

DOI: 10.12731/2658- 6649-2021-13-6-362-390

УДК 664.8+539.1

К ВОПРОСУ О РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНЫХ АКТИВНОСТЕЙ СТРОНЦИЯ-90 И ЦЕЗИЯ-137 В ОТДЕЛЬНЫХ ПРОДУКТАХ ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ

*А.Н. Батян, В.А. Кравченко,
А.В. Якименко, В.В. Литвяк, Л.Б. Кузина*

Обоснование. *Продукты детского питания содержат в себе не только необходимые для жизнедеятельности компоненты, но и небезопасные для здоровья элементы, в частности радиоактивные изотопы стронция-90 и цезия-137. Излучение от изотопов, употребляемых внутрь в столь раннем возрасте, может привести к необратимым повреждениям органов и тканей, что пагубно повлияет на дальнейшую жизнь человека.*

Материалы и методы. *В качестве объекта исследования были выбраны специализированные продукты детского питания готовые к употреблению от рыбных консервов до фруктово-молочных пюре, которые реализуются и производятся на территории Республики Беларусь. Продукты детского питания проанализированы на соответствие показателей удельных активностей стронция-90 и цезия-137 внутреннему гигиеническому нормативу Республики Беларусь ГН 10-117-99 и нормативу технического регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011). Исследование удельных активностей цезия-137 и стронция-90 проводилось с использованием РКГ-АТ1320 и МСК-АТ1315 соответственно. Также был произведен статистический анализ с помощью пакета Statistica, где определялись коэффициент вариации показателя внутри вида продукции, а также дисперсия полученных значений.*

Результаты. *Среди проанализированных 14 видов детского питания были отмечены следующие особенности: удельные активности цезия-137 варьировали от 1,2 Бк/кг в «Пюре из говядины» до 7,0 в «Пюре из персиков», что, на наш взгляд, обусловлено уменьшением содержания радионуклида при его миграции в пищевых цепочках: растение → животное, а также технологическими особенностями приготовления продукта.*

Удельные активности стронция-90 варьировали от 1 Бк/кг в «Пюре из банана и клубники со сливками» до 1,85 Бк/кг в «Соке яблочно-шиповниковом восстановленном». Также отмечено, что внутри вида «Пюре из банана и клубники со сливками» значения также изменяются в широком для удельной активности стронция-90 диапазоне от 1 Бк/кг до 1,8 Бк/кг. Данный факт можно объяснить погрешностями в методике определения, так как производится термическое концентрирование продукта.

Статистический анализ показал, что наименьший коэффициент вариации был в «Пюре из чернослива» – 3,18%, а наибольшее в «Пюре из семги» – 75%. Высокий коэффициент вариации в «Пюре из семги», по-видимому, обусловлен разнообразием кормовой базы для семги. Низкое значение коэффициента вариации в «Пюре из чернослива» вызвано однородностью условий произрастания чернослива.

Заключение. Проанализированная специализированная продукция детского питания соответствует республиканскому нормативному акту ГН 10-117-99, а также нормативу ЕАЭС ТР ТС 021/2011.

Ключевые слова: детское питание; радиологическое состояние; консервы; пюре; сок; морс

Для цитирования. Батын А.Н., Кравченко В.А., Якименко А.В., Литвяк В.В., Кузина Л.Б. К вопросу о радиационной безопасности: Исследование удельных активностей стронция-90 и цезия-137 в отдельных продуктах детского питания // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 6. С. 362-390. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-6-362-390

TO THE QUESTION OF RADIATION SAFETY: STUDY OF SPECIFIC ACTIVITIES OF STRONTIUM-90 AND CESIUM-137 IN SELECTED BABY FOOD PRODUCTS

*A.N. Batyan, A.V. Yakimenko,
V.A. Kravchenko, V.V. Litvyak, L.B. Kuzina*

Background. Baby food products contain the necessary components for life and elements that are unsafe for health, particularly the radioactive isotopes of strontium-90 and cesium-137. Radiation from isotopes ingested at such an early age can lead to irreversible damage to organs and tissues, negatively affecting a person's later life.

Materials and methods. As an object of research, we selected specialized ready-to-eat baby food products from canned fish to fruit and milk purees sold and produced in the Republic. We analyze baby food products for compliance with the specific activity indicators of strontium-90 and cesium-137 with the internal hygienic standard of the Republic of Belarus GN 10-117-99 and the technical regulation of the Customs Union «On food safety» (TR TS 021/2011). We study the specific activities of cesium-137 and strontium-90 using RKG-AT1320 and MSK-AT1315, respectively. In addition, we undertake statistical analysis using the Statistica package, where we determine the coefficient of variation of an indicator within a product and the variance of the available values.

Results. In 14 types of baby food, we found the following features: the specific activities of cesium-137 varied from 1,2 Bq/kg in Beef Puree to 7,0 in Peach Puree, which, in our opinion, is due to a decrease in the content of radionuclide during its migration in food chains: plant → animal, as well as technological features of product preparation.

Specific activities of strontium-90 varied from 1 Bq/kg in Banana and Strawberry Puree with Cream to 1,85 Bq/kg in Reduced Apple-Rosehip Juice. We also noted that within the species «Puree of banana and strawberry with a cream», the values also change in a wide range for the specific activity of strontium-90 from 1 Bq/kg to 1.8 Bq/kg. Errors in the determination procedure can explain this fact since the product is thermally concentrated.

Statistical analysis showed that the smallest coefficient of variation was in «Prune puree» – 3,18%, and the highest in «Salmon puree» – 75%. The high coefficient of variation in «Salmon puree» is due to the diversity of the fodder base for salmon. On the other hand, the low value of the coefficient of variation in «Prune puree» is caused by the uniformity of the growing conditions of prunes.

Conclusion. The analyzed specialized baby food products comply with the republican normative act GN 10-117-99 and the EAEU standard TR CU 021/2011.

Keywords: baby food; radiological condition; canned food; puree; juice; fruit drink

For citation. Batyan A.N., Yakimenko A.V., Kravchenko V.A., Litvyak V.V., Kuzina L.B. To the question of radiation safety: Study of specific activities of strontium-90 and cesium-137 in selected baby food products. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 362-390. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-6-362-390

Введение

В настоящее время в связи с износом основных фондов большинства предприятий эпохи СССР, использовавших в том или ином виде радиоактивные элементы, уменьшением «мертвых» зон вокруг действующих подобных предприятий, в связи с высоким риском отложенных последствий радиационных катастроф прошлого, в связи с возможностью вскрытия захоронений

радиоактивных отходов в процессе строительства и хозяйствования, а также в связи с возможностью терактов, направленных на загрязнение продукции сельского хозяйства радиоактивными элементами и составами стал особенно актуальным вопрос о радиационной безопасности в пищевом производстве. Несмотря на участвовавшие инциденты, связанные с причинами, указанными выше, контроль радиационной безопасности как массового, так и специализированного производства продуктов питания в Российской Федерации по факту в постсоветское время перестал быть постоянным. Кроме того, в настоящее время радиационная обработка (например, стерилизация) специально используется для обработки пищевых продуктов, предназначенных для лечебного и профилактического питания пациентов с определенными патологиями (регулируется, в частности, с помощью Межгосударственного стандарта «Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением» (ГОСТ ISO 14470-2014).

Следует обратиться к опыту соблюдения радиационной безопасности при пищевом производстве на территории постсоветского государства, славящегося высокими стандартами качества продуктов потребления, в том числе – питания. Радиационный контроль продуктов питания в Республике Беларусь осуществляется в целях минимизации последствий облучения населения [3]. Измеряемым параметром объектов радиационного контроля является характеристика факторов внутреннего радиационного воздействия на человека: удельная активность радионуклидов в продуктах питания [8, 12, 21].

Для продукции, произведенной на территории Республики Беларусь, существуют два направления нормирования удельных активностей цезия-137 и стронция-90.

Первое направление – Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99) в виде гигиенического норматива ГН 10-117-99 [1]. В данном нормативе утверждены нормы по удельным активностям цезия-137 и стронция-90 для 21 и 5 видов продукции соответственно. Пункт 20 в таблице нормируемых величин для цезия-137 «специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде» содержит норму до 37 Бк/кг (л). В таблице нормируемых величин по стронцию-90 пункт 5 «специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде» нормирует значение до 1,85 Бк/кг (л).

Второе направление – технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) [6]. Приложение 4

вышеуказанного технического регламента устанавливает допустимые уровни удельных активностей радионуклидов цезия-137 и стронция-90 для 22 видов пищевой продукции. Для специализированных продуктов детского питания в готовом для употребления виде (пункт 19) устанавливается допустимый уровень удельной активности цезия-137 до 40 Бк/кг (л), а также допустимый уровень удельной активности стронция-90 до 25 Бк/кг (л) [11, 30].

