальные значения содержания радионуклида в пробах картофеля и овощей (порядка 860 проб) не превышали 50 Бк/кг, в пробах овощной зелени (25 проб) – 25 Бк/кг. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в луке репчатом и наземных овощах ниже, чем в корнеплодах (морковь, свекла) и в клубнеплодах (картофеле), что объясняется межвидовыми различиями в способности накапливать  $^{137}\text{Cs}$  [10]. Различная способность к аккумуляции  $^{137}\text{Cs}$  наблюдается и среди листовых овощей: значения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в исследованных пробах садового щавеля варьировали от 7 до 25 Бк/кг, в пробах прочей листовой зелени (лук-перо, укроп, петрушка, салат листовой) содержание данного радионуклида не превышало 10 Бк/кг. Такая особенность щавеля объясняется тем, что щавелевая кислота, содержащаяся в этом растении, способствует ослаблению прочности поглощения радионуклида почвой, в связи с чем щавель не рекомендован к культивированию на дерново-подзолистых заболачиваемых почвах с радиоактивным загрязнением по  $^{137}\text{Cs}$  свыше 185 кБк/м<sup>2</sup> [11].

Превышения допустимых уровней (ДУ) содержания  $^{137}\text{Cs}$  были выявлены только в 2 пробах сельскохозяйственных пищевых продуктов животного происхождения. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в пробе коровьего молока из д. Батуровка Красногорского района ( $\sigma^{137} \approx 450$  кБк/км<sup>2</sup>) составила 116 Бк/кг при значении допустимого уровня для данного вида продукта 100 Бк/кг<sup>9</sup>, в пробе козьего молока из г. Клинцы ( $\sigma^{137} \approx 150$  кБк/м<sup>2</sup>) – 106 Бк/кг. Из исследованных проб мяса сельскохозяйственных животных наиболее высокое содержание  $^{137}\text{Cs}$  (почти 100 Бк/кг) выявлено в мясе крупного рогатого скота (КРС) из НП с плотностью  $\sigma^{137}$ , равной 370 кБк/м<sup>2</sup>, однако и это значение ниже установленного допустимого уровня (200 Бк/кг). Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в пробах куриных яиц не превысило 25 Бк/кг, что тоже удовлетворяет требованиям радиационной безопасности.

Обобщение данных о содержании  $^{137}\text{Cs}$  в пищевых продуктах, полученных в рамках работ по обследо-

ванию приграничных НП, с данными радиационно-гигиенического мониторинга, проводимого учреждениями Роспотребнадзора в этих же НП Брянской области в 2019–2022 гг., позволило расширить массив информации и дать более полную характеристику радиологической ситуации (табл. 1). Анализ обобщенного массива данных показал, что превышение ДУ содержания  $^{137}\text{Cs}$  в пищевых продуктах наблюдается только для проб местного коровьего и козьего молока; доля проб с превышением составила около 1% от всех исследованных.

Пробы молока, не соответствующие требованиям радиационной безопасности по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  (100 Бк/кг<sup>10</sup>) были выявлены в НП из городского округа «город Клинцы», Клиновского и Красногорского районов области. 4 пробы коровьего молока с превышением ДУ по  $^{137}\text{Cs}$  поступили с территорий, находящихся в границах плотности радиоактивного загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  ( $\sigma^{137}$ ) от 37 до 555 кБк/м<sup>2</sup>, 1 проба козьего молока – с территории с  $\sigma^{137}$  от 37 до 185 кБк/м<sup>2</sup>, 7 проб коровьего молока – с территории с  $\sigma^{137}$  от 185 до 555 кБк/м<sup>2</sup>. Согласно данным по структуре групп почв пастбищных и сенокосных угодий, во всех этих НП присутствуют целинные участки с торфяно-болотными почвами.

В картофеле, в овощной продукции и в мясе сельскохозяйственных животных из ЛПХ населения образцов продуктов, не удовлетворяющих радиологическим критериям безопасности, не обнаружено. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в исследованных образцах молока и картофеля значительно ниже установленных в России допустимых уровней<sup>11</sup> содержания данного радионуклида в пищевой продукции.

Графическое представление распределений значений удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в пробах коровьего молока (рис. 1, фрагмент а) и в пробах картофеля (рис. 1, фрагмент б) демонстрирует статистически значимую зависимость увеличения концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в пищевом продукте с увеличением плотности загрязнения почвы  $\sigma^{137}$  (коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен 0,42 ( $p < 0,05$ ) для коровьего молока и 0,68 для картофеля ( $p < 0,05$ )). Схематичное изображение статистических характеристик распределений данных на диаграмме размаха (таких как медиана, нижний и верхний квартили) позволяет проследить наличие нетипичных (аномальных) для общего распределения значений. Для проб молока доля таких значений, определенная с использованием метода Тьюки (критерий – полтора межквартильного расстояния) [12], для НП с плотностью загрязнения  $\sigma^{137}$  от

<sup>7</sup> Здесь и далее – по данным Росгидромет о средней плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  почвы территории населенного пункта по состоянию на год выполнения исследования, если не оговорено иное [The  $^{137}\text{Cs}$  soil surface activity in settlements data is hereafter given as at 01/01/2022 by Rosgidromet], unless otherwise specified.]

