

**СОДЕРЖАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ  
В ГРИБАХ В СОСНОВОМ БОРУ ПРИИРТЫШЬЯ**  
**THE CONTENT OF ARTIFICIAL RADIONUCLIDES  
IN MUSHROOMS OF THE PINE FOREST IN THE NEAR IRTYSH AREA**

**Ю. С. Шевченко, А. В. Топорова, Н. В. Ларионова, А. О. Айдарханов**  
**Yu. Shevchenko, A. Toporova, N. Larionova, A. Aidarkhanov**

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,  
г. Курчатов, Республика Казахстан  
shevchenko@nnc.kz

Branch 'Institute of Radiation Safety and Ecology' NNC RK, Kurchatov, Republic of Kazakhstan

В статье приведены значения удельной активности искусственных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  в грибах в сосновом бору на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону (далее – СИП). Установлено, что содержание радионуклидов  $^{241}\text{Am}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в основном находится ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  варьирует от  $<0,2$  Бк/кг до  $260\pm50$  Бк/кг, значения удельной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  не превышают  $3,7\pm0,5$  Бк/кг. При этом ожидаемая годовая эффективная доза внутреннего облучения населения при потреблении грибов составит  $\sim0,2$  мЗв/год, где основной вклад вносит доза от радионуклида  $^{90}\text{Sr}$   $\sim84\%$ .

The article gives values of activity concentrations of artificial radionuclides  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  in mushrooms of the pine forest in the territory adjacent to Semipalatinsk Test Site (STS). It was established that the content of  $^{241}\text{Am}$  and  $^{90}\text{Sr}$  is mainly below the detection limit of the methodological instrumentation employed. The content  $^{137}\text{Cs}$  varies from  $<0.2$  Bq/kg to  $260\pm50$  Bq/kg, values of  $^{239+240}\text{Pu}$  activity concentration do not exceed  $3.7\pm0.5$  Bq/kg. At the same time, the expected annual internal exposure dose of the population from mushroom consumption will be  $\sim0.2$  mSv/year, in which the main contribution is made by a radionuclide dose from  $^{90}\text{Sr}$  equal to  $\sim84\%$ .

**Ключевые слова:** Семипалатинский испытательный полигон (СИП), радионуклиды,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ , грибы.

**Keywords:** Semipalatinsk Test Site (STS), radionuclides,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ , mushrooms.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-1-376-378>

Ленточный бор Прииртышья расположен на правобережье реки Иртыш, на территории двух областей: Восточно-Казахстанской и Павлодарской. Общая площадь ленточного бора составляет 870,5 тыс. га. В период проведения атмосферных ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) территории ленточных боров, расположенные на севере, северо-западе и западе от мест проведения испытаний, неоднократно подвергались радиоактивному воздействию. Основной вклад в радиоактивное загрязнение внесло первое ядерное испытание (29.08.49 г.). Радиоактивное облако прошло в непосредственной близости от населенных пунктов Черемушки, Мостик, Долонь, Канонерка. Целью настоящего исследования было установить содержание искусственных радионуклидов  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  в грибах на прилегающей к СИП территории и определить дозовую нагрузку от их потребления.

Участки для проведения исследований были выбраны на основании имеющегося картографического материала, а также по результатам полевых измерений радиационных параметров – плотности потока  $\beta$ -частиц и мощности эквивалентной дозы (далее – МЭД). Основными объектами исследования стали маслята (*Suillus granulatus*), лисички (*Hygrophopsis aurantiaca*), грузди (*Lactarius piperatus*), шампиньоны (*Agaricus campestris*), вешенки (*Pleurotus ostreatus*), валуи (*Russula foetens*), подберёзовики (*Leccinum scabrum*), подосиновики (*Leccinum aurantiacum*), песочники (*Tricholoma populinum*) (Рис. 1). Отбор грибов производился в каждой точке с площади до 10 кв. м. Сопряженно с грибами отобраны смешанные образцы почвы (верхний слой 5 см).