Цезий-137 – смешанный бета-, гамма-излучатель с периодом полураспада 30,2 года [16]. Является аналогом калия [26]. В животных организмах цезий-137, поступающий с кормом, накапливается по большей части в мышечной ткани – около 80% и скелете – 10% [20, 27]. Остальное количество относительно равномерно распределено по другим органам [24].

По степени задержки цезия-137 в растительных объектах их можно расположить в порядке увеличения [32]: естественная травянистая растительность – пшеница – картофель – свекла – капуста. Что касается генеративных и вегетативных частей растения – в них концентрация радионуклида примерно одинакова [13].

Стронций-90 – бета-излучатель с периодом полураспада 28,6 лет [14]. Является аналогом кальция, депонируется в костях и костном мозге [19, 28]. Эффективный период полувыведения составляет около 17,5 лет [17].

Стронций слабо фиксируется в почве – большая часть находится в почвенном растворе, поэтому и легко поступает в растительные организмы [23].

Механизм усвоения радионуклидов корнями растений схож с поглощением основных питательных микро- и макроэлементов [10]. Выявлено сходство поглощения цезия с калием, а стронция с кальцием. Что касается относительного количества поглощения исследуемых радионуклидов – цезий поглощается в больших количествах, нежели стронций [31, 22].

Радиационная обстановка Республики Беларусь в прошлом была серьезно обострена, что неблагоприятно сказывается на населении страны до нынешнего времени. Исследование радиационного положения в сфере продуктов детского питания является необходимым, так как здоровье будущих поколений Республики напрямую зависит от продуктов питания и состояние окружающей среды [7, 18, 29].

Целью явилось исследование удельных активностей стронция-90 и цезия-137 в отдельных продуктах детского питания.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования. Объектом исследования явилась консервная овощная, фруктовая, мясная, рыбная, соковая и мясорастительная продук-

ция торговых знаков «Маленькое счастье» и «Аленка любит» производства ООО «Белфуд Продакшн» за период с 02 ноября 2017 г по 04 января 2020 г:

- консервы рыбные «Пюре из хека» для питания детей раннего возраста гомогенизированные, стерилизованные ТМ «Маленькое счастье» произведенные 23.08.2018 г., 23.02.2019 г., 22.06.2019 г.;
- консервы рыбные «Пюре из семги» для питания детей раннего возраста гомогенизированные, стерилизованные ТМ «Маленькое счастье» произведенные 16.01.2019 г., 26.08.2019 г., 17.09.2019 г.;
- консервы мясные «Пюре из говядины» для питания детей раннего возраста гомогенизированные, стерилизованные ТМ «Маленькое счастье» «Аленка любит» произведенные 06.02.2019 г., 23.05.2019 г., 11.11.2019 г., 21.11.2019 г.;
- консервы из мяса птицы «Пюре из индейки» для питания детей раннего возраста гомогенизированные, стерилизованные ТМ «Маленькое счастье» «Аленка любит» произведенные 19.02.2019 г., 24.05.2019 г., 05.11.2019 г.;
- консервы из мяса птицы «Пюре из мяса цыплят» для питания детей раннего возраста гомогенизированные, стерилизованные ТМ «Маленькое счастье» «Аленка любит» произведенные 14.11.2018 г., 07.02.2019 г., 09.07.2019 г.;
- морс из черники и голубики для детского питания для детей раннего возраста «Лесные ягоды» гомогенизированный, стерилизованный ТМ «Маленькое счастье» произведенный 14.12.2017 г., 16.09.2019 г., 04.01.2020 г.;
- сок яблочно-шиповниковый восстановленный для питания детей раннего возраста гомогенизированный, стерилизованный ТМ «Маленькое счастье» произведенный 05.12.2017 г., 10.09.2018 г., 21.01.2020 г.;
- пюре из персиков для детского питания для детей раннего возраста гомогенизированное, стерилизованное ТМ «Маленькое счастье» произведенное 07.06.2018 г., 06.03.2019 г., 19.06.2019 г.;
- пюре из яблок и персиков для детского питания для детей раннего возраста гомогенизированное, стерилизованное ТМ «Маленькое счастье» произведенное 02.11.2017 г., 04.01.2018 г., 03.01.2018 г.;
- пюре из чернослива для детского питания для детей раннего возраста гомогенизированное, стерилизованное ТМ «Маленькое счастье» произведенное 18.10.2018 г., 03.08.2019 г., 06.10.2019 г.;
- пюре из яблок и банана для детского питания для детей раннего возраста гомогенизированное, стерилизованное ТМ «Маленькое счастье» произведенное 04.11.2017 г., 11.10.2018 г., 13.05.2019 г.;

- пюре из банана и клубники со сливками для детского питания для детей раннего возраста гомогенизированное, стерилизованное ТМ «Маленькое счастье» произведенное 29.06.2019 г., 18.07.2019 г., 03.09.2019 г.;
- пюре из яблок и банана с творогом «Фруктово-творожный десерт» для детского питания для детей раннего возраста гомогенизированное, стерилизованное ТМ «Маленькое счастье» произведенное 22.08.2018 г., 20.06.2019 г., 14.07.2019 г., 30.08.2019 г., 01.09.2019 г., 06.11.2019 г.;
- пюре из яблок и банана с творогом и сливками для детского питания для детей раннего возраста гомогенизированное, стерилизованное ТМ «Маленькое счастье» произведенное 17.10.2018 г., 15.04.2019 г., 04.06.2019 г.;

Методы физико-химических исследований. Оценка радиологического состояния продукции предприятия проводилась в аккредитованной лаборатории Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены».

Определение удельной активности цезия-137 на соответствие ТР ТС 021/2011 и ГН 10-117-99 проводилось по МВИ 114-94 с использованием селективного сцинтиляционного радиометра гамма-излучения РКГ-АТ1320 (рис. 1) [4].



а – гамма-излучения РКГ-АТ1320, *б* – гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315

Рис. 1. Фотографии радиометра

Исследование стронция-90 на соответствие ТР ТС 021/2011 и ГН 10-117-99 проводилось по МВИ. МН 1181-2011 с использованием метода термического концентрирования согласно ГОСТу 32163-2013 проводилось с использованием гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315 с детектором бета-излучения в виде органического сцинтиллятора на основе полистирола, активированного паратерфенилом (рис. 1) [2, 5].

Статистический анализ. По видам продукции произведет описательный статистический анализ в программе Statistica 12.0 для значений удельной активности стронция-90 и цезия-137 для каждой из групп продукции: расчет среднего значения, дисперсии, коэффициента вариации [9].

Результаты и обсуждения. В таблице 1 приведена основная характеристика радионуклидов. Результаты исследований представлены в таблицах 2–6 и на рисунках 2–6.

Таблица 1.

Характеристика радионуклидов

Наименование и символ элемента	Атомный номер	Относительная атомная масса	Электронная конфигурация атомов в невозбужденном состоянии	Электроотрицательность по Полингу (χ)	Период полураспада ($T_{1/2}$)
Стронций-90 ^{90}Sr	38	87,62	[Kr] $4d^{10}5s^25p^5$	0,95	28,79 лет
Цезий-137 ^{137}Cs	55	132,905	[Xe] $6s^1$	0,79	30,17 лет

Как видно из таблицы 2 и рисунка 2а, удельная активность цезия-137 в образце «Пюре из хека» от 23.02.2019 г. выросла на 7,27% по сравнению с образцом за 23.08.2018 г., а в образце за 22.06.2019 г. снизилась на 57,63%, относительно образца за 23.02.2019 г.

Таблица 2.

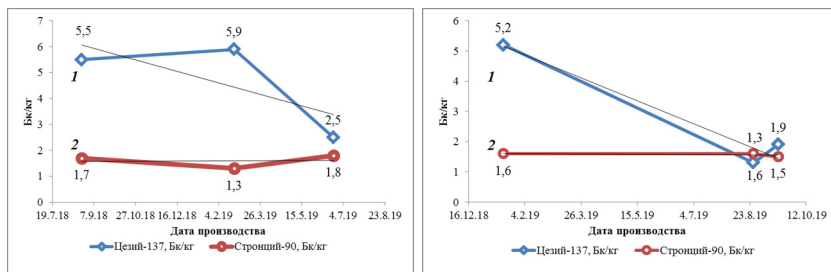
Удельная активность цезия-137 и стронция-90 в рыбных консервах

Наименование продукта	Дата производства	Цезий-137, Бк/кг	Требования ТНПА	Стронций-90, Бк/кг	Требования ТНПА
«Пюре из хека»	23.08.2018 г.	5,5	Не более 40*	1,7	Не более 40*
	23.02.2019 г.	5,9		1,3	
	22.06.2019 г.	2,5	Не более 37**	1,8	Не более 37**

Окончание табл. 2.

