

5. Gopher, T. E. P. Minor back injuries / T. E. P. Gopher / Cal. West. Med. — 1934. — Vol. 40, № 4. — P. 234–238.

6. Юрковский, А. М. Есть ли патологический континуум при повреждениях подвздошно-поясничной связки? / А. М. Юрковский // Проблемы здоровья и экологии. — 2012. — № 4. — С. 27–32.

7. Юрковский, А. М. Гистопатологические изменения подвздошно-поясничной связки: диагностическая значимость показателя ядерно-цитоплазматического отношения / А. М. Юрковский, С. Л. Ачинович // Проблемы здоровья и экологии. — 2013. — № 3. — С. 39–43.

Поступила 04.04.2014

УДК-614.876.06:621.039.58

**МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА ТЕКУЩИХ И НАКОПЛЕННЫХ ДОЗ
ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ, СФОРМИРОВАННЫХ С 1987 г.
У НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Л. А. Чунихин, Д. Н. Дроздов

**Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
Гомельский государственный медицинский университет**

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

Материалы и методы. Исследовались результаты СИЧ-измерений из Базы данных РНПЦ РМиЭЧ. Метод включал отбор статистически достоверных средних значений дозы внутреннего облучения в НП. В качестве фактора для получения искомым зависимостей была определена величина приведенной дозы.

Результаты. Экспериментальные данные динамики дозы во времени были аппроксимированы математической моделью в виде суммы двух экспонент, отражающей различные закономерности формирования дозы внутреннего облучения в различные периоды времени после аварии.

Заключение. Разработанная модель имеет достаточно высокий коэффициент корреляции с экспериментальными зависимостями: 0,78–0,88, что позволяет использовать ее с меньшими затратами и приемлемой точностью для разработки Каталогов доз.

Ключевые слова: доза внутреннего облучения, цезий-137, математическая модель, экспоненциальная зависимость, коэффициент корреляции, чернобыльская авария.

**MODEL FOR ASSESSMENT AND PREDICTION OF CURRENT
AND ACCUMULATED INTERNAL IRRADIATION DOSES IN THE POPULATION
OF THE REPUBLIC OF BELARUS SINCE 1987**

L. A. Chunikhin, D. N. Drozdov

**Gomel State University named after F. Skorina
Gomel State Medical University**

Objective: to develop a mathematical model for assessment and prediction of current and accumulated internal irradiation doses in the population since 1987 by WBS-measures.

Material and methods. The results of the WBS-measures taken from the RRCRM&HE Data Base were analyzed. The method included selection of the statistically reliable average values of internal irradiation doses in a settlement. A value of the mentioned dose was set as a factor for unknown dependences.

Results. The experimental data of the dose time dynamics were approximated with a mathematical model as a sum of two-exponents reflecting different regularities of internal irradiation dose forming over different periods after the disaster.

Conclusion. The developed model has a relatively high coefficient of correlation with experimental dependences 0.78–0.88, which makes it possible to use it with less cost and acceptable accuracy for development of the Dose catalogue.

Key words: caesium-137, Chernobyl accident, mathematic model, exponential function, correlation factor, internal dose.

Введение

На территории, загрязненной радиоактивными выпадениями в результате аварии на ЧАЭС, проживало несколько миллионов человек, подвергшихся радиоактивному воздействию в различной степени. Дозы облучения определяют основные медико-биологические последствия пострадавшего от радиационного воздействия населения. Базовой простран-

ственной структурой для реконструкции дозы облучения включенных в белорусский Государственный регистр лиц, подвергшихся воздействию радиации, вследствие катастрофы на ЧАЭС [1], является населенный пункт (НП) проживания. Основой для реконструкции в данном случае являются оценки средних доз жителей НП, наименее отличающиеся от измеренных значений, полученных инструментальными ме-

тодами. Реконструкция дозы опирается, в основном, на расчетные методы, подкрепляемые результатами инструментальных измерений [2].

Доза внешнего облучения монотонно снижается вследствие распада радионуклидов, заглубления 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. Эффективность которых трудно оценить вследствие различий в радиационной обстановке НП, возможностей, объемов и времени проведения противорадиационных мероприятий, а также соблюдения населением вводимых ограничений на разных территориях.

Цель работы

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

Материалы и методы

Материалами для исследований были результаты СИЧ-измерений из Базы данных РНПЦ РМ и ЭЧ. Методом являлся отбор статистически достоверных средних значений дозы внутреннего облучения в НП, представительных по отношению к НП Каталога-2009 по типам почв, численности населения и удельной площади леса. В качестве фактора для получения искомых зависимостей была определена величина приведенной дозы. Информация по плотности загрязнения ^{137}Cs была предоставлена Департаментом по гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды. Реконструкция средних

эффективных накопленных доз внутреннего облучения жителей НП проведена в русле развития методологических подходов оценки дозы [3, 4]. 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 [5, 6] методический подход, получили 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 Северо-Восток (регион 3).