<sup>8</sup> Здесь и далее – по данным Росгидромет о средней плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  почвы территории населенного пункта по состоянию на год выполнения исследования, если не оговорено иное [The  $^{137}\text{Cs}$  soil surface activity in settlements data is hereafter given as at 01/01/2022 by Rosgidromet], unless otherwise specified.]

<sup>9</sup> СанПиН 2.3.2.1078-01; Доп. и изм. 18 к СанПиН 2.3.2.1078-01 [SanPiN 2.3.2.1078-01; Add. and rev. 18 to SanPiN 2.3.2.1078-01 (In Russ.)].

<sup>10</sup> СанПиН 2.3.2.1078-01; Доп. и изм. 18 к СанПиН 2.3.2.1078-01 [SanPiN 2.3.2.1078-01; Add. and rev. 18 to SanPiN 2.3.2.1078-01 (In Russ.)].

<sup>11</sup> СанПиН 2.3.2.1078-01; Доп. и изм. 18 к СанПиН 2.3.2.1078-01 [SanPiN 2.3.2.1078-01; Add. and rev. 18 to SanPiN 2.3.2.1078-01 (In Russ.)].

Таблица 1

**Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пробах сельскохозяйственных пищевых продуктов, Бк/кг  
(по обобщенным данным комплексных радиационных обследований НП и данным радиационно-гигиенического мониторинга, 2019–2022 гг.)**

[Table 1]

**Specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in agricultural foodstuffs, Bq/kg  
(according to the survey data united with radiation monitoring data, 2019–2022)]**

Пищевые продукты [Foodstuffs]	Pn* [Rn*]	Статистические параметры [Statistical parameters] <sup>12</sup>					
		N	Среднее <sup>13</sup> ± стандартная ошибка [Mean ± St.Err.]	Медиана [Median]	Геометрическое среднее [GM]	KB [CV]	Макс. [Max.]
σ <sup>137</sup> ** < 37 (17 НП [settlements])							
Молоко [milk]	<sup>137</sup> Cs	11	3,8 ± 1,1	3	2,6	0,97	12
Картофель [potatoes]	<sup>137</sup> Cs	41	2,6 ± 0,26	3	2,1	0,65	8
Овощи [vegetables]	<sup>137</sup> Cs	23	2,7 ± 0,16	3	2,7	0,29	3
37 ≤ σ <sup>137</sup> < 185 (122 НП [settlements])							
Молоко [milk] ***	<sup>137</sup> Cs	567	12 ± 0,65	8,4	7,6	1,2	150
	<sup>90</sup> Sr	87	0,75 ± 0,05	0,66	0,63	0,63	3,4
Картофель [potatoes]	<sup>137</sup> Cs	479	4,1 ± 0,15	3	3,3	0,8	28
	<sup>90</sup> Sr	92	0,84 ± 0,09	0,59	0,61	0,99	3
Овощи [vegetables]	<sup>137</sup> Cs	198	3,3 ± 0,12	3	3,2	0,5	11
185 ≤ σ <sup>137</sup> < 555 (91 НП [settlements])							
Молоко [milk] ***	<sup>137</sup> Cs	536	21 ± 0,83	15	14	0,94	130
	<sup>90</sup> Sr	120	1,2 ± 0,06	1,2	1	0,54	3
Картофель [potatoes]	<sup>137</sup> Cs	546	10 ± 0,39	7,8	7,2	0,91	77
	<sup>90</sup> Sr	189	0,74 ± 0,03	0,7	0,66	0,62	4,9
Овощи [vegetables]	<sup>137</sup> Cs	194	10 ± 0,74	7,1	6,3	1	50
555 ≤ σ <sup>137</sup> < 1480 (7 НП [settlements])							
Молоко [milk]	<sup>137</sup> Cs	35	27 ± 2,4	29	22	0,52	48
	<sup>90</sup> Sr	6	0,93 ± 0,22	0,64	0,82	0,57	1,6
Картофель [potatoes]	<sup>137</sup> Cs	64	18 ± 1,1	18	16	0,47	39
	<sup>90</sup> Sr	18	1,5 ± 0,26	0,95	1,2	0,7	3
Овощи [vegetables]	<sup>137</sup> Cs	17	13 ± 2	10	10	0,62	33
σ <sup>137</sup> > 1480 (1 НП [settlement])							
Картофель [potatoes]	<sup>137</sup> Cs	9	18 ± 3,1	22	14	0,52	30
	<sup>90</sup> Sr	2	0,71 ± 0,29	0,71	0,65	0,58	1

\* РН – радионуклиды [Rn – radionuclides].