Среднее значение по виду		4,63±1,86		1,60±0,26	
«Пюре из сёмги»	16.01.2019 г.	5,2	Не более 40*	1,6	Не более 25*
	26.08.2019 г.	1,3		1,6	
	17.09.2019 г.	1,9	Не более 37**	1,5	Не более 1,85**
Среднее значение по виду		2,80±2,10		1,57±0,06	

Примечание: * – согласно ТР ТС 021/2011, ** – согласно ГН 10-117-99.



$1 - y = -0,0089x - 390,37; R^2 = 0,5307;$ $1 - y = -0,0152x - 664,63; R^2 = 0,9503;$
 $2 - y = 0,0001x - 3,4395; R^2 = 0,0045.$ $2 - y = -0,0002x - 12,186; R^2 = 0,3237.$
 а – «Пюре из хека», б – «Пюре из сёмги»

Рис. 2. Удельная активность цезия-137 и стронция-90 в рыбных консервах.

Удельная активность стронция-90 в образце от 23.02.2019 г. ниже на 23,53%, чем в образце за 23.08.2018 г., в образце за 22.06.2019 г. замечено повышение удельной активности на 38,46% сравнительно с образцом за 23.02.2019 г.

По рыбным консервам вида «Пюре из хека» дисперсия для значений удельной активности Cs-137 равна 3,45, коэффициент вариации равен 40,11%. Дисперсия для значений удельной активности Sr-90 равна 0,07, коэффициент вариации равен 16,54%.

Удельная активность цезия-137 в образце «Пюре из сёмги» (табл. 2, рис. 2б) от 26.08.2019 г. снизилась на 75% относительно образца за 16.01.2019 г., в образце от 17.09.2019 г. она выросла на 46,15% по сравнению с образцом за 26.08.2019 г.

Удельная активность стронция-90 в образцах от 26.08.2019 г. и 16.01.2019 г. не изменилась, а в образце от 17.09.2019 г. снизилась на 6,25% по сравнению с предыдущими изменениями.

По рыбным консервам вида «Пюре из сёмги» дисперсия для значений удельной активности Cs-137 равна 4,41, коэффициент вариации равен 75%.

Дисперсия для значений удельной активности Sr-137 равна 0,003, коэффициент вариации равен 3,69%.

Как видно из таблицы 3 и рисунка 3а, удельная активность цезия-137 в образце «Пюре из говядины» от 23.05.2019 г. снизилась на 38,24% по сравнению с образцом за 06.02.2019 г. В образце за 11.11.2019 г. удельная активность ниже на 42,86%, чем в образце за 23.05.2019 г. Образец от 21.11.2019 г. обладал удельной активностью на 16,67% выше относительно предыдущей пробы от 11.11.2019 г.

Таблица 3.

Удельная активность цезия-137 и стронция-90 в мясных консервах

Наименование продукта	Дата производства	Цезий-137, Бк/кг	Требования ТНПА	Стронций-90, Бк/кг	Требования ТНПА
«Пюре из говядины»	06.02.2019 г.	3,4	Не более 40* Не более 37**	1,4	Не более 25* Не более 1,85**
	23.05.2019 г.	2,1		1,7	
	11.11.2019 г.	1,2		1,78	
	21.11.2019 г.	1,4		1,76	
Среднее значение по виду		2,03±0,99		1,66±0,18	
«Пюре из индейки»	19.02.2019 г.	2,7	Не более 40* Не более 37**	1,2	Не более 25* Не более 1,87**
	24.05.2019 г.	1,8		1,7	
	05.11.2019 г.	3,0		1,7	
Среднее значение по виду		2,5±0,62		1,53±0,29	
«Пюре из цыплят»	14.11.2018 г.	6,8	Не более 40* Не более 37**	1,6	Не более 25* Не более 1,87**
	07.02.2019 г.	5,5		1,2	
	09.07.2019 г.	4,1		1,4	
Среднее значение по виду		5,47±1,35		1,40±0,20	

Удельная активность стронция-90 в образце от 23.05.2019 г. повысилась на 21,43%, в сравнении с образцом за 06.02.2019 г., а в образ-

це за 11.11.2019 г. она повысилась на 4,71% относительно образца за 23.05.2019 г. Образец от 21.11.2019 г. имел удельную активность цезия ниже на 1,12% относительно предыдущей пробы от 11.11.2019 г.

По мясным консервам вида «Пюре из говядины» дисперсия для значений удельной активности Cs-137 равна 0,99, коэффициент вариации равен 49,11%.

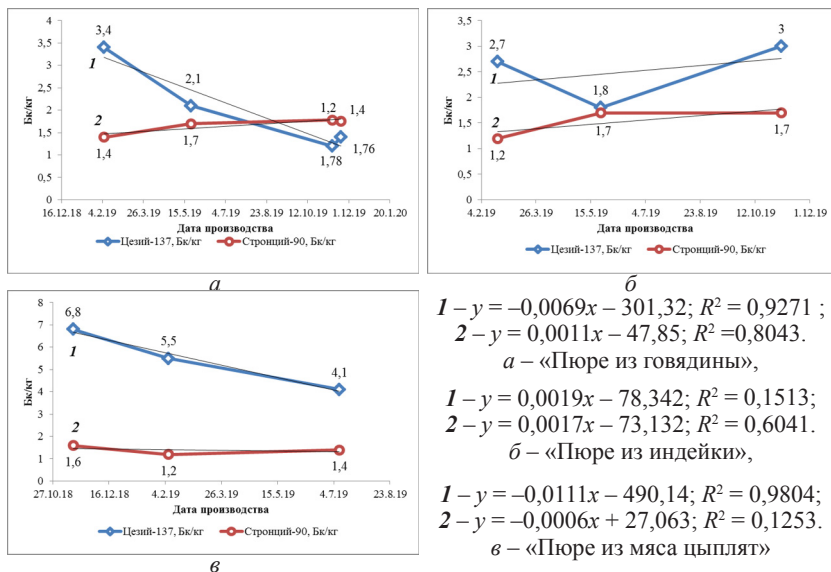


Рис. 3. Удельная активность цезия-137 и стронция-90 в мясных консервах

Дисперсия для значений удельной активности Sr-90 равна 0,03, коэффициент вариации равен 10,64%.

Исходя из значений в таблице 3 и рисунка 3б, удельная активность цезия-137 в образце «Пюре из индейки» от 24.05.2019 г. снизилась на 33,33% по сравнению с образцом за 19.02.2019 г., а в образце за 05.11.2019 г. повысилась на 66,67% относительно образца от 24.05.2019 г.

Удельная активность стронция-90 в образце от 24.05.2019 г. повысилась на 41,67% относительно образца от 19.02.2019 г., а в образце за 05.11.2019 г. значение оказалось равно предыдущему.

По консервам из мяса птицы вида «Пюре из индейки» дисперсия для значений удельной активности Cs-137 равна 0,39, коэффициент вариации равен 24,98%. Дисперсия для значений удельной активности Sr-90 равна 0,08, коэффициент вариации равен 18,83%.

Согласно таблице 3 и рисунка 3в, удельная активность цезия-137 в образце «Пюре из цыплят» от 07.02.2019 г. снизилась на 19,12% в сравнении с образцов за 14.11.2018 г. Образец от 09.07.2019 г. имел удельную активность ниже на 25,45%, чем в образце за 07.02.2019 г.

Удельная активность стронция-90 в образце от 07.02.2019 г. снизилась на 25% относительно образца за 14.11.2018 г., а в образце за 09.07.2019 г. значение удельной активности выше, чем в образце от 07.02.2019 г. на 16,67%.

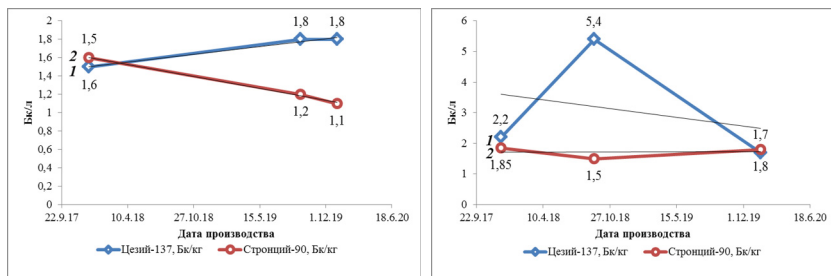
По консервам из мяса птицы вида «Пюре из мяса цыплят» дисперсия для значений удельной активности Cs-137 равна 1,82, коэффициент вариации равен 24,70%. Дисперсия для значений удельной активности Sr-90 равна 0,04, коэффициент вариации равен 14,29%.

