

**ПРОГНОЗ ТЕКУЩИХ И НАКОПЛЕННЫХ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ
НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Дроздов Д. Н.¹, Чунихин Л. А.²

¹Учреждение образования

«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

²Учреждение образования

«Гомельский государственный медицинский университет»,

г. Гомель, Республика Беларусь

Введение

На территории, загрязненной радиоактивными выпадениями в результате аварии на ЧАЭС, проживало несколько миллионов человек, подвергшихся радиоактивному воздействию в различной степени. Основой для реконструкции являются оценки средних доз жителей населенных пунктов (НП), наименее отличающиеся от измеренных значений, полученных инструментальными методами. Реконструкция дозы опирается, в основном, на расчетные методы, подкрепляемые результатами инструментальных измерений [1]. Доза внешнего облучения монотонно снижается вследствие распада радионуклидов, заглупления их по профилю почвы, контрмер; закономерности изменения дозы внутреннего облучения являются более сложными, менее прогнозируемыми, вследствие нерегулярности изменения и зависят от большого числа факторов, в том числе и от эффективности контрмер.

Цель

Разработка математической модели для оценки и прогноза текущих и накопленных доз внутреннего облучения населения по результатам СИЧ-измерений с 1987 г.

Материал и методы исследования

Материалами для проведения сравнительных оценок являлись средние эффективные накопленные дозы облучения жителей НП Республики Беларусь. Данные СИЧ-измерений были взяты из банка данных дозиметрического регистра РНПЦ РМ и Э за период 1987–2010 гг. Информация по плотности загрязнения ¹³⁷Cs была предоставлена Департаментом по гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды. Реконструкция средних эффективных накопленных доз внутреннего облучения жителей НП была проведена в русле развития методологических подходов оценки дозы [2]. Было показано, что основными факторами, влияющими на формирование дозы внутреннего облучения жителей НП, расположенных на загрязненных чернобыльскими радионуклидами территориях, является потребление молока и пищевых продуктов леса, особенно грибов. При этом молочный компонент дозы уменьшается вследствие проведенных контрмер и радиационного улучшения пастбищного хозяйства; в то время как уровень загрязнения даров леса практически не меняется. Потребление даров леса жителями сельских НП в значительной степени варьирует в зависимости от урожайности грибов и лесных ягод. В течение послеаварийного периода менялось отношение людей к существующим запретам на потребление загрязненных пищевых продуктов, особенно «даров леса». Выделены основные факторы формирования дозы внутреннего облучения: коэффициенты перехода из почвы в молоко, кислотность почв, удельная площадь леса в ареале НП. Используя обоснованный в работе [2] методический подход, было получено изменение доз внутреннего облучения взрослых жителей загрязненных чернобыльскими радионуклидами НП во времени по результатам СИЧ-измерений, для трех регионов, отличающихся по условиям формирования дозы. На рисунке 1 приведены средние по годам значения дозы внутреннего облучения жителей НП, отнесенные к плотности загрязнения территории проживания, для трех регионов: Полесье (регион 1), Центр (регион 2) и Север-Восток (регион 3).

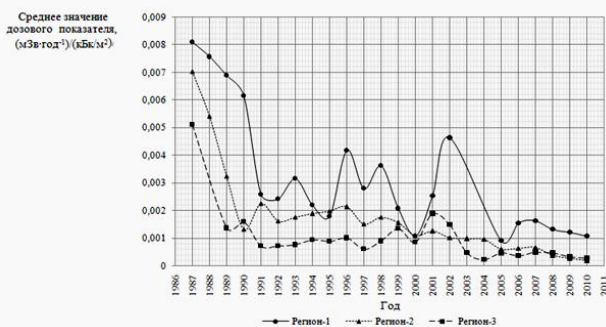


Рисунок 1 — Изменение приведенной дозы внутреннего облучения в период 1987–2008 гг. по данным массовых СИЧ-измерений

Для получения средних значений приведенной дозы (доза, деленная на плотность загрязнения), по всем годам СИЧ-измерений, был использован «золотой стандарт», т. е. выборка представительных по отношению к Каталогу доз-2009 [3]. Среднюю накопленную дозу внутреннего облучения для k-го НП j-го региона с 1987 г. можно рассчитать по зависимостям изменения дозы, приведенных на рисунке 1 при помощи следующего выражения:

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

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 ¹³⁷Cs, кБк/м².

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

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальные результаты СИЧ-измерений были аппроксимированы функцией, представляющей сумму двух экспонент вида:

$$Y = A_1 \times \exp(-0,693t / T_{1/21}) + A_2 \times \exp(-0,693t / T_{1/22}) \quad (2)$$

Параметры полученной двухэкспоненциальной зависимости приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Коэффициенты для расчета доз по уравнению 2

Регионы	A_1 , мЗв·м ² /кБк·год	$T_{1/21}$, лет	A_2 , мЗв·м ² /кБк·год	$T_{1/22}$, лет	КК
Полесье	72×10^{-4}	5	24×10^{-4}	31	0,83
Центр	29×10^{-4}	3	17×10^{-4}	12	0,78
С-В	32×10^{-4}	4	26×10^{-4}	15	0,88

Экспериментальные зависимости вместе с соответствующими экстраполяциями приведены на рисунках 2–4.