\*\* Плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  ( $\sigma^{137}$ ) почвы территории НП, кБк/м<sup>2</sup>. В скобках указано количество НП, для которых представлены результаты исследований [ $^{137}\text{Cs}$  soil surface activity in settlements, kBq/m<sup>2</sup>. The number of the settlements is given in parentheses].

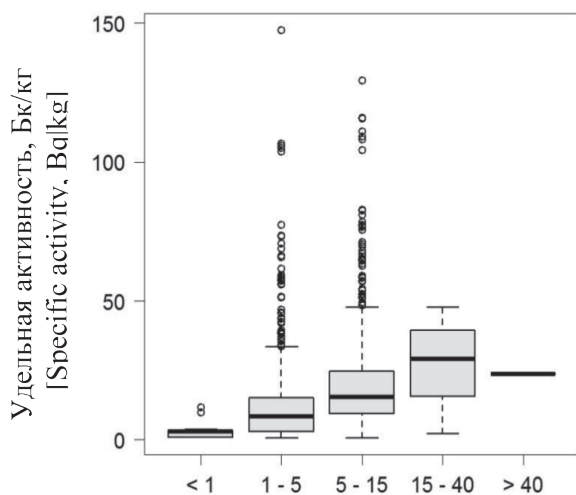
\*\*\* Имеются превышения допустимых уровней [There are values exceeding of the permissible levels] <sup>14</sup>.

<sup>12</sup> Здесь и далее используются следующие обозначения статистических параметров: N – количество исследований; Среднее – арифметическое среднее значение; Ст.Ош. – стандартная ошибка среднего; Геом. средн. – геометрическое среднее значение; КВ – коэффициент вариации; Максимум (Макс.) – максимальное значение [The names of statistical parameters are hereafter called as: N – the number of the examinations; 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].

<sup>13</sup> При расчете средних величин проводилась замена значений ниже порога чувствительности методики на значения нижней границы диапазона измерений [When calculating average values, values below the sensitivity threshold of the technique were replaced with values of the lower limit of the measurement range].

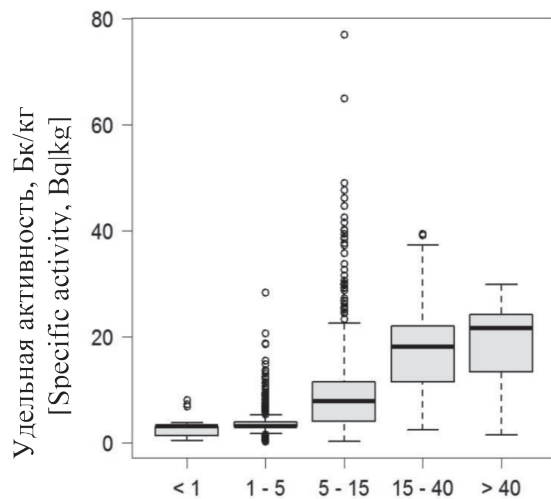
<sup>14</sup> СанПиН 2.3.2.1078-01; Доп. и изм. 18 к СанПиН 2.3.2.1078-01. [SanPiN 2.3.2.1078-01; Add. and rev. 18 to SanPiN 2.3.2.1078-01 (In Russ.)].





Плотность загрязнения \*  $^{137}\text{Cs}$ , Ки/км<sup>2</sup>  
[ $^{137}\text{Cs}$  soil surface activity levels, Ci/km<sup>2</sup>]

(a) молоко коровье [cow milk]



Плотность загрязнения \*  $^{137}\text{Cs}$ , Ки/км<sup>2</sup>  
[ $^{137}\text{Cs}$  soil surface activity levels, Ci/km<sup>2</sup>]

(b) картофель [potatoes]

**Рис. 1.** Диаграмма распределения значений удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в пробах сельскохозяйственных пищевых продуктов (по уровням плотности загрязнения почвы НП).

