

**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}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$ в грибах в сосновом бору на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону (далее – СИП). Установлено, что содержание радионуклидов ^{241}Am и ^{90}Sr в основном находится ниже предела обнаружения используемого аппаратно-методического обеспечения. Содержание ^{137}Cs варьирует от $<0,2$ Бк/кг до 260 ± 50 Бк/кг, значения удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ не превышают $3,7\pm 0,5$ Бк/кг. При этом ожидаемая годовая эффективная доза внутреннего облучения населения при потреблении грибов составит $\sim 0,2$ мЗв/год, где основной вклад вносит доза от радионуклида ^{90}Sr $\sim 84\%$.

The article gives values of activity concentrations of artificial radionuclides ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}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}Am and ^{90}Sr is mainly below the detection limit of the methodological instrumentation employed. The content ^{137}Cs varies from <0.2 Bq/kg to 260 ± 50 Bq/kg, values of $^{239+240}\text{Pu}$ activity concentration do not exceed 3.7 ± 0.5 Bq/kg. At the same time, the expected annual internal exposure dose of the population from mushrooms consumption will be ~ 0.2 mSv/year, in which the main contribution is made by a radionuclide dose from ^{90}Sr equal to $\sim 84\%$.

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

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

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

Ленточный бор Прииртышья расположен на правом берегу 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}Am , ^{137}Cs , ^{90}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 β -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 °С 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 прокалывания 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}Cs , ^{241}Am составляла 400 °С, ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ – 500 °С. После получения золы чашки с золой охлаждались в эксикаторе. Готовая зола просеивалась через сито для удаления примесей, остывший зольный остаток взвешивался, определялся коэффициент озоления.

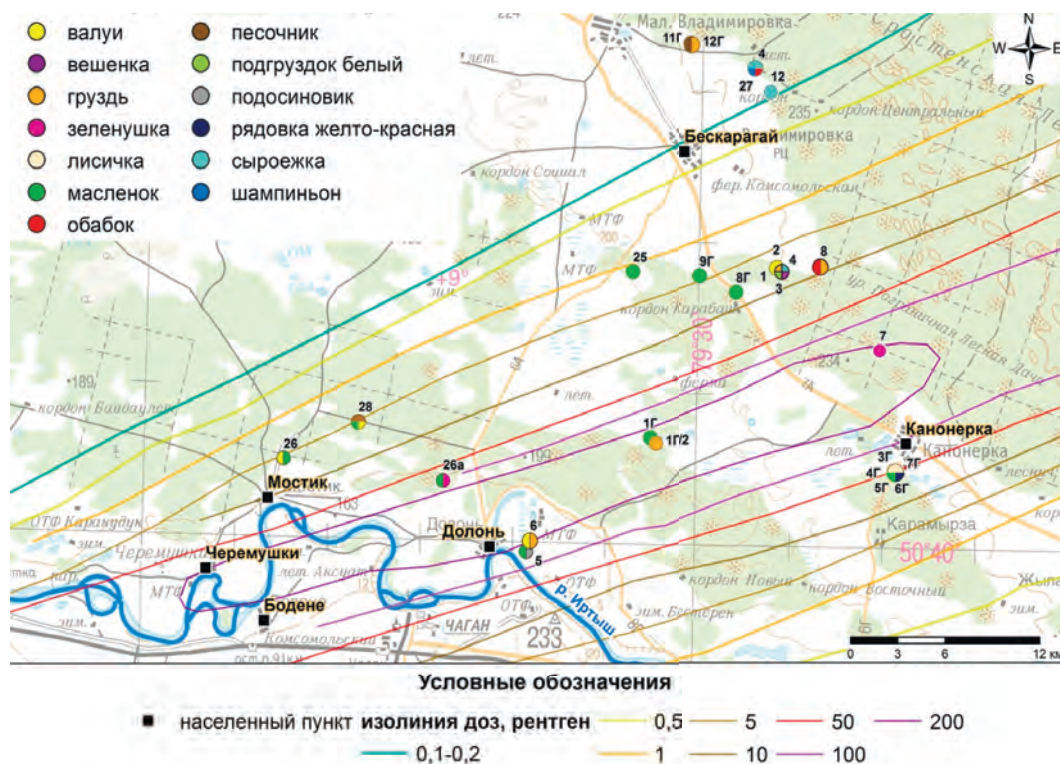


Рисунок 1 – Схема расположения точек отбора исследуемых видов грибов

Пробы почвы высушивались до воздушно-сухого состояния в сушильных шкафах при температуре $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$. 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 угла на угол, распределяли ровным слоем толщиной $(0,5-1,0\text{ см})$ в виде квадрата или прямоугольника. Методом квадратирувания отбиралась навеска пробы.

