

3. Матвеев, А.В. Районирование территории Беларуси по степени радоновой опасности грунтов / А.В. Матвеев // Доклады НАН Беларуси. – 2016. – Т. 60, № 5. – С. 108–112.

4. Чунихин, Л.А. Карта радоновой опасности территории Республики Беларусь / Л.А. Чунихин, А.Л. Чеховский, Д.Н. Дроздов // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9. – № 4. – С. 43–46.

5. Методика определения объемной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц: МВИ. № 1808-2002. – Минск, 2002. – 18 с.

## ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ ЧЕЛОВЕКА ПРИ УПОТРЕБЛЕНИИ В ПИЩУ МЯСА ДИКИХ ЖИВОТНЫХ, ДОБЫТЫХ В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

### ESTIMATION OF HEALTH RISK FOR PERSON CONSUMING BUSHMEAT TAKEN AT THE CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

**B. Н. Калинин, В. Н. Забродский**

**V. N. Kalinin, V. N. Zabrotski**

*Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник»*

*Хойники, Республика Беларусь*

*zapovednik.nauka@mail.ru*

*The state nature protection research establishment «Polesski state radiation-ecological reserve»  
Khoiniki, Republic of Belarus*

Результаты исследования содержания  $^{137}\text{Cs}$  в образцах мяса диких животных, добытых на территории зоны отчуждения в рамках охотничьих туров, показали, что эта величина может изменяться в широком диапазоне. На основе гигиенических нормативов с использованием дозовых коэффициентов были рассчитаны возможные дозы внутреннего облучения, связанные с употреблением (в соответствии с составом потребительской корзины) в пищу мяса диких животных, а также величины годового риска здоровью человека. При употреблении в пищу мяса диких животных, соответствующего гигиеническому нормативу, величина годового риска не превышает граничное значение обобщенного риска, равное  $1,0 \times 10^{-5}$  год $^{-1}$  для населения.

According to the gamma-spectrometry analysis measurements of the bushmeat samples taken by hunters in exclusion zone  $^{137}\text{Cs}$  activity concentration could reach the value of 3 kBq/kg. The probable effective doses of the internal irradiation of the bushmeat consumers were calculated according to the consumer basket and using the dose coefficients (dose per unit exposure). In case of the consumption of the bushmeat that meets the hygienic level the radiation risk of cancer mortality will not exceed the value of the generalised risk equal  $1,0 \times 10^{-5}$  year $^{-1}$  for the population.

*Ключевые слова:*  $^{137}\text{Cs}$ , дикие животные, зона отчуждения, пища, дозовые коэффициенты, риск, гигиенический норматив.

*Keywords:*  $^{137}\text{Cs}$ , wild animals, exclusion zone, food, dose coefficient, risk, hygienic specification.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-263-266>

В связи со снятием антропогенной нагрузки в 30-км зоне создались благоприятные условия для развития растительного мира и восстановления животного мира. В заповеднике наблюдаются 61 вид млекопитающих, 233 вида птиц, включая 42 вида оседлых, 33 вида рыб, 7 видов рептилий, 11 видов земноводных. По данным учета численности диких животных, проведенного в начале 2020 года, на этой территории обитает 1224 лося, 1980 оленей, 704 косуль, 320 кабанов, около 100 волков.

Распоряжением Президента Республики Беларусь от 7 августа 2019 г. № 147 «О предоставлении охотничьих угодий» охотничьи угодья экспериментально-хозяйственной зоны предоставляются в безвозмездное пользование заповеднику для ведения охотничьего хозяйства. При этом к нормируемым видам охотничьих животных относятся лось, олень благородный, косуля европейская, бобр, выдра [1]. После добычи животного представитель охотпользователя (руководитель охоты – ведущий охотовед, егерь) осуществляет отбор проб мышечной ткани и доставляет их в лабораторию для определения содержания  $^{137}\text{Cs}$ . По результатам измерения составляется протокол (ведомость испытаний), содержащий заключение о соответствии либо не соответствием предоставленного

образца гигиеническому нормативу (РДУ 99) Накопленные к настоящему времени результаты определения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в исследованных образцах приведены в таблице 1.

