

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРМЕР
ПО КРИТЕРИЮ НАКОПЛЕННОЙ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ**

Чунихин Л. А., Дроздов Д. Н.

Учреждение образования

«Гомельский государственный медицинский университет»

Учреждение образования

«Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»

г. Гомель, Республика Беларусь

Предложен метод оценки эффективности контрмер на загрязнённых черновыльскими радионуклидами территориях. Разработана модель, основанная на результатах СИЧ-измерений жителей, загрязнённых черновыльскими радионуклидами НП Республики Беларусь за период 1887–2010 гг., согласно которой вся территория РБ разбита на регионы, однородные по факторам, влияющим на формирование дозы внутреннего облучения. Для регионов, однородных по дозоформированию, построены регрессионные линейные зависимости дозы от плотности загрязнений. Модельные и экспериментальные по результатам СИЧ-измерений зависимости имеют разный угол наклона, который в работе трактуется, как влияние контрмер. Предложен т. н. «фактор контрмер» для оценки эффективности контрмер в различных регионах РБ.

Ключевые слова: цезий-137, доза внутреннего облучения человека, плотность загрязнения территории РБ черновыльскими радионуклидами, контрмеры, регрессионная зависимость.

Введение

На территории, загрязнённой радиоактивными выпадениями в результате аварии на ЧАЭС, проживает несколько миллионов человек, подвергшихся радиоактивному воздействию в различной степени. Дозы облучения определяют основные медико-биологические последствия пострадавшего от радиационного воздействия населения. Базовой пространственной структурой для реконструкции дозы облучения лиц из белорусского Государственного регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации, вследствие катастрофы на ЧАЭС является населённый пункт (НП) проживания. Основой для реконструкции в данном случае являются оценки средних доз жителей НП, полученные по моделям, основанные на результатах СИЧ-измерений.

Реконструкция дозы опирается, в основном, на расчетные методы, верифицированные на результатах инструментальных измерений [1].

Мощность дозы внешнего облучения монотонно снижается вследствие распада радионуклидов, заглубления их по профилю почвы, контрмер; закономерности изменения ожидаемой дозы внутреннего облучения являются более сложными, менее прогнозируемыми, вследствие нерегулярности изменения и зависит от большого числа факторов, в том числе и от эффективности контрмер.

Эффективность проведенных контрмер трудно оценить, вследствие различий в радиационной обстановке в НП, возможностей, объемов и времени проведения противорадиационных мероприятий, а также в соблюдении населением вводимых ограничений на разных территориях.

Цель работы :

Оценка эффективности проведенных контрмер в масштабе регионов и административных районов, расположенных на загрязнённых черновыльскими радионуклидами территориях. Эффективность контрмер оценивалась по величинам предотвращенных доз внутреннего облучения жителей НП Республики Беларусь за период *Материалы* 1987–2010 *игт* **методы.**

Материалами для проведения сравнительных оценок являлись средние эффективные дозы облучения жителей НП Республики Беларусь. Данные СИЧ-измерений были взяты из банка данных Государственного дозиметрического регистра за период 1987–2010 гг. Информация по плотности загрязнения ^{137}Cs была предоставлена Департаментом по гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды. Реконструкция средних накопленных доз внутреннего облучения жителей НП была проведена с использованием методологических подходов [1]. Показано, что молочный компонент дозы уменьшается вследствие проведенных контрмер и радиационного улучшения пастбищного хозяйства, тогда как уровень загрязнения даров леса практически не меняется. В течение послеаварийного периода менялось отношение людей к существующим запретам на потребление загрязнённых пищевых продуктов, особенно «даров леса». Динамика средних, нормированных на плотности выпадения ^{137}Cs в населенных пунктах, доз внутреннего облучения взрослых жителей для трех регионов Беларуси с различными условиями формирования доз внутреннего облучения, приведена в работах [2,4]. Было показано, что после 1991 года динамика средних ожидаемых нормированных доз носит нерегулярный характер. Среднюю накопленную дозу внутреннего облучения для k -го НП j -го региона с 1987 г. рассчитывали по соотношению:

$$E_{jk} = \sum_{i=1}^n \sigma_{ik} \cdot K_{ij} \quad (1)$$

где E_{jk} — накопленная доза внутреннего облучения в k -м НП j -го региона, мЗв;

K_{ij} — значение приведенной дозы j -го региона в i -й год, мЗв·м²/кБк;

σ_{ik} — плотность загрязнения территории НП ^{137}Cs , кБк/м².