Пробы грибов промывались и ополаскивались дистиллированной водой 2-3 раза, подвергались грубому измельчению при помощи ножа, затем просушивались в сушильном шкафу при температуре 900 °C до постоянной массы пробы. Далее проводилось измельчение при помощи лабораторной мельницы, с последующим термическим концентрированием (обугливание, озоление) проб. Сухой остаток обугливался в муфельной печи или путем прокаливания на электроплитах в вытяжном шкафу, не допуская воспламенения образца, до прекращения выделения дыма и получения чёрного остатка. Далее пробы охлаждались, растирались и переносились в фарфоровые чашки для последующего озоления. Температура озоления для дальнейшего определения  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  составляла 400 °C,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  – 500 °C. После получения золы чашки с золой охлаждались в эксикаторе. Готовая зора просеивалась через сито для удаления примесей, оставшийся зольный остаток взвешивался, определялся коэффициент озоления.

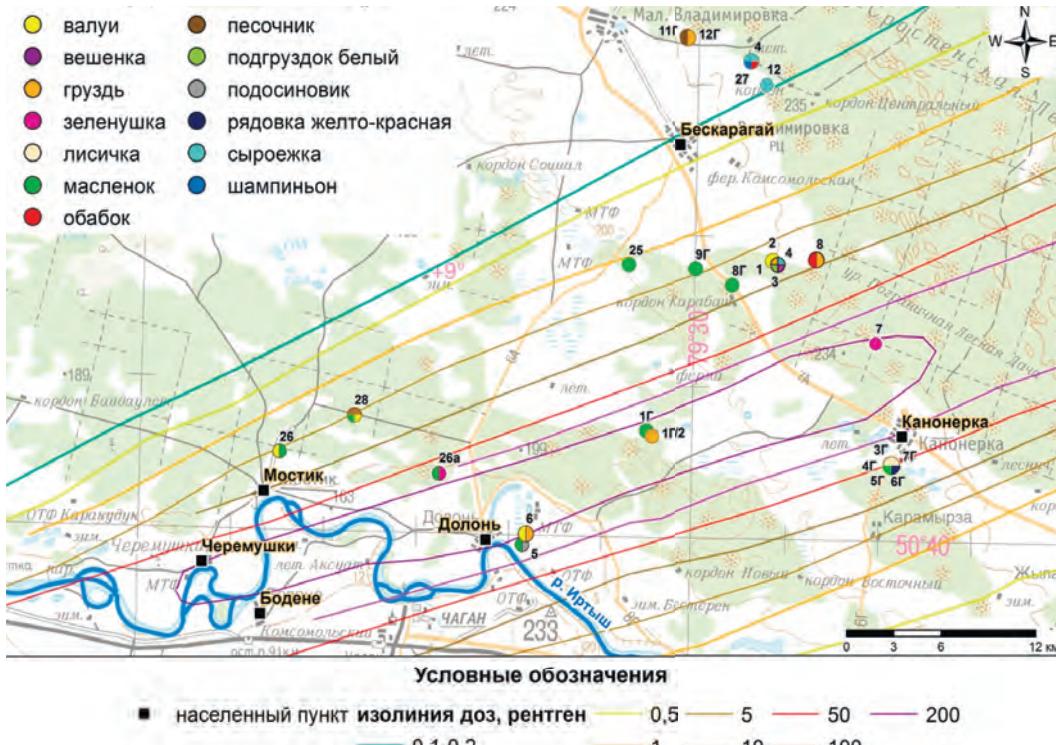


Рисунок 1 – Схема расположения точек отбора исследуемых видов грибов

Пробы почвы высушивались до воздушно-сухого состояния в сушильных шкафах при температуре  $(105\pm2)$  °С. После удаления из пробы неразложившихся корней и остатков растений и т.д., проба взвешивалась. Затем сухую пробу просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм. Фракцию пробы с диаметром частиц 2 мм собирали отдельно в полиэтиленовый пакет, взвешивали. Фракцию пробы менее 2 мм рассыпали на листе крафт-бумаги, тщательно перемешивали 6-7 раз с углом на угол, распределяли ровным слоем толщиной (0,5-1,0 см) в виде квадрата или прямоугольника. Методом квадратирования отбиралась навеска пробы.