Как видно из таблицы 4 и рисунка 4а, удельная активность цезия-137 в образце «Морса из черники и голубики «Лесные ягоды» от 16.09.2019 г. повысилась на 20,00% по сравнению с образцом за 14.12.2017 г., удельная активность продукта за 04.01.2020 равна предыдущему измерению продукции за 16.09.2019 г.

Таблица 4.

**Удельная активность цезия-137 и стронция-90
в консервированном морсе и соке**

Наименование продукта	Дата производства	Цезий-137, Бк/л	Требования ТНПА	Стронций-90, Бк/л	Требования ТНПА
Морс из черники и голубики «Лесные ягоды»	14.12.2017 г.	1,5	Не более 40*	1,6	Не более 25*
	16.09.2019 г.	1,8	Не более 37**	1,2	Не более 1,85**
	04.01.2020 г.	1,8		1,1	
Среднее значение по виду		1,70±0,17		1,30±0,26	
Сок яблочно-шиповниковый	05.12.2017 г.	2,2	Не более 40*	1,85	Не более 25*
	21.01.2020 г.	1,7		1,8	
	10.09.2018 г.	5,4	Не более 37**	1,5	Не более 1,85**
Среднее значение по виду		3,10±2,00		1,72±0,19	



$$I - y = 0,0004x - 16,725; R^2 = 0,9816;$$

$$2 - y = -0,0007x + 29,666; R^2 = 0,9971.$$

$$I - y = -0,0014x - 65,62; R^2 = 0,0797;$$

$$2 - y = 1E-05x + 1,114; R^2 = 0,0008.$$

a – «Морс из черники и голубики «Лесные ягоды»,
б – «Сок яблочно-шиповниковый»

Рис. 4. Удельная активность цезия-137 и стронция-90 в консервированном морсе и соке.

Удельная активность стронция-90 в образце от 16.09.2019 г. снизилась на 25% относительно образца за 14.12.2017 г., в образце от 04.01.2020 г. она снизилась на 8,33% по сравнению с образцом за 16.09.2019 г.

По виду морса «Лесные ягоды» дисперсия для значений удельной активности Cs-137 равна 0,03, коэффициент вариации равен 10,19%. Дисперсия для значений удельной активности Sr-90 равна 0,07, коэффициент вариации равен 20,35%.

Исходя из значений в таблице 4 и на рисунке 4б, удельная активность цезия-137 в образце «Сока яблочно-шиповникового» от 10.09.2018 г. выросла на 145,46% в сравнении с образцом за 05.12.2017 г., а в образце от 21.01.2020 г. снизилась на 68,52% относительно образца от 10.09.2018 г.

Удельная активность стронция-90 в образце от 10.09.2018 г. снизилась на 1,85% по сравнению с образцом за 05.12.2017 г., а в образце от 21.01.2020 г. повысилась на 20% по сравнению с образцом от 10.09.2018 г.

По виду сока яблочно-шиповникового дисперсия для значений удельной активности Cs-137 равна 4,03, коэффициент вариации равен 64,76%. Дисперсия для значений удельной активности Sr-90 равна 0,04, коэффициент вариации равен 11,03%.

Согласно таблице 5 и рисунку 5а, удельная активность цезия-137 в образце «Пюре из персиков» от 06.03.2019 г. выросла на 12,19% по сравнению с образцом за 07.06.2018 г., этот же показатель в образце от 19.06.2019 г. вырос на 52,17% по сравнению с предыдущим измерением от 06.03.2019 г.

Таблица 5.

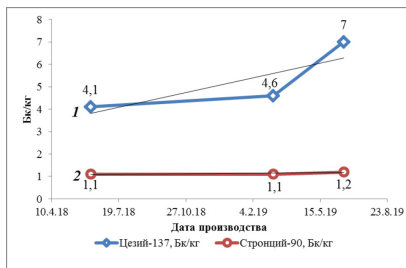
**Удельная активность цезия-137 и стронция-90
в консервированном фруктовом пюре**

Наименование продукта	Дата производства	Цезий-137, Бк/кг	Требования ТНПА	Стронций-90, Бк/кг	Требования ТНПА
«Пюре из персиков»	19.06.2019 г.	7,0	Не более 40*	1,2	Не более 25*
	07.06.2018 г.	4,1		1,1	
	06.03.2019 г.	4,6	Не более 37**	1,1	Не более 1,85**
Среднее значение по виду		5,23±1,55		1,13±0,06	
«Пюре из яблок и персиков»	03.01.2018 г.	6,2	Не более 40*	–	Не более 25*
	04.02.2018 г.	6,2	Не более 37**	–	
	02.11.2017 г.	3,7		–	Не более 1,85**
Среднее значение по виду		5,37±1,44		–	
«Пюре из чернослива»	03.08.2019 г.	1,7	Не более 40*	1,0	Не более 25*
	18.10.2018 г.	3,7		1,7	
	06.10.2019 г.	1,8	Не более 37**	1,1	Не более 1,85**
Среднее значение по виду		2,40±1,13		1,27±0,38	
«Пюре из яблок и банана»	11.10.2018 г.	3,7	Не более 40*	1,7	Не более 25*
	04.11.2017 г.	3,7		1,6	
	13.05.2019 г.	3,5	Не более 37**	1,6	Не более 1,85**
Среднее значение по виду		3,63±0,12		1,63±0,06	

Удельная активность стронция-90 в образце от 06.03.2019 г. равна удельной активности в образце от 17.06.2018 г., а в образце от 19.06.2019 г. повысилась на 9,09% относительно образца за 06.03.2019 г.

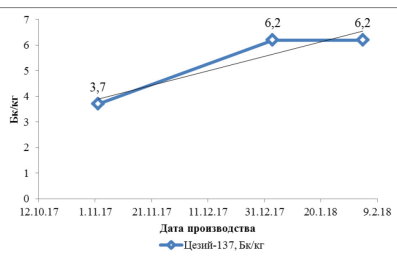
По виду пюре из персиков дисперсия для значений удельной активности Cs-137 равна 2,40, коэффициент вариации равен 26,62%. Дисперсия для значений удельной активности Sr-90 равна 0,003, коэффициент вариации равен 5,09%.

Основываясь на таблице 5 и рисунке 5б, удельная активность цезия-137 в образце «Пюре из яблок и персиков» от 03.01.2018 г. выше на 67,57%, чем в образце за 02.11.2017 г., значения в образцах от 04.02.2018 г. и 03.01.2018 г. равны.

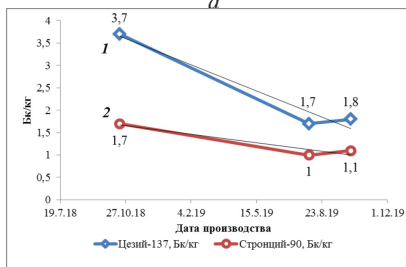


$$I - y = 0,0065x - 278,29; R^2 = 0,6699;$$

$$2 - y = 0,0002x - 8,0922; R^2 = 0,5114.$$

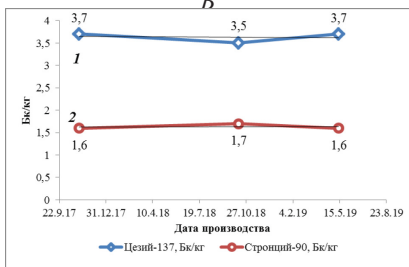


$$y = 0,0285x - 1221; R^2 = 0,8879.$$



$$I - y = -0,0059x + 257,65; R^2 = 0,9543;$$

$$2 - y = -0,0019x + 85,035; R^2 = 0,9107.$$



$$I - y = -5E-05x + 5,9751; R^2 = 0,0172;$$

$$2 - y = 3E-05x + 0,4624; R^2 = 0,0172.$$

а – «Пюре персиков», *б* – «Пюре из яблок и персиков»,
в – «Пюре из чернослива», *г* – «Пюре из яблок и банана»

Рис. 5. Удельная активность цезия-137 и стронция-90 в консервированном морсе и соке.

По виду пюре из яблок и персиков дисперсия для значений удельной активности Cs-137 равна 2,08, коэффициент вариации равен 26,90%.

Анализ таблицы 5 и рисунка 5б показал, что удельная активность цезия-137 в образце «Пюре из чернослива» от 03.08.2019 г. снизилась на 54,05% относительно пробы за 18.10.2018 г., а в образце от 06.10.2019 г. повысилась на 5,88% относительно предыдущей пробы от 03.08.2019 г.

Удельная активность стронция-90 в образце от 03.08.2019 г. также снизилась на 41,18% в сравнении с предыдущим образцом за 18.10.2018 г., в пробе от 06.10.2019 г. удельная активность выросла на 10% относительно предыдущего измерения 03.08.2019 г.