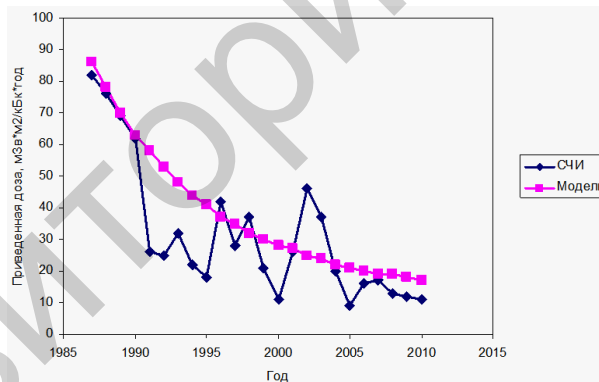


Рисунок 2 — Экстраполяция динамики среднегодовых доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов региона Полесье

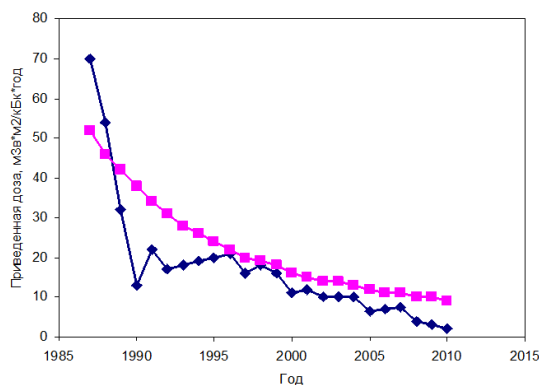


Рисунок 3 — Экстраполяция динамики среднегодовых доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов региона Центр

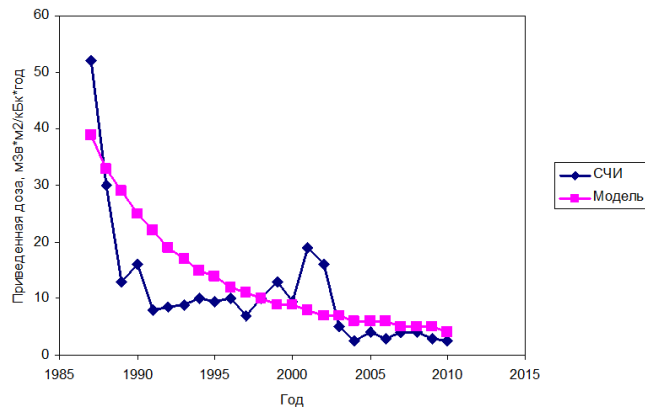


Рисунок 4 — Экстраполяция динамики среднегодовых доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов региона Северо-Восток

Динамика снижения приведенной дозы, аппроксимированной суммой 2-х экспонент имеет разумное объяснение: основные объемы противорадиационных мероприятий в первые годы после аварии были реализованы в регионе Центр, включающий Брагинский, Хойникский и Наровлянский районы. В связи с этим значение периода полууменьшения дозы 1-й экспоненты имеет наименьшее значение. Крупные масштабы и большой объем контрмер были выполнены и в регионе Северо-Восток (Ветковский, Чечерский, Кормянский и др. районы), хотя имела место значительная задержка по времени. Регион Полесье резко отличается от других по условиям дозоформирования. В основном, это объясняется преобладанием почв с аномально высокими коэффициентами почва – растение и пищевые привычки жителей региона, связанные с традиционно высоким потреблением пищевых продуктов леса. Кроме этого, территория региона в меньшей степени загрязнена чернобыльскими радионуклидами, вследствие чего объем проведенных контрмер был меньшим, чем в других регионах. Следует обратить внимание на значение периода полууменьшения дозы 2-й экспоненты для региона Полесье — 31 год. На первый взгляд, это величина является парадоксом, т. к. превышает значение периода полураспада ^{137}Cs . Этот факт означает, что активность дикорастущих грибов и лесных ягод практически не меняется, а потребление в условиях фактического отсутствия запретов на пользование лесом значительно зависит от урожайности «даров леса» [4]. Влияние лесной компоненты дозы также выражено в «пульсирующем» характере изменения ее во времени, характерного для региона Северо-Восток и, особенно, региона Полесье (рисунки 2–4). Различия в значениях экспериментальной и модельной зависимостей для регионов Полесье и Северо-Восток, как лесистых регионов, обусловлены фактором потребления пищевых продуктов леса. Заниженные экспериментальные значения для всех регионов, по сравнению с модельными зависимостями, в первый период времени, как указывалось в работе [5], могут быть интерпретированы как влияние «фактора контрмер».

Заключение

Разработанная в данной работе двухэкспоненциальная модель динамики дозы внутреннего облучения во времени может быть успешно применима для оценки текущих и накопленных доз внутреннего облучения, что подтверждается статистическим анализом (таблица 1). Удобство модели заключается в ее формализации, использование 2-х экспонент позволяет учесть различные закономерности формирования дозы в разные временные отрезки после аварии. Вторая экспонента практически может использоваться для целей прогноза на довольно длительный период.

ЛИТЕРАТУРА

1. Реконструкция среднegrупповых 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 населенных пунктов Республики Беларусь / Н. Г. Власова [и др.]; утв. Министром здравоохранения Республики Беларусь 7.07. 2009 г. — Гомель: РНЦРМиЭЧ, 2009. — 86 с.
4. Дроздов, Д. Н. Динамика изменения дозы внутреннего облучения в зависимости от урожайности дикорастущих грибов / Д. Н. Дроздов, Л. А. Чунихин // Сб. научн. тр. Институт леса НАН РБ, 2013. — С. 451–460.
5. Чунихин, Л. А. Оценка средних эффективных накопленных доз внутреннего облучения жителей РБ, проживающих на загрязненных чернобыльскими радионуклидами территориях по результатам СИЧ-измерений с 1987 г. / Л. А. Чунихин, Д. Н. Дроздов // Радиационная биология и радиоэкология. — 2012. — Т. 52, № 2. — С. 167–174.