Для определения соответствия содержания  $^{137}\text{Cs}$  установленным требованиям сумма полученного значения удельной активности и его неопределенности сравнивалась с нормативным значением. Образцы 3 и 7, 7А, 8, 9 и 12 по результатам анализа признаны не соответствующими гигиеническому нормативу, туша животного в этом случае отправлялась на утилизацию.

Мясная продукция, прошедшая радиационный контроль и соответствующая республиканским допустимым уровням, передаётся охотнику с последующей оплатой разрешения на добывчу охотничьего животного по окончанию охотничьего тура.

*Таблица 1 – Удельная активность  $A_y$   $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в органах/тканях лося и олена, добывших охотниками в 2020 г.*

№ п/п	Наименование образца	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	$^{90}\text{Sr}$ , Бк/кг
1	Мышечная ткань оленя благородного	89,0±21,0	–
2	Мышечная ткань лося	99,5±26,5	–
3	Мышечная ткань лося	2812±562	95±41
4	Мышечная ткань лося	377±101	<121
5	Мышечная ткань лося	221±61	<40
6	Мышечная ткань лося	50,0±16,0	<35
7	Мышечная ткань лося	466±93	<31
7А	Печень лося	652±140	<20
8	Мышечная ткань лося	862±172	<50
9	Мышечная ткань олена	880±176	<52
10	Мышечная ткань олена	256±57	<85
11	Мышечная ткань олена	156±34	<45
12	Мышечная ткань олена	1859±492	<35

Основная трудность дозиметрии внутреннего облучения состоит в невозможности прямыми методами измерения непосредственно зарегистрировать дозу внутреннего облучения тела или критического органа.

Процесс определения дозы можно разбить на 2 части:

- определение активности радионуклида в организме;
- последующий расчет дозы облучения с учетом метаболизма радионуклида за тот или иной промежуток времени.

Инкорпорированную активность в теле человека определяют тремя способами.

Первый – измерение концентрации радионуклида в источнике поступления (воздух, вода, продукты питания) с последующим расчетом отложения и удержания в организме. *Достоинства метода* – простота приборного обеспечения и широкое применение для целей группового радиационного контроля. *Недостатки* – значительная погрешность в определении доз внутреннего облучения (в несколько раз) из-за невозможности учета индивидуального потребления (продуктов питания, объема воздуха, прошедшего через легкие и т. д.), реальных характеристик поступающего радионуклида (дисперсность аэрозолей, их физико-химические свойства и т. д.), индивидуальных параметров усвоения.

Второй – определение радиоактивности в биологических субстратах (моче, кале, крови, волосах, зубах и т. д.) с последующим пересчетом на основании принятых моделей метаболизма. *Достоинства метода* – возможность оценки доз внутреннего облучения за счет  $\alpha$ -излучателей и низкоэнергетических  $\beta$ -излучателей. *Недостатки* – высокая погрешность (до 100%) из-за индивидуальной биологической или суточной вариабельности выделения.

Третий – прямое измерение содержания радионуклида в организме (органе) регистрацией их проникающего излучения, исходящего из тела человека.

Для наиболее полной оценки вреда, который может быть нанесен здоровью в результате облучения в малых дозах, определяется ущерб, количественно учитывающий как эффекты облучения отдельных органов и тканей тела человека, отличающиеся чувствительностью к ионизирующему излучению, так и всего организма в целом. В соответствии с общепринятой в мире линейной беспороговой теорией зависимости риска стохастических эффектов от дозы облучения величина риска пропорциональна дозе облучения и связана с дозой через линейные коэффициенты радиационного риска. Для оценки ожидаемой годовой эффективной дозы облучения на единицу перорального поступления для населения используются дозовые коэффициенты ( $e(g)$ ), приведенные в [2], для возрастной группы риска старше 17 лет для  $^{137}\text{Cs}$   $e(g)_{\text{Cs}} = 1,3 \times 10^{-8}$  Зв/Бк, для  $^{90}\text{Sr}$   $e(g)_{\text{Sr}} = 2,8 \times 10^{-8}$  Зв/Бк.