По виду пюре из чернослива дисперсия для значений удельной активности Cs-137 равна 1,27, коэффициент вариации равен 49,96%. Дисперсия

для значений удельной активности Sr-90 равна 0,14, коэффициент вариации равен 29,89%.

Из таблицы 5 и рисунка 5г видно, что удельные активности цезия-137 в образцах «Пюре из яблок и банана» от 11.10.2018 г. и 04.11.2017 г. имеют идентичные значения, в образце от 13.05.2019 г. выявлено снижение на 5,40% относительно предыдущего образца от 11.10.2018 г.

Удельная активность стронция-90 в образце от 11.10.2018 г. повысилась на 6,25% в сравнении с предыдущим образцом за 04.11.2017 г., в пробе от 13.05.2019 г. удельная активность снизилась на 5,88% относительно предыдущего измерения 11.10.2018 г.

По виду пюре из чернослива дисперсия для значений удельной активности Cs-137 равна 0,01, коэффициент вариации равен 3,18%. Дисперсия для значений удельной активности Sr-90 равна 0,003, коэффициент вариации равен 3,54%.

Согласно таблице 6 и рисунка 6а, удельная активность цезия-137 в образце «Пюре из банана и клубники со сливками» от 18.07.2019 г. снизилась на 45,0% по сравнению с пробой за 29.06.2019 г., а в образце от 03.09.2019 г. снизилась на 45,45% сравнивая с образцом за 18.07.2019 г.

Удельная активность стронция-90 в образце от 18.07.2019 г. повысилась на 80,0% сравнивая с образцом за 29.06.2019 г., а в образце от 03.09.2019 г. снизилась на 38,89% по сравнению с образцом от 18.07.2019 г.

По виду пюре из банана и клубники со сливками дисперсия для значений удельной активности Cs-137 равна 2,01, коэффициент вариации равен 57,52%. Дисперсия для значений удельной активности Sr-90 равна 0,19, коэффициент вариации равен 33,53%.

Согласно таблице 6 и рисунку 6б, удельная активность цезия-137 в образце Пюре из яблок и банана с творогом «Фруктово-творожный десерт» от 20.06.2019 г. снизилась на 50,0%, сравнивая с образцом за 22.08.2018 г.; в образце от 14.07.2019 г. повысилась на 72,73% относительно от 22.08.2018 г.; в образце от 30.08.2019 г. удельная активность равна значению 20.06.2019 г.; в образце от 06.11.2019 г. значение снизилось на 63,16% по сравнению с пробой от 30.08.2019 г.; в образце от 01.09.2019 г. значение повысилось на 207,14% по сравнению с предыдущим измерением пробы от 06.11.2019 г.

Удельная активность стронция-90 в образце от 20.06.2019 г. повысилась на 18,18% относительно образца за 22.08.2018 г.; в образце от 14.07.2019 г. она снизилась на 23,08%, чем в образце от 22.08.2018 г.; в образце от 30.08.2019 г.

Таблица 6.

**Удельная активность цезия-137 и стронция-90
в консервированном фруктово-молочном пюре**

Наименование продукта	Дата производства	Цезий-137, Бк/кг	Требования ТНПА	Стронций-90, Бк/кг	Требования ТНПА
«Пюре из банана и клубники со сливками»	03.09.2019 г.	1,2	Не более 40*	1,1	Не более 25*
	18.07.2019 г.	2,2		1,8	
	29.06.2019 г.	4,0	Не более 37**	1,0	Не более 1,85**
Среднее значение по виду		2,47±1,42		1,3±0,44	
«Пюре из яблок и банана с творогом «Фруктово-творожный десерт»	01.09.2019 г.	4,3	Не более 40*	1,2	Не более 25*
	06.11.2019 г.	1,4		1,6	
	30.08.2019 г.	3,8		1,2	
	14.07.2019 г.	3,8	Не более 37**	1,0	Не более 1,85**
	20.06.2019 г.	2,2		1,3	
	22.08.2018 г.	4,4		1,1	
Среднее значение по виду		3,32±1,23		1,23±0,21	
«Пюре из яблок и банана с творогом и сливками»	04.06.2019 г.	2,7	Не более 40*	1,4	Не более 25*
	15.04.2019 г.	2,2		1,1	
	17.10.2018 г.	3,7	Не более 37**	1,7	Не более 1,85**
Среднее значение по виду		2,87±0,76		1,40±0,30	

Удельная активность выше на 20%, чем в образце от 20.06.2019 г.; в образце от 06.11.2019 г. удельная активность выросла на 33,33% по сравнению с образцом от 30.08.2019 г.; в образце от 01.09.2019 г. она снизилась на 25% в сравнении с пробой за 06.11.2019 г.

По виду пюре из яблок и банана с творогом «Фруктово-творожный десерт» дисперсия для значений удельной активности Cs-137 равна 1,51, коэффициент вариации равен 37,00%. Дисперсия для значений удельной активности Sr-90 равна 0,04, коэффициент вариации равен 16,75%.

Согласно таблице 6 и рисунка 6в, удельная активность цезия-137 в образце «Пюре из яблок и банана с творогом и сливками» от 15.04.2019 г.

снизилась на 40,54% относительно пробы за 17.10.2018 г., удельная активность образца 04.06.2019 г. выше на 22,73% по сравнению с предыдущим образцом от 15.04.2019 г.

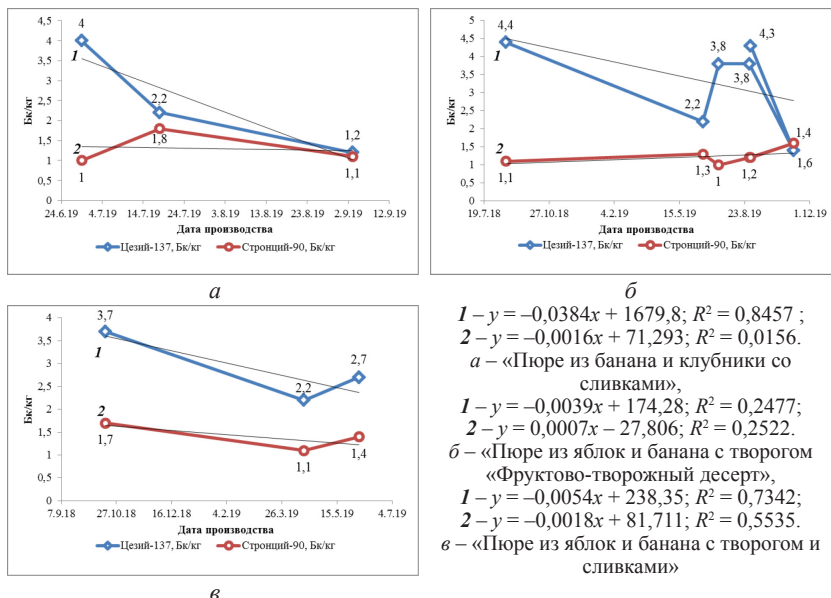


Рис. 6. Удельная активность цезия-137 и стронция-90 в консервированном фруктово-молочном пюре

Удельная активность стронция-90 в образце от 15.04.2019 г. снизилась на 35,29% по сравнению с образцом за 17.10.2018, а в образце от 04.06.2019 г. повысилась на 27,27% по сравнению с образцом от 15.04.2019 г.

По виду пюре из яблок и банана с творогом и сливками дисперсия для значений удельной активности Cs-137 равна 0,58, коэффициент вариации равен 26,64%. Дисперсия для значений удельной активности Sr-90 равна 0,09, коэффициент вариации равен 21,43%.

Удельные активности цезия-137 варьировали от 1,2 Бк/кг в «Йогурт из говядины» и «Йогурт из банана и клубники со сливками» до 7,0 в «Йогурт из персиков», что, на наш взгляд, обусловлено уменьшением содержания радионуклида при его миграции в пищевых цепочках: растение → животное [25], а также технологическими особенностями приготовления продукта.

Статистический анализ показал, что наименьший коэффициент вариации был в «Пюре из чернослива» – 3,18%, а наибольшее в «Пюре из сёмги» – 75%. Высокий коэффициент вариации в «Пюре из сёмги», по-видимому, обусловлен разнообразием кормовой базы для сёмги [15]. Низкое значение коэффициента вариации в «Пюре из чернослива» вызвано однородностью условий произрастания чернослива.

Выводы

1. Проанализированная продукция детского питания, произведенная в ООО «Белфуд Продакшн» (рыбные консервы, мясные консервы, консервированный морс и сок, консервированное фруктовое пюре, консервированное фруктовое-молочное пюре) соответствует республиканскому нормативному акту ГН 10-117-99, а также нормативу ЕАЭС ТР ТС 021/2011 по уровню удельных активностей изотопов Цезия-137 и Стронция-90.