Поправки на влияние фактора леса вносили с помощью поправочных коэффициентов, определяемых по процедуре, изложенной в работе [2].

Для анализа влияния лесного фактора на величину дозы внутреннего облучения весь период после аварии был разбит на четыре характерных временных отрезка: 1987–1993 гг., 1994–1998 гг., 1999–2004 гг., 2005 г. и по настоящее время.

Результаты и обсуждение

Зависимости поправочного коэффициента $K_{\text{попр}}$ от удельной площади леса в виде линейных регрессий для выделенных четырех временных отрезков, рассчитанные по процедуре, описанной в работе [2], приведены на рисунке 1.

Для апробации результатов модельных расчетов были сформированы три выборки сравнения (по 1-й для каждого региона) из НП, в которых имелись статистически обоснованные значения средней дозы внутреннего облучения жителей, полученные по результатам СИЧ-измерений.

Сравнение расчетных (по модели) оценок и основанных на результатах СИЧ-измерений средних накопленных доз внутреннего облучения жителей НП для этих выборок показало, что для НП с небольшими значениями плотности загрязнения модельные оценки, в основном, ниже СИЧ-оценок, а для НП с высокими уровнями загрязнения модельные оценки выше.

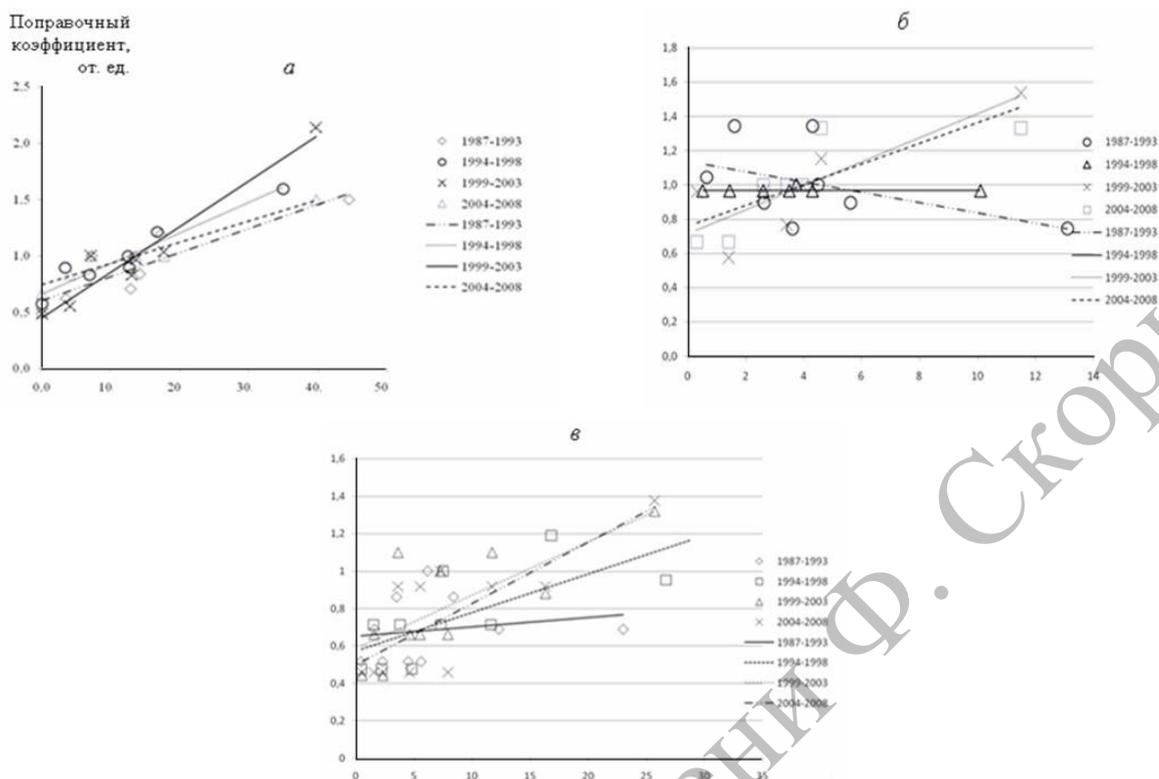


Рисунок 1 — Зависимости величин и регрессий поправочных коэффициентов от удельной площади леса: а — регион 1, б — регион 2, в — регион 3