Таблица 2 – Ожидаемые эффективные дозы облучения на единицу перорального поступления для населения

Нуклид	Физический полураспад	$f_l$	e(g), Зв/Бк для лиц старше 1 года				
			1–2 года	2–7 лет	7–12 лет	12–17 лет	>17 лет
Sr-90	29,1 года	0,300	$7,3 \times 10^{-8}$	$4,7 \times 10^{-8}$	$6,0 \times 10^{-8}$	$8,0 \times 10^{-8}$	$2,8 \times 10^{-8}$
Cs-137	30,0 года	1,000	$1,2 \times 10^{-8}$	$9,6 \times 10^{-9}$	$1,0 \times 10^{-8}$	$1,3 \times 10^{-8}$	$1,3 \times 10^{-8}$

Где  $f_l$  – коэффициент переноса для кишечника,  $e(g)$  – ожидаемая эффективная доза на единицу перорального поступления, Зв/Бк для различных возрастных групп населения.

Годовую эффективную дозу внутреннего облучения ( $H_{nuc}$ ), связанную с потреблением пищевого продукта, содержащего  $^{137}\text{Cs}$ , для взрослого населения, можно рассчитать по формуле [3]:

$$H_{nuc} = A_y \cdot M_{coo} \cdot f_l \cdot e(g)_{Cs} \cdot B,$$

где  $A_y$  – удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в пищевом продукте,  $M_{coo}$  – годовое потребление пищевого продукта,  $f_l$  – коэффициент переноса для кишечника,  $B$  – коэффициент, учитывающий потери радионуклида при кулинарной обработке.

В соответствии с составом потребительской корзины в Беларуси годовое потребление говядины мужчиной старше 18 лет составляет 21,4 килограмма. Если считать, что вместо говядины будет употребляться мясо диких животных, то можно оценить соответствующую дозу внутреннего облучения и величину риска для человека, используя коэффициенты номинального риска.

Таблица 3 – Коэффициенты номинального риска с учетом вреда рака и наследственных заболеваний

Облучаемая группа населения	Коэффициент риска злокачественных новообразований, $\times 10^{-2}$ Зв $^{-1}$	Коэффициент риска наследственных эффектов, $\times 10^{-2}$ Зв $^{-1}$	Сумма, $\times 10^{-2}$ Зв $^{-1}$
Все население	5,5	0,2	5,7
Взрослые	4,1	0,1	4,2

Годовая доза внутреннего облучения рассчитана из объема годового потребления мяса диких животных 21,4 кг и коэффициента, учитывающего потери радионуклида при кулинарной обработке,  $B=0,5$ . В таблице 4 также приведены соответствующие этим дозам значения годового риска.

Таблица 4 – Годовая доза внутреннего облучения и соответствующие этим дозам значения годового риска

	$A_y$ Бк/кг	Годовая доза, мЗв	Риск, 1/год
Минимум	50	0,007	$2,92 \times 10^{-7}$
Максимум	377	0,052	$2,20 \times 10^{-6}$
Результаты, не соответствующие гигиеническому нормативу			
Минимум	466	0,065	$2,72 \times 10^{-6}$
Максимум	2812	0,391	$1,64 \times 10^{-5}$

Оценить величину риска, связанного с употреблением в пищу мяса диких животных, содержащих  $^{137}\text{Cs}$ , можно, используя коэффициенты радиационного риска. Коэффициенты номинального риска с учетом вреда злокачественных новообразований и наследственных заболеваний приведены в [2]. «Расчет риска возникновения злокачественных новообразований и наследственных заболеваний для конкретной возрастной группы населения производится путем умножения средней величины средней годовой эффективной дозы в течение периода облучения на соответствующий коэффициент риска» [4].

Используя такой подход, можно показать, что максимальная величина радиационного риска, связанная с потреблением мяса диких животных (21,4 кг/год), содержащих  $^{137}\text{Cs}$  в количествах, не превышающих допустимые уровни (500 Бк/кг), для взрослого населения составит  $2,2 \times 10^{-6}$  год $^{-1}$ . Это значение не превышает граничное значение обобщенного риска, используемое при обосновании защиты от источников потенциального облучения в течение года, равное  $1,0 \times 10^{-5}$  год $^{-1}$  для населения [5].

В случае годового потребления в пищу 80 кг мяса животного № 3 из таблицы 1 (содержание  $^{137}\text{Cs}$  - 2812 Бк/кг) годовая доза составит 2,9 мЗв, а максимальная величина радиационного риска достигнет  $1,2 \times 10^{-4}$  год $^{-1}$ , что более чем в десять раз превысит допустимое значение обобщенного риска равное  $1,0 \times 10^{-5}$  год $^{-1}$  [5]. Следовательно, употребление в пищу мяса диких животных, добывших браконьерами на территории зоны отчуждения, будет представлять реальную угрозу здоровью населения.