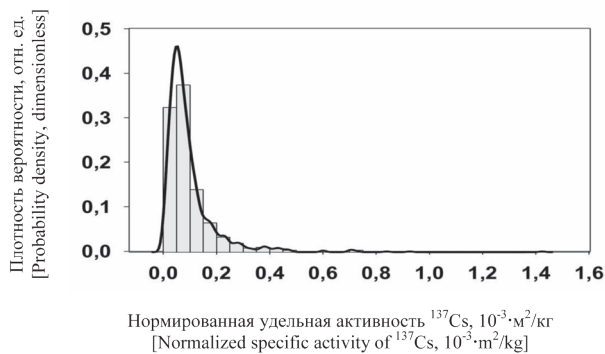
\* Плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  почвы территории НП, Ки/км<sup>2</sup> (1 Ки/км<sup>2</sup>=37 кБк/м<sup>2</sup>)

**[Fig. 1.]** Distribution of specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  values for agricultural foodstuff samples from private sector of settlements (by levels of soil surface activity).

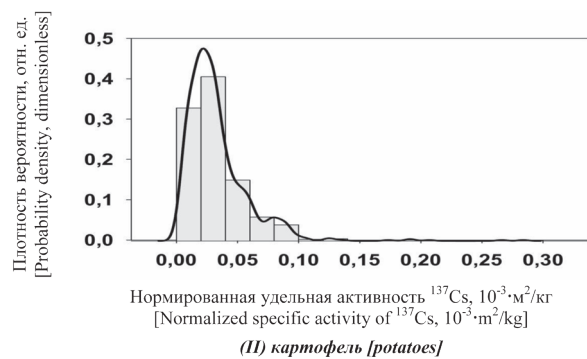
\*  $^{137}\text{Cs}$  soil surface activity levels, Ci/km<sup>2</sup> (1 Ci/km<sup>2</sup>=37 kBq/m<sup>2</sup>)

37 до 185 кБк/м<sup>2</sup> составила 7%, с плотностью  $\sigma^{137}$  от 185 до 555 кБк/м<sup>2</sup> – 8%, для проб картофеля – 20% и 7%. Это может указывать на неоднородность распределения  $^{137}\text{Cs}$  как в почве пастбищных и сенокосных угодий, так и в пахотных почвах приусадебных участков.

В связи с этим интерес представляет анализ характеристик распределений обнаруженных в образцах пищевых продуктов значений удельных активностей  $^{137}\text{Cs}$ , стандартизованных по плотности радиоактивного загрязнения территорий. На рисунках 2 и 3 представлены графики распределений нормированных величин удельной активности в пробах молока и картофеля.



**Рис. 2.** Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в пробах коровьего молока, нормированная на плотность загрязнения почвы,  $10^{-3}\cdot\text{м}^2\cdot\text{кг}^{-1}$   
**[Fig. 2.]** Specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in cow milk samples and potato samples normalized to soil contamination density values,  $10^{-3}\cdot\text{м}^2\cdot\text{кг}^{-1}$



**Рис. 3.** Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в пробах картофеля, нормированная на плотность загрязнения почвы,  $10^{-3}\cdot\text{м}^2\cdot\text{кг}^{-1}$   
**[Fig. 3.]** Specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in cow milk samples and potato samples normalized to soil contamination density values,  $10^{-3}\cdot\text{м}^2\cdot\text{кг}^{-1}$

Асимметрия линий плотности вероятности может указывать на значительную неравномерность распределения  $^{137}\text{Cs}$  по территории населенного пункта и его ареала, а также и на иные обстоятельства: в случае для проб молока, к примеру, – на использование кормов, заготовленных вне ареала населенного пункта либо на заливных лугах пойменных территорий, а для проб картофеля – на использование для улучшения плодородия огородной почвы удобрений, имеющих нетипичное (отличное от других ЛПХ в НП) происхождение (органические удобрения, зола древесных материалов и пр.) [6, 23]. Более пологая форма линии плотности вероятности распределений нор-

мированных значений удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в пробах картофеля демонстрирует и сортовое разнообразие (а значит, и несколько отличающуюся способность к аккумуляции радиоцезия) этого вида сельскохозяйственного растения.

В таблице 2 для проб коровьего молока и картофеля из ЛПХ представлены значения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , нормированные на среднюю плотность загрязнения данными радионуклидами почвы территории населенного пункта и его ареала.

Примечательно, что оцененные в данном исследовании усредненные значения нормированных величин удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в пробах молока из НП Брянской области (коэффициент его перехода из дер-

ново-подзолистых почв в пищевой продукт) согласуются с прогнозными оценками на период длительностью до 40 лет после аварии на ЧАЭС, данными еще в 2008 г. [16], а нормированные величины для  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пробах картофеля, а также  $^{90}\text{Sr}$  в пробах молока не противоречат трендам изменения содержания радионуклидов в этих видах пищевых продуктов, установленным 15 лет назад.