Мы предположили, что различия между модельными и экспериментальными оценками от плотности загрязнения обусловлено непредставительностью выборок сравнения по отношению к исходным выборкам «золотого стандарта» по эффективности контрмер. Практически во всех НП в той, или иной степени были применены противорадиационные контрмеры, имеющие различную эффективность по критерию снижения дозы. Объем и эффективность контрмер коррелирует с величиной плотности загрязнения НП, поэтому мы предложили модифицирующий фактор, т. н. фактор контрмер, для коррекции модельных значений в виде обратной показательной функции вида:

$$F_c = \frac{m}{z_k^n - 0,5}$$

значений в виде обратной показательной функции вида:

(3)

где F_c — безразмерный фактор контрмер;

m — коэффициент пропорциональности равный для региона 1 — 1,4, региона 2 и 3 — 1;

z —

— величина, численно равная плотности загрязнения НП в 1986г., деленная на 37, отн. ед.;

n — показатель степени, равный 0,5 для региона 1; 0,6 для региона 2 и 0,33 для региона 3.

Результирующее значение средней эффективной накопленной дозы внутреннего облучения жителей НП Республики Беларусь можно рассчитать следующим образом :

$$E_{j,k} = F_c \cdot K_{попр.k} \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ik} \cdot K_{ij}$$

(4)

Анализ результатов, полученных на выборках сравнения для трех регионов, показал, что можно адекватно и корректно оценить средние эффективные накопленные дозы внутреннего облучения жителей НП Республики Беларусь. Результаты сравнения средних доз внутреннего облучения по критерию Манна-Уитни, оцененных по данным обследования жителей на СИЧ и модельных оценок представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Статистические характеристики выборок сравнения

Регион	Средняя доза внутреннего облучения, мЗв	P-уровень
--------	---	-----------

	СИЧ	модель	
1	$8,6 \pm 0,62$	$8,9 \pm 0,60$	0,72
2	$3,1 \pm 0,22$	$3,3 \pm 0,11$	0,41
3	$3,2 \pm 0,33$	$3,5 \pm 0,31$	0,63

Модельные оценки, как показано в таблице, имеют небольшой консерватизм. Зависимости кинетики дозового показателя во времени [2] получены на измеренных данных большой статистической мощности для выборок, представительных по отношению к совокупности НП из Каталога-2009 [3].

Заключение

Использование для оценки эффективности контрмер 10 % НП с самыми низкими плотностями загрязнения и 10 % НП с самыми высокими привело к следующим значениям эффективности контрмер по дозе внутреннего облучения в интервале 1987–2010 гг.: для 1 региона составляет 2,0, 2–3,5, 3–2,5. Снижение накопленной дозы внутреннего облучения вследствие проведения противорадиационных мероприятий составляет для Полесского региона — 2 раза, Центрального — 3,5 раза, Северо-Восточного — 2,5 раза. Наибольшая эффективность контрмер проявилась в Брагинском, Наровлянском и Хойникском районах (более 3 раз) вследствие наиболее раннего начала и большого объема проведенных контрмер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Реконструкция среднегрупповых и коллективных накопленных доз облучения жителей населенных пунктов Беларуси, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС: утв. гл. сан. вр. Республики Беларусь В. И. Ключеновичем 30.06.2002 г. — Минск, 2002. — 41 с.
2. Власова, Н. Г. Статистический анализ результатов СИЧ-измерений для оценки дозы внутреннего облучения сельских жителей в отдаленный период аварии на ЧАЭС / Н. Г. Власова, Д. Н. Дроздов, Л. А. Чунихин // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2009. — № 4. — С. 397–406.
3. Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населённых пунктов Республики Беларусь / Н. Г. Власова [и др.]; утв. М-ством здравоохранения Республики Беларусь 7.07. 2009 г. — Гомель: РНПЦ РМиЭЧ, 2009. — 86 с.
4. Мониторинг текущих доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов, расположенных на территориях загрязненных радионуклидами вследствие аварии на ЧАЭС. Инструкция по применению № 0510809: утв. Минздравом РБ 19.03.2010 г., Гомель, 2010. — 13 с.