2. Наибольшая удельная активность Цезия-137 – 7 Бк/кг – отмечена в виде «Пюре из персиков». Наименьшая удельная активность Цезия-137 – 1,2 Бк/кг – зарегистрирована в следующих наименованиях: «Пюре из банана и клубники со сливками», «Пюре из говядины».

3. Наименьшая удельная активность Стронция-90 (1 Бк/кг) наблюдалась в видах «Пюре из чернослива», «Пюре из банана и клубники со сливками» и «Пюре из яблок и банана с творогом «Фруктово-творожный десерт», а наибольшая (1,85 Бк/кг) в виде «Сок яблочно-шиповниковый».

4. В соответствии с убыванием удельной активности Цезия-137 изученные образцы детского питания можно выстроить в следующий ряд: «Пюре из мяса цыплят» – $5,47 \pm 1,35$ Бк/кг, «Пюре из яблок и персиков» – $5,37 \pm 1,44$ Бк/кг, «Пюре из персиков» – $5,23 \pm 1,55$ Бк/кг, «Пюре из хека» – $4,63 \pm 1,86$ Бк/кг, «Пюре из яблок и банана» – $3,63 \pm 0,12$ Бк/кг, «Пюре из яблок и банана с творогом «Фруктово-творожный десерт» – $3,32 \pm 1,23$ Бк/кг, «Сок яблочно-шиповниковый» – $3,10 \pm 2,00$ Бк/л, «Пюре из яблок и банана с творогом и сливками» – $2,87 \pm 0,76$ Бк/кг, «Пюре из сёмги» – $2,80 \pm 2,10$ Бк/кг, «Пюре из индейки» – $2,50 \pm 0,62$ Бк/кг, «Пюре из банана и клубники со сливками» – $2,47 \pm 1,42$ Бк/кг, «Пюре из чернослива» – $2,40 \pm 1,13$ Бк/кг, «Пюре из говядины» – $2,03 \pm 0,99$ Бк/кг, «Морс из черники и голубики «Лесные ягоды» – $1,70 \pm 0,17$ Бк/л, соответственно. Удельная активность Цезия-137 колебалась в пределах 1,70–5,47 Бк/кг.

5. Все исследованные образцы детского питания можно также выстроить в ряд по убыванию удельной активности Стронция-90: «Сок яблочно-шиповниковый» – $1,72 \pm 0,19$ Бк/л, «Пюре из говядины» – $1,66 \pm 0,18$

Бк/кг, «Пюре из яблок и банана» – $1,63 \pm 0,06$ Бк/кг, «Пюре из хека» – $1,60 \pm 0,26$ Бк/кг, «Пюре из сёмги» – $1,57 \pm 0,06$ Бк/кг, «Пюре из индейки» – $1,53 \pm 0,29$ Бк/кг, «Пюре из мяса цыплят» – $1,40 \pm 0,2$ Бк/кг, «Пюре из яблок и банана с творогом и сливками» – $1,40 \pm 0,30$ Бк/кг, «Морс из черники и голубики «Лесные ягоды» – $1,30 \pm 0,26$ Бк/л, «Пюре из банана и клубники со сливками» – $1,30 \pm 0,44$ Бк/л(кг), «Пюре из чернослива» – $1,27 \pm 0,38$ Бк/кг, «Пюре из яблок и банана с творогом «Фруктово-творожный десерт» – $1,23 \pm 0,21$ Бк/кг, «Пюре из персиков» – $1,13 \pm 0,06$ Бк/кг, соответственно. Коледания удельной активности Стронция-90 были в рамках 1,13–1,72 Бк/кг.

Заключение комитета по этике. Не применимо.

Информированное согласие. Не применимо.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки. Публикация подготовлена в рамках Государственного задания ФГБУН Центр исследования проблем безопасности РАН на 2021 г. и на плановый период 2022 и 2023 гг. «Исследования проблем обеспечения национальной безопасности Российской Федерации в современных условиях, в том числе в сферах функционирования государственной системы управления, обеспечения территориальной целостности России, противодействия экстремизму и терроризму, обеспечения экономической и научно-технологической безопасности» (код работы – № 0006-2021-0005).

Список литературы

1. Гигиенические нормативы №10-117-99 «Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99)». Утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 26 апреля 1999 г. № 16. Минск: Главный государственный санитарный врач Республики Беларусь. 1999. 5 с.
2. ГОСТ 32163-2013 «Продукты пищевые. Метод определения содержания стронция Sr-90»: Утв. постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 11 ноября 2014 г. № 50 непосредственно в качестве государственного стандарта Республики Беларусь с 1 января 2016 г. Минск: Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь. 2014. 12 с.

3. Положение о системе контроля радиоактивного загрязнения: Утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 04.05.2015 № 372. Минск: Совет Министров Республики Беларусь. 2015. 7 с.
4. МВИ. МН 1181-2011 «Методика выполнения измерений объемной и удельной активности стронция-90, цезия-137 и калия-40 на гамма-бета-спектрометре МКС-АГ1315, объемной и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов цезия-137 и калия-40 на гамма-спектрометре типа ЕL 1309 (МКГ-1309) в пищевых продуктах, питьевой воде, почве, сельскохозяйственном сырье и кормах, продукции лесного хозяйства и других объектах окружающей среды»: Утв. БелГИМ от 17.11.2011. Минск: БелГИМ. 2011. 31 с.
5. МВИ 114-94 «Методика экспрессного радиометрического определения по гамма-излучению объемной и удельной активности радионуклидов цезия в воде, почве, продуктах питания, продукции животноводства и растениеводства радиометрами РКГ-01, РКГ-02, РКГ-02С, РКГ-03»: утв. Минсельхозпродом от 10.06.1994. Минск: Минсельхозпрод, 1994. 24 с.
6. О безопасности пищевой продукции: ТР ТС 021/2011 (с изменениями на 8 августа 2019 года): Принят 09.12.2011, вступ. в силу 01.07.2013. Комиссия Таможенного союза. 2011. 242 с.
7. Радиобиология: Вчера, сегодня, завтра: курс лекций / [И.Э. Бученков и др.] // Учреждение образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, Учреждение образования «Гродненский государственный медицинский университет». Минск: ИВЦ Минфина. 2018. 255 с.
8. Радиобиология: Медико-экологические проблемы / С.А. Маскевич [и др.] // Учреждение образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, Учреждение образования «Гродненский государственный медицинский университет». Минск: ИВЦ Минфина. 2019. 255 с.
9. Сиделев С.И. Математические методы в биологии и экологии: введение в элементарную биометрию: учебное пособие / Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова. Ярославль: ЯрГУ, 2012. 140 с.
10. Тепляков Б.И. Сельскохозяйственная радиология. Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2013. 230 с.
11. Якименко А.В., Якименко В.П. Радиологическое состояние мясных продуктов детского питания производства торгового знака «Маленькое счастье» // 6-й Міжнародний конгрес «Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування». Збірник матеріалів / Ред. О. Мороз. Львов, 2020. С. 50.

12. Ahmed A.Q. Natural radioactivity in Cerelac baby food samples commonly used in Iraq / A.Q. Ahmed, A.A. Mohsen, A. Al-Khayyat et al. // *Plant Archives* / ed. R.S. Yadav. Etawah, 2019. Vol. 19, No. 1. P. 1057–1061.
13. An K.A. Assessment of microbial and radioactive contaminations in Korean cold duck meats and electron-beam application for quality improvement / K.A. An, Y. Jo, M.S. Arshad, et al. // *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. 2017. Vol. 37, No. 2. P. 297–304. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.2.297>
14. Beard B.L., Johnson C. M. Strontium isotope composition of skeletal material can determine the birthplace and geographic mobility of humans and animals // *Journal of Forensic Sciences*. 2000. Vol. 45, No. 5. P. 1049–1061.
15. Brandhoff, P. Operation and performance of a national monitoring network for radioactivity in food / P. Brandhoff, M. Bourgondien, C. Onstenk, et al. // *Food Control*. 2016. Vol. 64. P. 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.12.008>
16. Burger A., Lichtscheidl I. Stable and radioactive cesium: A review about distribution in the environment, uptake and translocation in plants, plant reactions and plants' potential for bioremediation // *Science of The Total Environment* / Ed. Damia Barcelo. 2018. Vol. 618. P.1459–1485. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.298>
17. Burger A., Lichtscheidl I. Strontium in the environment: review about reactions of plants towards stable and radioactive strontium isotopes // *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 653. P. 1458–1512. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.312>
18. Desideria D. Assessment of radioactivity in Italian baby food / D. Desideria, P. Battisti, I. Giardina, et al. // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 279. P. 408–415. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.030>
19. Engstedt O. Strontium (Sr) uptake from water and food in otoliths of juvenile pike (*Esox lucius* L.) / O. Engstedt, P. Koch-Schmidt, P. Larsson // *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 2012. Vol. 418–419. P. 69–74.
20. Hachinohe M. Distribution of radioactive cesium (^{134}Cs plus ^{137}Cs) in rice fractions during polishing and cooking / M. Hachinohe, T. Okunishi, S. Hagiwara, et al. // *Journal of Food Protection*. 2015. Vol. 78, No. 3. P. 561–566. <https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-14-275>
21. Harb S. Natural radioactivity concentration and annual effective dose in selected vegetables and fruits // *Journal of Nuclear and Particle Physics* / ed. Ionel Lazanu. Bucharest, 2015. Vol. 5, No. 3. P. 70–73.
22. Jerome S.M. Certified reference, intercomparison, performance evaluation and emergency preparedness exercise materials for radionuclides in food / S.M.