Изучение свойств распределений значений удельной активности радионуклидов в пробах коровьего молока с группированием по периоду содержания молочного КРС (стойловому и выпасному) позволило исследовать влияние сезона вскармливания молочного скота на содержание в молоке  $^{137}\text{Cs}$ . Анализ соотношений средних значений концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в молоке стойлового и выпасного

Таблица 2

**Нормированная удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пробах коровьего молока и картофеля из ЛПХ жителей обследованных НП,  $10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$**   
(нормирование по среднему значению плотности загрязнения почвы территории радионуклидом)

[Table 2]

**Normalized specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in agricultural foodstuff samples from private sector of surveyed settlements,  $10^{-3} \text{ m}^2/\text{kg}$**   
(normalized to the average value of soil surface activity)]

РН* [Rn*]	Статистические параметры [Statistical parameters] <sup>3</sup>						
	N	Среднее [Mean]	Ст. откл. средн. [SD]	Геом. средн. [GM]	Ст. откл. геом. средн. [GSD]	K95 [Q95]	Макс. [Max.]
Молоко коровье [cow milk]							
$^{137}\text{Cs}$	882	0,094	0,083	0,069	2,2	0,26	0,60
$^{90}\text{Sr}$	185	0,19	0,12	0,16	1,9	0,43	0,66
Картофель [potatoes]							
$^{137}\text{Cs}$	761	0,033	0,024	0,026	2	0,081	0,19
$^{90}\text{Sr}$	254	0,11	0,066	0,099	1,7	0,24	0,39

\* РН – радионуклиды [Rn – radionuclides].

Таблица 3

**Статистические характеристики нормированных величин удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в пробах коровьего молока в различные периоды содержания КРС, отн. ед**  
(нормирование по групповому среднему значению)

[Table 3]

**Statistical parameters of normalized specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in cow milk samples for different cattle keeping seasons, dimensionless**  
(scaled to the group mean value)]

Период содержания КРС [Cattle keeping season]	Статистические параметры [Statistical parameters] *					
	N	Медиана [Median]	KB [CV]	KA [Skew.]	КЭ [Kurt.]	Максимум [Maximum]
Песчаные и супесчаные, легко- и среднесуглинистые [Sandy and sandy loam, light and medium loamy]						
Выпасной [grazing]	113	0,93	0,53	1,5	3,7	3,2
Стойловый [indoor]	24	1	0,39	0,95	1,7	2,1
Песчаные и супесчаные, легко- и среднесуглинистые, торфяно-болотные [Sandy and sandy loam, light and medium loamy, peat-bog]						
Выпасной [grazing]	708	0,96	0,52	1,2	2,5	3,4
Стойловый [indoor]	258	1	0,42	1,9	6,5	3,2

\* Здесь используются следующие обозначения статистических параметров: KA – коэффициент асимметрии, КЭ – коэффициент эксцесса; Максимум – максимальное значение [The names of statistical parameters are hereafter called as: 'Skew' – the skewness, 'Kurt.' – the kurtosis, Maximum – the maximum value].

периодов для разных НП, где проводился пробоотбор в разные времена года, показал, что в некоторых НП разброс оцененных значений достигает почти 3 раз. Это наблюдается как в период пастбищного выпаса, так и в период с преобладанием стойлового кормления скота.

Значения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в пробах молока были сгруппированы по периоду содержания и нормированы на среднее значение для каждой группы в пределах одного НП. Для НП, где на пастбищных и сенокосных угодьях преобладают песчаные/супесчаные, легко-/среднесуглинистые и торфяно-болотные почвы (табл. 3), сравнительный анализ распределений величин удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  показал, что значения концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в пробах молока выпасного периода имеют больший разброс, чем в пробах стойлового периода. При этом в образцах продукта из НП, где на кормовых угодьях нет участков с торфяно-болотными почвами, отклонение максимальных значений концентрации  $^{137}\text{Cs}$  от среднего значения для стойлового периода практически не превышает 2 раз. В НП с заболоченными территориями максимальные значения концентрации  $^{137}\text{Cs}$  превышают средние значения почти в 3 раза и сопоставимы с таковыми для выпасного периода. Для распределений обеих групп величин характерна правосторонняя скошенность и островершинность, причем последняя характеристика, в особенности в отношении проб молока стойлового периода из НП с торфяно-болотными почвами, указывает на присутствие аномальных значений в распределении. Сопоставление же для таких НП величин удельной активности в пробах молока выпасного и стойлового периода, нормированных на плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  почвы ареала НП, значимых различий не выявило ( $p > 0,05$ ;  $t$ -критерий в модификации Уэлча с предварительным тестом принадлежности выборок к нормальному распределению с использованием критерия Шапиро – Уилка и тестом на гомогенность дисперсий с использованием критерия Левена). Следует отметить, что в большинстве обследованных НП на пастбищных и сенокосных угодьях, выделенных жителям для ведения хозяйственной деятельности, преобладают территории с торфяно-болотными почвами.

