**ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА СМЕРТНОСТЬ
ДВУХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП НАЗЕМНЫХ МОЛЛЮСКОВ F. FRUTICUM
INFLUENCE OF GAMMA IRRADIATION ON THE MORTALITY
OF TWO AGE GROUPS OF TERRESTRIAL MUSCLUS F. FRUTICUM**

**Л. А. Трофимова¹, Е. Е. Черкасова¹, Г. В. Лаврентьева^{1,2}, Б. И. Сынзыныс¹
L. Trofimova¹, E. Cherkasova¹, G. Lavrentyeva^{1,2}, B. Synzynys¹**

¹Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия

²Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, г. Калуга, Россия
Protasova.2010 @ gmail.com

¹Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering of the National Research Nuclear University “MEPhI”, Obninsk, Russia

²Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch), Kaluga, Russia

Проведены лабораторные исследования по выявлению влияния γ -облучения на смертность наземного моллюска *F. Fruticum* в диапазоне доз от 10 Гр до 100 Гр с шагом 10 Гр. Впервые определен показатель ЛД_{50/60} для данного вида моллюсков. Выявлено увеличение смертности животных как с увеличением дозы облучения, так и со временем после облучения. Отмечается увеличение показателя смертности в группе моллюсков, облученных малыми дозами, в отдаленное время после облучения.

Laboratory studies were conducted to identify the effect of gamma radiation on mortality of the terrestrial mollusk *F. Fruticum* in the range of doses from 10 Gy to 100 Gy in increments of 10 Gy. For the first time, the LD_{50 / 60} index was determined for this type of mollusk. It was revealed the increase in animal mortality both with the increase in the radiation dose and with the time after irradiation. There is the increase in the mortality rate in the group of mollusks irradiated with small doses in the remote time after exposure.

Ключевые слова: наземный моллюск *Fruticola Fruticum*, гамма-облучение, смертность, ЛД_{50/60}, малые дозы, среднее дозы, высокие дозы.

Keywords: terrestrial mollusk *Fruticola fruticum*, gamma irradiation, mortality, LD_{50 / 60}, low doses, medium doses, high doses.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-1-373-375>

В настоящее время все большую актуальность приобретает экокентрический принцип нормирования радиационного фактора. В основе оценки радиационного воздействия на биоту лежит предложенная Международной комиссией по радиологической защите (далее–МКРЗ) концепция «условных (референтных) животных и растений» [1]. Предложенный Комиссией набор референтных видов не является окончательным и требует расширения. Таким образом, научное обоснование референтных видов посредством экспериментальных и аналитических исследований актуально для развития экокентрической концепции. Ввиду этого необходимо обоснование новых видов референтных животных и растений при проведении как натурных, так и лабораторных исследований.

В данной работе представлены результаты лабораторного эксперимента, в рамках которого проводилось изучение влияния γ -облучения на релевантный показатель – смертность наземного моллюска *F. fruticum*. Следует отметить, что моллюски давно применяются для биоиндикации загрязнений окружающей среды, поскольку они обладают всеми необходимыми параметрами для тест-объекта, таким как: широкая распространенность, большая численность, высокие коэффициенты накопления радионуклидов и тяжелых металлов, доступность, короткий жизненный цикл, простота идентификации [3]. Следует отметить, что в большинстве научных трудов для биоиндикации загрязнения окружающей среды в качестве тест-объекта в основном используют водных моллюсков, в то время как наземных моллюски остаются менее изученными.

Объектом исследования является наземный моллюск *F. Fruticum*. Это кустарниковая улитка принадлежит к классу брюхоногих (*Gastropoda*), подклассу лёгочных (*Pulmonata*) моллюсков, семейству кустарниковых улиток (*Bradybaenidae*).

Пробоотбор моллюсков осуществлялся на территории Национального парка «Угра» в Калужской области. Для эксперимента были отобраны моллюски первой возрастной группы – сеголетки и второй-третьей возрастной категории – половозрелые особи. Возраст наземных моллюсков определили по количеству оборотов раковины [4]. Всего было отобрано 110 особей. Моллюски помещались в специальные контейнеры, в которых предварительно были сделаны отверстия для поступления воздуха. После чего отобранных животных рассадил в специально

подготовленные контейнеры с кокосовым субстратом и в течение 5 суток проводили акклиматизацию к лабораторным условиям. Через 5 суток провели облучения животных.

Облучение моллюсков проводили на γ - установке ГУР – 120 с поглощенными дозами 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100 Гр, с мощностью поглощённой дозы 30 Гр/ч. Каждая доза для двух групп содержала по пять моллюсков, включая контроль. После облучения раз в неделю в течение одиннадцати месяцев снимались показатели смертности моллюсков. Смертность моллюсков определялась по следующим признакам: не реагирует на орошение водой; мягкое тело находится глубоко в раковине, нет пленки, которая закрывает устье; из раковины вытекает мягкое тело; улитка источает очень неприятный запах; в результате раковина становится пустой.

Для расчета $LD_{50/60}$ был выбран расчетный способ пробит-анализа с применением метода наименьших квадратов [5]. Данный метод основан на построение регрессии по методу наименьших квадратов с использованием данных эксперимента при этом функция заменяется на пробит определяемый по специальной таблице. После чего производится расчет $LD_{50/60}$, $LD_{16/60}$ и $LD_{84/60}$ и определяется стандартная ошибка по формуле предложенной Миллером и Тейнтером. В конце рассчитывается 95% доверительный интервал.