Задача дозиметрии внутреннего облучения остается актуальной и в настоящее время, спустя 35 лет после аварии на Чернобыльской АЭС, в особенности это относится к категориям населения младше 17 лет. Основным методом решения задачи дозиметрии внутреннего облучения является использование спектрометров излучения человека (СИЧ), в частности аппаратуры производства НПО «АТОМТЕХ». Более сложной является задача оценки дозы внутреннего облучения человека, связанная с содержанием в пище трансурановых элементов. Однако актуальность этой проблемы снижается вследствие низкого содержания трансурановых элементов в органах

и тканях диких животных и тем, что по причине малой растворимости трансурановые элементы плохо усваиваются в организме человека.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Охота/ [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://zapovednik.by/oxota>. – Дата доступа: 14.03.2021.
2. Критерии оценки радиационного воздействия / [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: [https://radbez.bsmu.by/library/GN\\_2012.pdf](https://radbez.bsmu.by/library/GN_2012.pdf). - Дата доступа: 14.03.2021.
3. Методика оценки радиационных рисков на основе данных мониторинга радиационной обстановки / [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293754/4293754569.htm>. – Дата доступа: 13.01.2020.
4. МУ 2.1.10.3014–12 Оценка радиационного риска у населения за счет длительного равномерного техногенного облучения в малых дозах/ [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293784/4293784921.pdf>. - Дата доступа: 13.01.2020.
5. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer to wildlife. Technical Reports Series No. 479 International Atomic Energy Agency. Vienna, 2014. – 217 p.

## **ОБЗОР МЕТОДИКИ РАСЧЕТА РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ, ПРИМЕНЯЕМОЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

### **REVIEW OF THE METHOD FOR CALCULATING RADIATION PROTECTION FOR MODERN ELECTRON ACCELERATORS**

***E. V. Кемеш<sup>1</sup>, M. N. Пяткевич<sup>1,2</sup>, E. В. Преображенская<sup>2</sup>***  
***E. Kemesh<sup>1</sup>, M. Piatkevich<sup>1,2</sup>, E. Preobrazhenskaya<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*Белорусский Государственный Университет, МГЭИ им. А.Д.Сахарова БГУ  
Минск, Республика Беларусь  
kemesh.jenya@gmail.com*

<sup>2</sup>*Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии  
им. Н.Н. Александрова, Минский район, Республика Беларусь  
preobrazhenskaya\_e@inbox.ru*

<sup>1</sup>*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus  
<sup>2</sup>*State Institution «N. N. Alexandrov National  
Cancer Centre of Belarus», Minsk region, Republic of Belarus**

В представленной работе обозревается методика расчета стационарной радиационной защиты, применяемая в Республике Беларусь. Описывается расчет стационарной радиационной защиты от прямого и рассеянного фотонного излучения, а также при необходимости от прямого и рассеянного нейтронного излучения. Методика написана в соответствии с СанПиН 2.6.12-34-2006.

The presented work reviews the methodology for calculating stationary radiation protection used in the Republic of Belarus. The calculation of stationary radiation protection from direct and scattered photon radiation, as well as, if necessary, from direct and scattered neutron radiation is described. The methodology is written in accordance with the Sanitary Rules and Regulations 2.6.12-34-2006.

*Ключевые слова:* радиационная безопасность, радиационный контроль, мощность дозы.

*Keywords:* radiation safety, radiation control, dose rate.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-266-269>

Современные линейные ускорители электронов используются для проведения лучевой терапии с целью уничтожения злокачественных новообразований. Лучевая терапия основана на взаимодействии ионизирующего излучения (ИИ) с веществом. Поскольку не вся отпущененная доза поглощается опухолью, необходимо минимизировать действие ИИ на других пациентов и персонал.

Стационарные средства радиационной защиты помещения (стены, пол, потолок, защитные двери и др.), в котором установлен источник ионизирующего излучения, должны обеспечивать ослабление ионизирующего излучения в каждом из этих помещений до уровня, при котором не будет превышен основной предел дозы для