### Заключение

Подводя итоги проведенного анализа современных уровней содержания радионуклидов в сельскохозяйственных пищевых продуктах, произведенных в ЛПХ жителей приграничных с Республикой Беларусь НП Брянской области, можно сделать вывод, что радиологическим критериям безопасности содержания  $^{137}\text{Cs}$  в пищевых продуктах не отвечает только незначительная часть исследованных образцов молока (около 1% от всего объема проб этого вида продукта). По результатам нашего исследования максимальное значение содержания  $^{90}\text{Sr}$  в пробах молока не превысило 3,4 Бк/л (молоко выпасного периода).

В результате анализа закономерностей изменения содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пробах коровьего молока и картофеля в зависимости от уровня радиоактивного загрязнения территории определены современные значения величин, характеризующих распределение отношений концентрации радионуклидов в пищевых продуктах к плотности радиоактивного загрязнения почвы

территории. Анализ соотношений средних значений концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в молоке стойлового и выпасного периодов для разных НП, где проводился пробоотбор в разные времена года, показал, что в некоторых НП разброс оцененных значений достигает почти 3 раз. Это наблюдается как для периода пастбищного выпаса, так и для периода с преобладанием стойлового кормления скота. Однако статистический анализ сопоставленных для таких НП характеристик распределений величин удельной активности в пробах молока выпасного и стойлового периода, нормированных на плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  почвы территории, значимых различий не выявил.

Анализ результатов исследований содержания техногенных радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ) в пробах сельскохозяйственных пищевых продуктов, наиболее потребляемых населением обследованных НП [2], проведенных в рамках выполнения Программы, позволяет сделать вывод о том, что для населения территорий чернобыльского следа в контексте радиационной безопасности в настоящее время, как и в прежние годы, к наиболее критичным сельскохозяйственным продуктам относятся коровье и козье молоко местного производства.

### Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

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

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

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

Брук Г.Я. – разработка концепции, определение цели и формулирование задач исследования, дизайн проекта, координация работы участников проекта, проведение расчетов, анализ и интерпретация результатов исследования.

Дроздова Е.А. – обработка и систематизация первичных материалов исследования.

Жеско Т.В. – обработка и систематизация первичных материалов исследования.

Кадука М.В. – обработка и систематизация первичных материалов исследования, поиск литературных данных, содержательное редактирование текста статьи.

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 и О.С. Баженовой (специалистам Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева в период проведения исследований), Е.И. Злотниковой (врачу по санитарно-гигиеническим лабораторным исследованиям радиологи-

ческой лаборатории ФБУЗ ЦГиЭ в Брянской области), 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 работ по государственному контракту от 18.10.2019 № 0173100001419000019 с Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

### Литература

1. 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. 23–36. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-22-36.
2. 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. DOI: 0.21514/1998-426X-2023-16-4-7-21.
3. Фесенко С.В., Прудников П.В., Емлютина Е.С. и др. Динамика содержания  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственной продукции Брянской области после аварии на ЧАЭС: зерно, картофель и овощи // Радиационная гигиена, 2022, Т. 15, № 4, С. 45–55.
4. Природные ресурсы и окружающая среда Брянской области: Годовой доклад об экологической ситуации в Брянской области в 2018 г. Брянск: Департамент природных ресурсов и экологии Брянской области, 2019. 266 с.
5. Природные ресурсы и окружающая среда Брянской области: Годовой доклад об экологической ситуации в Брянской области в 2019 г.: Брянск: Департамент природных ресурсов и экологии Брянской области, 2020. 276 с.
6. Панов А.В., Ратников А.Н., Свириденко Д.Г. и др. Проблемы ведения животноводства в юго-западных районах Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиэкологические последствия радиационных аварий – к 35-ой годовщине аварии на ЧАЭС: Сборник докладов международной научно-практической конференции. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2021. С. 372–375.
7. Спиридонов С.И., Иванов В.В., Титов И.Е., Нуштаева В.Э. Радиэкологическая оценка кормовых сельскохозяйственных угодий юго-западных районов Брянской области на основе комплекса статистических моделей // Радиация и риск, 2021, Т. 30, № 2, С. 38–49.
8. Никитин А.Н., Тагай С.А., Ласько Т.В. и др. Оценка современных уровней содержания  $^{137}\text{Cs}$  в почве и растениях поймы реки Сож // Радиобиология и экологическая безопасность. – Гомель: ИВЦ Минфина (Минск), 2022. С. 94–97.
9. Поцелай С.Н. Эффективность агротехнических и агрохимических мероприятий при улучшении естественных и сеяных кормовых угодий в среднем Подесенье: дисс. канд. сельскохозяйств. наук. Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2020. 194 с.
10. Седукова Г.В., Исаченко С.А., Тимченко Е.А. Интенсивность накопления  $^{137}\text{Cs}$  сельскохозяйственными культурами в отдаленный период после чернобыльской катастрофы // Радиобиология и экологическая безопасность. Гомель: ИВЦ Минфина (Минск), 2022. С. 137–142.
11. Подоляк А.Г. Научные аспекты сельскохозяйственного производства в постчернобыльских условиях. Мозырь: МГПУ им. И. П. Шамякина, 2017. 242 с.
12. Андреа К., Шевляков Г.Л. Обнаружение выбросов с помощью боксплотов, основанных на новых высокоэффективных робастных оценках масштаба: Информатика. Телекоммуникации. Управление // Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2013, Т. 5, № 181, С. 39–45.
13. Козелько Н.А., Толстая Е.В., Аблековская О.Н. Реабилитация территорий, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС: методическое пособие. Минск: Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова», 2017.
14. Ершов А.А. Стабильные методы оценки параметров // Автоматика и телемеханика, 1978, Т. 8, С. 66–100.
15. Hampel F.R. The influence curve and its role in robust estimation // Journal of the American Statistical Association, 1974, Vol. 69, P. 382–393.
16. Шутов В.Н., Кадука М.В., Брук Г.Я. и др. Динамика радиоактивного загрязнения пищевых продуктов сельскохозяйственного производства и природного происхождения после аварии на ЧАЭС // Радиационная гигиена, 2008, Т. 1, № 3, С. 25–30.