Определение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am проводилось на гамма-спектрометре Canberra GX-2020, ^{90}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}Am и ^{137}Cs в грибах определялась в обугленных, предварительно измельченных образцах, ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ – в золе, с последующим перерасчетом на сухое вещество. Предел обнаружения ^{241}Am и ^{137}Cs составил 0,5 и 0,2 Бк/кг соответственно, ^{90}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, отобранной сопряженно с грибами, для ^{137}Cs варьируют от $4,3 \pm 0,9$ до 88 ± 19 Бк/кг, ^{90}Sr – от <1 до 20 ± 3 Бк/кг, ^{241}Am – от $<0,5$ до $3,5 \pm 0,7$ Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – от $1,0 \pm 0,5$ до 98 ± 6 Бк/кг. Удельная активность радионуклидов в грибах представлена в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что содержание радионуклида ^{241}Am в грибах находится ниже предела обнаружения используемого аппаратно-методического обеспечения. Единично установленные количественные значения удельной активности радионуклида ^{90}Sr варьируют от $1,3 \pm 0,6$ до 350 ± 110 Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – не превышают $3,7 \pm 0,5$ Бк/кг. Наиболее часто встречаются повышенные значения ^{137}Cs (до 260 ± 50 Бк/кг).

Из-за отсутствия количественных величин удельной активности ^{241}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}Sr – в среднем от $<0,084$ до 0,50 (в отдельных случаях превышают единицу). Наиболее высокие Кн отмечаются для ^{137}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:

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

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

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

q – годовое потребление грибов кг/год;

e_{di} – 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}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ в исследуемых видах грибов

точка отбора	объект исследования	Удельная активность, Бк/кг			
		^{137}Cs	^{90}Sr	^{241}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±1,7	<1	<0,5	1±0,3
	подосиновик	<0,2	<1	<0,5	<0,05
	груздь	<0,2	<1	<0,5	3,7±0,5
5	подосиновик	<0,2	<1	<0,5	<0,05
6	валуй	<0,2	<1	<0,5	<0,05
8	груздь	1,6±0,3	350±110	<0,5	<0,05
12	сыроежка	1,4±0,4	<1	<0,5	1,1±0,2
26	маслёнок	220±40	<1	<0,5	<0,05
26а	маслёнок	260±50	<1	<0,5	<0,05
27	шампиньон	1±0,2	40±6	<0,5	<0,05
28	маслёнок	110±20	<1	<0,5	<0,05
	песочник	12±2	<1	<0,5	0,28±0,04
1Г	маслёнок	4,3±0,9	1,3±0,6	<0,5	0,5±0,1
3Г	маслёнок	11±2	<1	<0,5	<0,05
4Г	маслёнок	12±2	<1	<0,5	<0,05
5Г	маслёнок	8,2±1,6	<1	<0,5	<0,05
6Г	маслёнок	74±15	<1	<0,5	0,057±0,018
7Г	лисички	18±4	<1	<0,5	<0,05
8Г	маслёнок	91±18	<1	<0,5	<0,05
9Г	маслёнок	19±4	<1	<0,5	<0,05
11Г	груздь	0,7±0,2	<1	<0,5	<0,05
12Г	песочник	11±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}Cs	^{90}Sr	^{241}Am	$^{239+240}\text{Pu}$
Удельная активность радионуклидов в грибах ($A_{\text{м}}$), 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 ($e_{\text{м}}$), 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}Sr ~84%.

В результате исследований, проведенных в сосновом бору на территории, прилегающей к СИП, установлено, что содержание радионуклидов ^{241}Am и ^{90}Sr в основном находится ниже предела обнаружения используемого аппаратно-методического обеспечения. Содержание ^{137}Cs варьирует от <0,2 Бк/кг до 260±50 Бк/кг, значения удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ не превышают 3,7±0,5 Бк/кг. В целом, полученные количественные значения удельной активности радионуклидов в грибах не превышают допустимый уровень (^{137}Cs – 500 Бк/кг, ^{90}Sr – 50 Бк/кг). Концентрация $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}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}Am будут ориентировочно на порядок меньше, чем по ^{90}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}Sr ~84%.

ЛИТЕРАТУРА

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