Определение удельной активности радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  проводилось на гамма-спектрометре Canberra GX-2020,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  – радиохимическим выделением с последующим измерением на бета-спектрометре TRI-CARB 2900 TR и альфа-спектрометре Canberra, мод. 7401, соответственно. Удельная активность радионуклидов  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в грибах определялась в обугленных, предварительно измельченных образцах,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  – в золе, с последующим пересчетом на сухое вещество. Предел обнаружения  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$  составил 0,5 и 0,2 Бк/кг соответственно,  $^{90}\text{Sr}$  – 1 Бк/кг и  $^{239+240}\text{Pu}$  – 0,05 Бк/кг. Для количественной оценки поступления радионуклидов из почвы в грибы использовался коэффициент накопления (далее – Кн) – отношение содержания радионуклида в единице массы растений и почвы соответственно.

По результатам лабораторных анализов установлено, что значения удельной активности в почве, отобранный сопряженно с грибами, для  $^{137}\text{Cs}$  варьируют от  $4,3\pm0,9$  до  $88\pm19$  Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  – от  $<1$  до  $20\pm3$  Бк/кг,  $^{241}\text{Am}$  – от  $<0,5$  до  $3,5\pm0,7$  Бк/кг,  $^{239+240}\text{Pu}$  – от  $1,0\pm0,5$  до  $98\pm6$  Бк/кг. Удельная активность радионуклидов в грибах представлена в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что содержание радионуклида  $^{241}\text{Am}$  в грибах находится ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения. Единично установленные количественные значения удельной активности радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  варьируют от  $1,3\pm0,6$  до  $350\pm110$  Бк/кг,  $^{239+240}\text{Pu}$  – не превышают  $3,7\pm0,5$  Бк/кг. Наиболее часто встречаются повышенные значения  $^{137}\text{Cs}$  (до  $260\pm50$  Бк/кг).

Из-за отсутствия количественных величин удельной активности  $^{241}\text{Am}$  в грибах Кн для данного радионуклида рассчитаны оценочно ( $<0,31$ ). Значения Кн  $^{239+240}\text{Pu}$  составляют от 0,017 до 0,17,  $^{90}\text{Sr}$  – в среднем от  $<0,084$  до 0,50 (в отдельных случаях превышают единицу). Наиболее высокие Кн отмечаются для  $^{137}\text{Cs}$  – от 0,012 до 3,4, при этом максимальные значения достигают 12-27.

На основе результатов прямых измерений содержания радионуклидов в грибах и данных по их потреблению населением рассчитана эффективная доза по следующей формуле:

$$E_{mg} = \sum E_{mgi}, \quad (1)$$

$$E_{mgi} = A_{mi} \cdot q \cdot e_{dgi}, \quad (2)$$

где  $A_{mi}$  – удельная активность i-го радионуклида в грибах, Бк/кг;

$q$  – годовое потребление грибов кг/год;

$e_{dgi}$  – дозовый коэффициент для критической группы населения i-го радионуклида при поступлении его с пищей, Зв/Бк Приложение 23 (ГН СЭТОРБ).

Таблица 1 – Удельная активность  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  в исследуемых видах грибов