Поступила: 09.04.2024 г.

**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

**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

**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



**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

**Дроздова Елена Анатольевна** – ведущий инженер-исследователь лаборатории дозиметрии природных источников 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

**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

**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

**Кравцова Ольга Сергеевна** – кандидат биологических наук, исполняющая обязанности старшего научного сотрудника отдела «База данных «Человек» Уральского научно-практического центра радиационной медицины, Федеральное медико-биологическое агентство, Челябинск, Россия

**Для цитирования:** Романович И.К., Базюкин А.Б., Братилова А.А., Брук Г.Я., Дроздова Е.А., Жеско Т.В., Кадука М.В., Кравцова О.С. 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. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-2-7-17

## 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

Ivan K. Romanovich<sup>1</sup>, Anatoly B. Bazyukin<sup>1</sup>, Anzhelika A. Bratilova<sup>1</sup>, Gennadiy Ya. Bruk<sup>1</sup>, Elena A. Drozdova<sup>1</sup>, Tatyana V. Zhesko<sup>1</sup>, Marina V. Kaduka<sup>1</sup>, Olga S. Kravtsova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical-Biological Agency of Russia, Chelyabinsk, Russia

*The third article in a series of publications devoted to the results of studying the current radiation situation in the territories of the Bryansk region bordering the Republic of Belarus presents results of studies of the content of radionuclides (<sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr) in samples of agricultural food products produced in the personal subsidiary plots of the population. The regularities of changing <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr content in samples of cow's milk and potatoes depending on the level of radioactive contamination of the territory were studied; the present values of the quantities characterizing the distribution of the ratio of the activity concentration of radionuclides in agricultural food products to the density of radioactive contamination of the soil of the territory were determined. The ratios of average values of <sup>137</sup>Cs activity concentration in milk from stalled and grazing periods for cattle were analyzed. The results of the study show that some dairy product samples (less than 1%) do not meet the radiological safety criterion. Exceedances of the hygienic standards were not found in the studied samples of potatoes, vegetables, and meat of farm animals.*

**Key words:** accident at the Chernobyl NPP, population, internal exposure, cesium-137, strontium-90, agricultural food products.

Anzhelika A. Bratilova

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

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

### Information about personal contribution of the authors

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

Bazyukin A.B. – search and analysis of literary data sources, collection and systematization of research materials, substantive editing of the text of the article.

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

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, carrying out calculations, analysis and interpretation of the research results.

Drozdova E.A. – population survey, processing and systematization of primary research materials.

Zhesko T.V. – population survey, processing and systematization of primary research materials.

Kaduka M.V. – design of questionnaire cards for the population, surveying the population, processing and systematization of primary research materials, literature search, substantive editing of the text of the article.

Kravtsova O.S. – design of survey cards, search and analysis of literary sources of information, surveying the population, generalization, systematization and processing of research materials, 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 and O.S. Bazhenova (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 the reviewers for constructive comments and recommendations, Zlotnikova E.I. (doctor on sanitary-hygienic laboratory studies of radiological laboratory of FBUZ CDPH in the Bryansk region), Kudryashov A.V. (chief doctor of the branch of FBUZ CDPH in Klintsy, Bryansk region), Lalayan V.A. (deputy chief doctor for sanitary and epidemiological issues of the branch of FBUZ CDPH in Klintsy, Bryansk region), Ladik A.A. (expert-physicist for control of ionizing and non-ionizing radiation sources of the branch of FBUZ CDPH in Klintsy, Bryansk region). The authors are grateful to the reviewers for their constructive comments and recommendations.