- Jerome, K. Inn, U. Wätjen, et al. // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2015. Vol. 303. P. 1771–1777. <https://doi.org/10.1007/s10967-014-3724-7>
23. Jo Melnyka L. Absorption of strontium by foods prepared in drinking water / L. Jo Melnyka, M.J. Donohuea, M. Phamb, et al. // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2019. Vol. 53. P. 22–26. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.01.001>
24. Miura T. Validation of measurement comparability of NaI (TI) scintillation detectors for radioactive cesium in brown rice sample by interlaboratory comparison / T. Miura, M. Hachinohe, A. Yunoki, et al. // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2020. 326. P. 1225–1231. <http://doi.org/10.1007/s10967-020-07373-5>
25. Miyake Radioactivity survey of commercial baby foods / Miyake, Sadaaki, Higasa, et al. // *Radioisotopes (Tokyo)*. 2007. Vol. 56, No. 9. P. 567–572.
26. Nabeshi H. Surveillance of radioactive cesium in foods / H. Nabeshi, T. Tsutsumi, A. Ikarashi, et al. // *Journal of the Food Hygienic Society of Japan*. 2019. Vol. 54, No. 2. P. 131–150. <https://doi.org/10.3358/shokueishi.54.131>
27. Nabeshi H. Variation in amount of radioactive cesium before and after cooking dry shiitake and beef / H. Nabeshi, T. Tsutsumi, A. Hachisuka, et al. // *Journal of the Food Hygienic Society of Japan*. 2013. Vol. 54, No. 1. P. 65–70. <https://doi.org/10.3358/shokueishi.54.65>
28. Pan J. Analysis of radioactive strontium-90 in food by Čerenkov liquid scintillation counting / J. Pan, K. Emanuele, E. Maher, et al. // *Applied Radiation and Isotopes*. 2017. Vol. 126. P. 214–218. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.01.034>
29. Pappalardo A.M. Fish-based baby food concern – from species authentication to exposure risk assessment / A.M. Pappalardo, Ch. Copat, A. Raffa, et al. // *Molecules*. 2020. Vol. 25. P. 3961. <https://doi.org/10.3390/molecules25173961>
30. Wang W.X. Modeling radiocesium bioaccumulation in a marine food chain / W.X. Wang, C. Ke, K.N. Yu // *Marine Ecology Progress Series* / Ed. Myron A. Peck. 2000. Vol. 208. P. 41–50. <https://dx.doi.org/10.3354/meps208041>
31. Wätjen U. Results of an international comparison for the determination of radionuclide activity in bilberry material / U. Wätjen, T. Altzitzoglou, A. Ceccatelli, et al. // *Applied Radiation and Isotopes*. 2012. Vol. 70. P. 1843–1849. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2012.02.018>
32. Yasunari, T. J. Cesium-137 deposition and contamination of Japanese soils due to the Fukushima nuclear accident // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2011. Vol. 108. P. 19530–19534. <https://doi.org/10.1073/pnas.1112058108>

References

1. *Gigienicheskie normativy №10-117-99 «Respublikanskiye dopustimyye urovni sodержaniya radionuklidov tseziya-137 i strontsiya-90 v pishchevykh produktakh i pit'evoy vode (RDU-99)»* [Hygienic Standards No. 10-117-99 «Republican allowable levels of cesium-137 and strontium-90 radionuclides in food and drinking water (RDU-99)»]. Appr. by Regulation of Chief State Sanitary Doctor of the Republic of Belarus April 26, 1999 No.16. Minsk: Chief State Sanitary Doctor of the Republic of Belarus, 1999, 5 p.
2. *GOST 32163-2013 «Produkty pishchevye. Metod opredeleniya sodержaniya strontsiya Sr-90»: utv. postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta po standartizatsii Respubliki Belarus' ot 11 noyabrya 2014 g. № 50 neposredstvenno v kachestve gosudarstvennogo standartarta Respubliki Belarus' s 1 yanvarya 2016 g.* [State Standard 32163-2013 «Food products. Method for determination of strontium Sr-90 content»: approved by Resolution of the State Committee for Standardization of the Republic of Belarus of November 11, 2014 № 50 directly as a state standard of the Republic of Belarus from January 1, 2016]. Minsk: State Committee for Standardization of the Republic of Belarus, 2014, 12 p.
3. *Polozhenie o sisteme kontrolya radioaktivnogo zagryazneniya* [Regulations on the radioactive contamination control system]. Appr. by the Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus of 04.05.2015 No. 372]. – Minsk: Council of Ministers of the Republic of Belarus, 2015, 7 p.
4. *MVI. MN 1181-2011 «Metodika vypolneniya izmereniy ob'emnoy i udel'noy aktivnosti strontsiya-90, tseziya-137 i kaliya-40 na gamma-beta-spektrometre MKS-AT1315, ob'emnoy i udel'noy aktivnosti gamma-izluchayushchikh radionuklidov tseziya-137 i kaliya-40 na gamma-spektrometre tipa EL 1309 (MKG-1309) v pishchevykh produktakh, pit'evoy vode, pochve, sel'skokhozyaystvennom syr'e i kormakh, produktsii lesnogo khozyaystva i drugikh ob'ektakh okruzhayushchey sredy»* [Measurement procedure MH 1181-2011 «Methods of measurement of volumetric and specific activity of strontium-90, cesium-137 and potassium-40 on gamma-beta spectrometer MKS-AT1315, the volumetric and specific activity of gamma-emitting radionuclides of cesium-137 and potassium-40 on gamma spectrometer type EL 1309 (MKG-1309) in food, drinking water, soil, agricultural raw materials and feed, forestry products and other objects of the environment»]. Appr. by the Belarusian State Institute of Metrology of 17.11.2011. Minsk: Belarusian State Institute of Metrology, 2011, 31 p.
5. *MVI 114-94 «Metodika ekspressnogo radiometricheskogo opredeleniya po gamma-izlucheniyu ob'emnoy i udel'noy aktivnosti radionuklidov tseziya v vode, pochve, produktakh pitaniya, produktsii zhivotnovodstva i rastenievodstva ra-*

- diometrami RKG-01, RKG-02, RKG-02S, RKG-03*] [Measurement procedure 114-94 «Methods of express radiometric determination by gamma-radiation of volume and specific activity of cesium radionuclides in water, soil, food, live-stock, and crop products with radiometers RKG-01, RKG-02, RKG-02S, RKG-03»]. Appr. by Ministry of Agriculture and Food of 10.06.1994. Minsk: Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus, 1994, 24 p.
6. *O bezopasnosti pishchevoy produktsii: TR TS 021/2011 (s izmeneniyami na 8 avgusta 2019 goda)* [On food safety: TR TS 021/2011 (as amend. on August 8, 2019)]: Adopt. on 09.12.2011, ent into force on 01.07.2013. Commission of the Customs Union, 2011, 242 p.
 7. *Radiobiologiya: Vchera, segodnya, zavtra: kurs lektsiy /* [Radiobiology: Yesterday, today, tomorrow: A course of lectures] I.E. Buchenkov and others. Educational Institution «International State Ecological Institute named after A.D. Sakharov». Belarusian State University, Institution of Education «Grodno State Medical University». Minsk: Information and Computing Center of the Ministry of Finance, 2018, 255 p.
 8. *Radiobiologiya: mediko-ekologicheskie problemy* [Radiobiology: Medico-Ecological Problems] S.A. Maskevich (ed.) and others. International State Ecological Institute was named after A.D. Sakharov. Belarusian State University, Institution of Education «Grodno State Medical University». Minsk: Information and Computing Center of the Ministry of Finance, 2019, 255 p.
 9. Sidelev S.I. *Matematicheskie metody v biologii i ekologii: vvedenie v elementarnuyu biometriyu* [Mathematical methods in biology and ecology: Introduction to elementary biometry]. Yaroslavl: Yaroslavl State University, 2012, 140 p.
 10. Teplyakov B.I. *Sel'skokhozyaystvennaya radiologiya* [Agricultural radiology]. Novosibirsk: Publishing house of the Novosibirsk State Agrarian University, 2013, 230 p.
 11. Yakimenko A.V., Yakimenko V.P. *Radiologicheskoe sostoyanie myasnykh produktov detskogo pitaniya proizvodstva trgovogo znaka «Malen'koe schast'ye»* [Radiological state of meat products for children's food produced by the trademark «Little Happiness»]. *6th International Congress «Sustainable Development: protection of the environment. Energy conservation. Balanced use of nature. Collection of materials.* (Ed. O. Moroz). Lviv, 2020, p. 50.
 12. Ahmed A.Q., Mohsen A.A., A. Al-Khayyat et al. Natural radioactivity in Cerealic baby food samples commonly used in Iraq. *Plant Archives* (Ed. R S.Yadav). Etawah, 2019, vol. 19, no. 1, pp. 1057–1061.
 13. An K.A., Jo Y., Arshad M.S., et al. Assessment of microbial and radioactive contaminations in Korean cold duck meats and electron-beam application for