точка отбора	объект исследования	Удельная активность, Бк/кг			
		$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{241}\text{Am}$	$^{239+240}\text{Pu}$
1	груздь	<0,2	<1	<0,5	<0,05
	вешенка	<0,2	<1	<0,5	<0,05
2	валуй	<0,2	<1	<0,5	<0,05
3	вешенка	<0,2	<1	<0,5	<0,05
	подберезовик	<0,2	<1	<0,5	<0,05
4	сыроежка	$8,5 \pm 1,7$	<1	<0,5	$1 \pm 0,3$
	подосиновик	<0,2	<1	<0,5	<0,05
	груздь	<0,2	<1	<0,5	$3,7 \pm 0,5$
5	подосиновик	<0,2	<1	<0,5	<0,05
6	валуй	<0,2	<1	<0,5	<0,05
8	груздь	$1,6 \pm 0,3$	$350 \pm 110$	<0,5	<0,05
12	сыроежка	$1,4 \pm 0,4$	<1	<0,5	$1,1 \pm 0,2$
26	маслёнок	$220 \pm 40$	<1	<0,5	<0,05
26a	маслёнок	$260 \pm 50$	<1	<0,5	<0,05
27	шампиньон	$1 \pm 0,2$	$40 \pm 6$	<0,5	<0,05
28	маслёнок	$110 \pm 20$	<1	<0,5	<0,05
	песочник	$12 \pm 2$	<1	<0,5	$0,28 \pm 0,04$
1Г	маслёнок	$4,3 \pm 0,9$	$1,3 \pm 0,6$	<0,5	$0,5 \pm 0,1$
3Г	маслёнок	$11 \pm 2$	<1	<0,5	<0,05
4Г	маслёнок	$12 \pm 2$	<1	<0,5	<0,05
5Г	маслёнок	$8,2 \pm 1,6$	<1	<0,5	<0,05
6Г	маслёнок	$74 \pm 15$	<1	<0,5	$0,057 \pm 0,018$
7Г	лисички	$18 \pm 4$	<1	<0,5	<0,05
8Г	маслёнок	$91 \pm 18$	<1	<0,5	<0,05
9Г	маслёнок	$19 \pm 4$	<1	<0,5	<0,05
11Г	груздь	$0,7 \pm 0,2$	<1	<0,5	<0,05
12Г	песочник	$11 \pm 2$	<1	<0,5	<0,05

Согласно минимальным нормам потребления Республики К годовое потребление грибов составляет 5,7 кг/год [1]. Для консервативной оценки дозы от потребления грибов принимаем максимальные значения содержания радионуклидов (таблица 1).

Исходные данные для расчетной оценки годовой эффективной дозы приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные

Параметр	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{241}\text{Am}$	$^{239+240}\text{Pu}$
Удельная активность радионуклидов в грибах ( $A_{\text{mi}}$ ), Бк/кг	260	350	0,08	3,7
Годовое потребление грибов (q), кг/год	5,7	5,7	5,7	5,7
Дозовый коэффициент при пероральном поступлении радионуклидов с пищей( $e_{\text{dh}}$ ), Зв/Бк	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$8,0 \cdot 10^{-8}$	$3,7 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$

Ожидаемая годовая эффективная доза внутреннего облучения населения при потреблении грибов составит ~0,2 мЗв/год, где основной вклад вносит доза от радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  ~84%.

В результате исследований, проведенных в сосновом бору на территории, прилегающей к СИП, установлено, что содержание радионуклидов  $^{241}\text{Am}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в основном находится ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  варьирует от <0,2 Бк/кг до  $260 \pm 50$  Бк/кг, значения удельной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  не превышают  $3,7 \pm 0,5$  Бк/кг. В целом, полученные количественные значения удельной активности радионуклидов в грибах не превышают допустимый уровень ( $^{137}\text{Cs} - 500$  Бк/кг,  $^{90}\text{Sr} - 50$  Бк/кг). Концентрация  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$  в грибах не нормируется, однако, согласно ГН СЭТОРБ РК [2], исходя из степени общей радиотоксичности каждого, можно предположить, что допустимые уровни по  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  будут ориентировано на порядок меньше, чем по  $^{90}\text{Sr}$  – примерно по 5 Бк/кг. При этом ожидаемая годовая эффективная доза внутреннего облучения населения при потреблении грибов составит ~0,2 мЗв/год, где основной вклад вносит доза от радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  ~84%.

## ЛИТЕРАТУРА

- Минимальные нормы потребления основных продуктов питания для различных социальных групп населения Республики Казахстан.– <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500011944#z4>.
- Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» Республики Казахстан № 201 от 03.02.2012.