### Information on conflicts of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest.

### Information about the source of funding

The study was performed within the framework of the work under the state contract No. 0173100001419000019 dated 18.10.2019 with the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing.

### References

- 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).
- Fesenko SV, Prudnikov PV, Emlyutina ES, Epifanova IE, Shubina OA Dynamics of  $^{137}\text{Cs}$  concentrations in agricultural products after the Chernobyl accident: cereals, potato, and vegetables. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(4): 45–57. (In Russian).
- Natural resources and environment of the Bryansk region: Annual report on the environmental situation in the Bryansk region in 2018. Bryansk: Department of Natural Resources and Ecology of the Bryansk Region; 2019. 266 p.
- Natural resources and environment of the Bryansk region: Annual report on the environmental situation in the Bryansk region in 2019. Bryansk: Department of Natural Resources and Ecology of the Bryansk Region; 2020. 276 p.
- Panov AV, Ratnikov AN, Sviridenko DG, Isamov NN, Tsygvintsev PN. Problems of livestock farming in the southwestern regions of the Bryansk region in the long-term period after the accident at the Chernobyl NPP – to the 35th anniversary of the Chernobyl accident: Collection of reports of the international scientific-practical conference. Obninsk: FGBNU VNIIRAE; 2021. P. 372–5. (In Russian).
- Spiridonov SI, Ivanov VV, Titov IE, Nushtaeva VE. Radioecological assessment of forage agricultural land in the southwestern areas of the Bryansk region based on a set of statistical models. *Radiatsia i risk = Radiation and Risk* 2021;30(2): 38–49. (In Russian).
- Nikitin AN, Tagay SA, Lasko TV, Shurankova OA, Mishchenko EV, Leferd GA, et al. Estimation of current levels of  $^{137}\text{Cs}$  in soil and plants of the river Sozh floodplain. In: Radiobiology and environmental safety. Gomel: Information Computing Center of the Ministry of Finance (Minsk); 2022. 94–7 (In Russian).
- Potsepai SN. The effectiveness of agrotechnical and agrochemical measures in improving natural and sown forage lands in the middle Polesie region [dissertation]. Bryansk: Bryansk State Agrarian University; 2020. 194 p. (In Russian).
- Sedukova GV, Isachenko SA, Timchenko EA. The intensity of  $^{137}\text{Cs}$  accumulation by agricultural crops in the long-term period after the Chernobyl disaster. In: Radiobiology and environmental safety. Gomel: Information Computing Center of the Ministry of Finance (Minsk); 2022. 137–42. (In Russian).
- Podolyak AG Scientific aspects of agricultural production in post-Chernobyl conditions. Eds.: Podolyak AG, Valetov VV, Karpenko AF. Mazyr: Mazyr State Pedagogical University named after I.P. Šamiakin; 2017. 242 p. (In Russian).
- Andrea K, Shevlyakov GL. Outlier detection with box-plots based on new highly efficient robust estimates of scale. Scientific and technical bulletins of St. Petersburg Polytechnic University. 2013;5(181): 39–45. (In Russian).
- Kozelko NA, Tolstaya EV, Ablekovskaya ON. Rehabilitation of territories contaminated as a result of the Chernobyl accident: a methodological manual. Minsk: "International State Ecological Institute named after AD Sakharov"; 2017. (In Russian).
- Ershov AA. Stable methods for parameter estimation. Automation and telemechanics. 1978;8: 66–100. (In Russian).
- Hampel FR. The influence curve and its role in robust estimation. *Journal of the American Statistical Association*. 1974;69: 382–93.
- Shutov VN, Kaduka MV, Bruk GYa, Bazyukin AB, Basalaeva LN. Dynamics of radioactive contamination of agricultural food products and natural foodstuffs after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2008;1(3): 25–30. (In Russian).

Received: April 09, 2024

**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

**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

**For correspondence: 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 (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, Russia, 197101; E-mail: bratilova@gmail.com)

**Gennadiy 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

**Elena A. Drozdova** – Leading Research Engineer, Laboratory of Dosimetry of Natural Sources, 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

**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

**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

**Olga S. Kravtsova** – Candidate of Biological Sciences, Acting Senior Researcher of the Human Database Department, Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical-Biological Agency of Russia, Chelyabinsk, Russia

**For citation: Romanovich I.K., Bazyukin A.B., Bratilova A.A., Bruk G.Ya., Drozdova E.A., Zhesko T.V., Kaduka M.V., Kravtsova O.S. 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. Vol. 17 No. 2. P. 7–17. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-2-7-17**