- quality improvement. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2017, vol. 37, no. 2, pp. 297–304. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.2.297>
14. Beard B.L., Johnson C. M. Strontium isotope composition of skeletal material can determine the birthplace and geographic mobility of humans and animals. *Journal of Forensic Sciences*, 2000, vol. 45, no. 5, pp. 1049–1061.
 15. Brandhoff P., Bourgondiën M., Onstenk C., et al. Operation and performance of a national monitoring network for radioactivity in food. *Food Control*, 2016, vol. 64, pp. 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.12.008>
 16. Burger A., Lichtscheidl I. Stable and radioactive cesium: A review about distribution in the environment, uptake and translocation in plants, plant reactions and plants' potential for bioremediation. *Science of The Total Environment* (Ed. Damia Barcelo), 2018, vol. 618, pp. 1459–1485. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.298>
 17. Burger A., Lichtscheidl I. Strontium in the environment: review about reactions of plants towards stable and radioactive strontium isotopes. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 653, p. 1458–1512. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.312>
 18. Desideria D., Battisti P., Giardina I., et al. Assessment of radioactivity in Italian baby food. *Food Chemistry*, 2019, vol. 279, pp. 408–415. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.030>
 19. Engstedt O., Koch-Schmidt P., Larsson P. Strontium (Sr) uptake from water and food in otoliths of juvenile pike (*Esox lucius* L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2012, vol. 418–419, pp. 69–74.
 20. Hachinohe M., Okunishi T., Hagiwara S., et al. Distribution of radioactive cesium (^{134}Cs plus ^{137}Cs) in rice fractions during polishing and cooking. *Journal of Food Protection*, 2015, vol. 78, no. 3, pp. 561–566. <https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-14-275>
 21. Harb S. Natural radioactivity concentration and annual effective dose in selected vegetables and fruits. *Journal of Nuclear and Particle Physics* (Ed. Ionel Lazanu). Bucharest, 2015. Vol. 5, No. 3. P. 70–73.
 22. Jerome S.M., Inn K., Wätjen U., et al. Certified reference, intercomparison, performance evaluation and emergency preparedness exercise materials for radionuclides in food. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2015, vol. 303, pp. 1771–1777. <https://doi.org/10.1007/s10967-014-3724-7>
 23. Jo Melnyka L., Donohue M.J., Phamb M., et al. Absorption of strontium by foods prepared in drinking water. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2019, vol. 53, pp. 22–26. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.01.001>
 24. Miura T., Hachinohe M., Yunoki A., et al. Validation of measurement comparability of NaI (Tl) scintillation detectors for radioactive cesium in brown rice sample

- by interlaboratory comparison. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2020, vol. 326, pp. 1225–1231. <http://doi.org/10.1007/s10967-020-07373-5>
25. Miyake, Sadaaki, Higasa, et al. Radioactivity survey of commercial baby foods. *Radioisotopes* (Tokyo), 2007 vol. 56, no. 9, pp. 567–572.
26. Nabeshi H., Tsutsumi T., Ikarashi A., et al. Surveillance of radioactive cesium in foods. *Journal of the Food Hygienic Society of Japan*, 2019, vol. 54, no. 2, pp. 131–150. <https://doi.org/10.3358/shokueishi.54.131>
27. Nabeshi H., Tsutsumi T., Hachisuka A., et al. Variation in amount of radioactive cesium before and after cooking dry shiitake and beef. *Journal of the Food Hygienic Society of Japan*, 2013, vol. 54, no. 1, pp. 65–70. <https://doi.org/10.3358/shokueishi.54.65>
28. Pan J., Emanuele K., Maher E., et al. Analysis of radioactive strontium-90 in food by Čerenkov liquid scintillation counting. *Applied Radiation and Isotopes*, 2017, vol. 126, pp. 214–218. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.01.034>
29. Pappalardo A.M., Copat Ch., Raffa A., et al. Fish-based baby food concern – from species authentication to exposure risk assessment. *Molecules*, 2020, vol. 25, p. 3961. <https://doi.org/10.3390/molecules25173961>
30. Wang W.X., Ke C., Yu K.N. Modeling radiocesium bioaccumulation in a marine food chain. *Marine Ecology Progress Series* (Ed. Myron A. Peck), 2000. vol. 208, pp. 41–50. <https://dx.doi.org/10.3354/meps208041>
31. Wätjen U., Altitzoglou T., Ceccatelli A., et al. Results of an international comparison for the determination of radionuclide activity in bilberry material. *Applied Radiation and Isotopes*, 2012, vol. 70, pp. 1843–1849. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2012.02.018>
32. Yasunari T. J. Cesium-137 deposition and contamination of Japanese soils due to the Fukushima nuclear accident. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2011, vol. 108, pp. 19530–19534. <https://doi.org/10.1073/pnas.1112058108>

ДААННЕ ОБ АВТОРАХ

Батян Анатолий Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой экологической медицины и радиобиологии *Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова БГУ*
ул. Долгобродская, 23/1, г. Минск, 220070, Республика Беларусь
info@iseu.by

Кравченко Вячеслав Анатольевич, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологической медицины и радиобиологии

*Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова БГУ
ул. Долгобродская, 23/1, г. Минск, 220070, Республика Беларусь
info@iseu.by*

Якименко Анастасия Викторовна, магистр

*Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова БГУ
ул. Долгобродская, 23/1, г. Минск, 220070, Республика Беларусь
info@iseu.by*

Литвяк Владимир Владимирович, доктор технических наук, кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник

*Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН
ул. Некрасова, 11, пос. Красково, Люберецкий р-н, Московская обл., 140051, Российская Федерация
besserk1974@mail.ru*

Кузина Лидия Борисовна, аспирант 4-го года обучения, научный сотрудник

*Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр исследования проблем безопасности РАН
ул. Некрасова, 11, пос. Красково, Люберецкий р-н, Московская обл., 140051, Российская Федерация; ул. Гарибальди, 21Б, г. Москва, 117335, Российская Федерация
lidia.b.kuzina@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anatoly N. Batyan, Dr.Sc. (medicine), Professor, Head of the Department of Environmental Medicine and Radiobiology

International Sakharov Environmental Institute of Belarussian State University

23/1, Dolgobrodskaya Str., Minsk, 220070, Republic of Belarus

info@iseu.by

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2041-5575>

Vyacheslav A. Kravchenko, Ph.D. (biology), Docent, Associate Professor of the Department of Environmental Medicine and Radiobiology
International Sakharov Environmental Institute of Belarussian State University
23/1, Dolgobrodskaya Str., Minsk, 220070, Republic of Belarus
info@iseu.by
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1079-8661>

Anastasia V. Yakimenko, M.S.
International Sakharov Environmental Institute of Belarussian State University
23/1, Dolgobrodskaya Str., Minsk, 220070, Republic of Belarus
info@iseu.by
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9041-1310>

Vladimir V. Litvyak, Dr.Sc. (engineering), PhD (chemistry), Docent, Leading Researcher, «ARRI of starch products - Gorbatov FSC of food systems»
Russian Academy of Sciences
11 Nekrasova Str., village Kraskovo, Lyuberetsky District, Moscow region, 140051, Russian Federation
besserk1974@mail.ru

Lidia B. Kuzina, M.S., 4rd-year postgraduate student, researcher of modified starch technology department
«ARRI of starch products - Gorbatov FSC of food systems»
Russian Academy of Sciences; Center of research of problems of safety of the Russian academy of sciences
11 Nekrasova Str., village Kraskovo, Lyuberetsky District, Moscow region, 140051, Russian Federation; 21-b Garibaldi Str., Moscow, 119335, Russian Federation
lidia.b.kuzina@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9299-4422>