Экспериментальные данные были разделены на 4 периода: летний (первые два месяца эксперимента), осенний (с третьего по пятый месяц эксперимента), зимний (с шестого по восьмой месяц эксперимента) и весенний (с восьмого по одиннадцатый месяц эксперимента). Для интерпретации экспериментальных данных диапазон доз от 10 Гр до 100 Гр был разделен на группы: дозы от 10 до 30 Гр – малые дозы, от 40 – 60 Гр – среднее дозы и 70 – 100 Гр – высокие дозы.

Экспериментальные данные были обработаны с помощью программного пакета Microsoft Excel 2016.

Анализ экспериментальных данных относительно показателя смертности моллюсков двух возрастных групп показал следующее. Использование наземных моллюсков первой возрастной группы для лабораторных экспериментов нецелесообразно ввиду их высокой чувствительности к изменению показателей окружающей среды, что подтверждается 100%-ой смертностью как облученных моллюсков, так и контрольной группы в первые месяцы эксперимента (табл.).

Таблица – Смертность моллюсков первой возрастной категории (сеголетки)

Неделя	1	2	3	4	5	6	7
Доза, Гр	Смертность %						
10	20	40	40	40	80	100	100
20	20	60	80	80	100	100	100
30	40	60	80	80	80	80	100
40	40	60	80	100	100	100	100
50	40	40	60	80	80	100	100
60	40	40	60	60	80	80	100
70	20	20	40	40	60	80	100
80	40	60	60	60	80	100	100
90	40	40	40	60	60	80	100
100	40	40	60	80	100	100	100
Контроль	40	60	60	80	80	80	100

Установлено, что во второй возрастной группе (половозрелые особи) смертность возрастает в зависимости от увеличения дозы γ -облучения и периода после облучения.

На основании данных эксперимента был определен показатель $LD_{50/60}$, т.е. доза облучения, при которой отмечается 50% смертности особей через 60 дней после облучения. Показатель $LD_{50/60}$ для наземного моллюска *F.fruticum* имеет значение 61–119 Гр.

В первый период после облучения (первые два месяца эксперимента) смертность была зафиксирована только у животных, облученных в диапазоне средних и высоких доз. При это в группе с высокими дозами облучения отмечается самый большой процент гибели животных, а именно 35%, в то время как в группе средних доз смертность была равна 6,7%. В группе малых доз и контроле смертность составляет 0% (рис. 1).

В осенний период времени отмечается смертность во всех исследуемых группах моллюсков на фоне нулевого показателя смертности в контроле. Смертность в моллюсков, облученных малыми дозами, составляет 4,4%. Наблюдается дальнейшее увеличение показателя смертности моллюсков, облученных средними и высокими дозами. При этом смертность относительно предыдущего временного периода увеличилась в 2,7 и 1,6 раза и составила 17,8 % и 55 % для моллюсков, облученных средними и высокими дозами, соответственно (рис. 2).

На протяжении следующих трех месяцев эксперимента в зимний период смертность моллюсков в группах так же возрастала (рис. 3). У моллюсков, получивших малые дозы облучения, смертность увеличилась в 2 раза и соответствует 8,8 % относительно осеннего периода. В группе средних доз смертность увеличилась в 1,9 раз

относительно предыдущего периода, что соответствует 33,3 %, а группе высоких доз смертность возросла в 1,3 раза и имела значение 70%. В контроле смертность моллюсков не обнаружена.

В последний весенний период эксперимента отмечается резкое увеличение показателя смертности у моллюсков, облученных в диапазоне малых доз (рис. 4). При этом смертность моллюсков увеличилась в 3 и 6 раз относительно предыдущего периода и осеннего периода, соответственно. К концу наблюдений смертность моллюсков, облученных малыми дозами составила 26,7%. В группе моллюсков, облученных средними дозами, смертность осталась на том же уровне. В группе животных с высокими дозами облучения показатель смертности увеличился на 6,7 % относительно зимнего периода. В контрольной группе смертность моллюсков не выявлена (рис. 4).

Рисунок 1 – Смертность моллюсков в летний период

Рисунок 2 – Смертность моллюсков в осенний период

Рисунок 3 – Смертность моллюсков в зимний период

Рисунок 4 – Смертность моллюсков в весенний период

Таким образом, γ -облучение в диапазоне доз от 10 до 100 Гр оказывает влияние на показатель смертности моллюсков *F.fruticum*. При этом смертность животных возрастает как в зависимости от доз облучения, так и с течением времени после облучения на фоне нулевого показателя смертности в контрольной группе.

Выводы:

- использование наземных моллюсков первой возрастной группы для лабораторных экспериментов нецелесообразно ввиду их высокой чувствительности к изменению показателей окружающей среды, что подтверждается 100%-ой смертностью как облученных моллюсков, так и контрольной группы в первые месяцы эксперимента;
- показатель $LD_{50/60}$ для половозрелого наземного моллюска *F. fruticum* равен 60,71 – 119,27 Гр;
- увеличение дозы γ -облучения приводит к увеличению показателя смертности наземного моллюска *F. Fruticum* половозрелой категории, облученного в диапазоне средних и высоких, что проявляется на протяжении одиннадцати месяцев эксперимента;
- через восемь месяцев после облучения наблюдается влияние малых доз на показатель смертности, что проявляется в увеличении показателя в 3 раза по сравнению с предыдущим периодом.

ЛИТЕРАТУРА

1. ICRP Publication 108. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants // Annals of the ICRP – 2008. – 251 p.
2. ICRP Publication 114. Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants // Annals of the ICRP. – 2009. – 111 p.
3. Экологические основы стабильного развития Прикамья: материалы науч.- прак.конф. – Пермь. – 2000. – 92 с.
4. Платонов, А. Г. Применение метода пробит-анализа в радиобиологии. Расчет полулетальной дозы LD_{50} : учеб.-метод. пособие / А.Г. Платонов, М.Я. Ахалая – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 36 с.

**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.