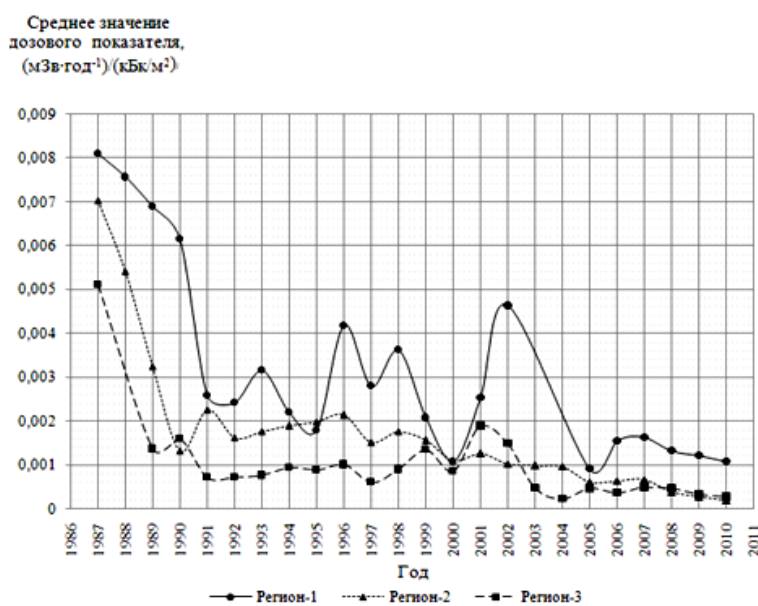


Рисунок 1 — Динамика приведенной дозы внутреннего облучения в период 1987–2008 гг. по данным массовых СИЧ-измерений

Для получения средних значений приведенной дозы (доза, деленная на плотность загрязнения) по всем годам СИЧ-измерений, за исключением 1987 и 1988 гг., была использована выборка представительных НП согласно КATALOGу доз-2009 [7]. В качестве дополнительных критериев использовались значения численности населения НП (до 100 чел., 100–300 чел. и более 300 чел.) и величина удельной площади леса (менее 0,35, 0,35–0,70, более 0,70). Значения приведенной дозы в 1987 и 1988 гг. были получены усреднением ограниченного числа измерений или посредством линейной интерполяции.

Среднюю накопленную дозу внутреннего облучения для k-го НП j-го региона с 1987 г. рассчитывали по зависимостям изменения доз, приведенных на рисунке 1, при помощи следующей формулы:

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

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

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

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

Численность населения и удельная площадь леса вокруг населенного пункта формализована в виде поправочного коэффициента, учитывающего влияние этих факторов на формирование средней дозы внутреннего облучения по НП. Для определения этого коэффициента были получены линейные зависимости согласно процедуре, изложенной в работах [4, 5]. Параметры полученных линейных регрессий приведены в таблице 1.

Накопленную дозу для НП с учетом поправочного коэффициента рассчитывали с помощью следующей формулы:

$$E_{jk} = K_{nonp.k} \times \sum_{i=1}^n \sigma_{ik} \times K_{ij} \quad (2)$$

где $K_{nonp.k}$ — величина поправочного коэффициента k-го НП, относительные единицы.

Результаты и обсуждение

Было установлено различие в динамике снижения приведенной дозы внутреннего облучения в разных регионах. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 1 — Коэффициенты линейной регрессии K_{nonp} на удельную площадь леса в 3 регионах

| Регион | 1987–1993 гг. | | | 1994–1998 гг. | | | 1999–2004 гг. | | | 2005–2010 гг. | | | Среднее | |
|---------|---------------|------|------|---------------|------|------|---------------|------|------|---------------|------|------|---------|------|
| | a | b | r | a | b | r | a | b | r | a | b | r | a | b |
| Полесье | 0,021 | 0,60 | 0,88 | 0,027 | 0,66 | 0,95 | 0,040 | 0,45 | 0,97 | 0,018 | 0,74 | 0,97 | 0,027 | 0,61 |
| Центр | -0,030 | 1,14 | 0,40 | — | 0,97 | 0 | 0,070 | 0,72 | 0,84 | 0,060 | 0,76 | 0,81 | 0,065 | 0,74 |
| С.-В. | 0,005 | 0,65 | 0,18 | 0,02 | 0,57 | 0,70 | 0,028 | 0,59 | 0,74 | 0,032 | 0,50 | 0,78 | 0,027 | 0,56 |

Таблица 2 — Сравнение значений приведенной дозы внутреннего облучения в разных регионах

| Регионы | $X \pm m$, мЗв·м ² /кБк·год | t-критерий | df | p-уровень | |
|---------------|---|--------------|------|-----------|--------|
| Полесье-СВ | 31,58 ± 4,34 | 17,46 ± 3,18 | 2,63 | 42 | 0,0120 |
| Полесье-Центр | 31,58 ± 4,34 | 11,19 ± 2,20 | 4,19 | 34 | 0,0002 |
| СВ-Центр | 17,46 ± 3,18 | 10,19 ± 2,20 | 1,62 | 41 | 0,0112 |

Экспериментальные значения динамики дозы во времени были аппроксимированы математической моделью в виде суммы двух экспонент, отражающей различные закономерности формирования дозы внутреннего облучения в различные периоды времени после аварии:

$$Y = A_1 \times \exp(-0,693t / T_{1/21}) + A_2 \times \exp(-0,693t / T_{1/22}) \quad (3)$$

Параметры полученной двухэкспоненциальной зависимости приведены в таблице 3.

Параметрами модели являются: период полууменьшения дозы в 1-й экспоненте — 3–5 лет, во 2-й — 12–31 год. Существенный разброс значений периода полууменьшения дозы

для 2-й экспоненты обусловлен различным влиянием на величину дозы потребления пищевых продуктов леса.

1-я экспонента аппроксимирует быстрый компонент на начальном отрезке времени (быстрая фаза), а 2-я — описывает участок кривой медленного снижения приведенной дозы внутреннего облучения в последующий период (медленная фаза).

На рисунках 2–4 представлена экстраполяция динамики снижения накопленной дозы внутреннего облучения по экспериментальным данным для разных регионов с помощью двухэкспоненциальной модели.

Таблица 3 — Параметры двухэкспоненциальной модели

| Регионы | A1, мЗв·м ² /кБк·год | T _{1/21} , лет | A2, мЗв·м ² /кБк·год | T _{1/22} , лет | Коэффициент корреляции |
|---------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Полесье | 72·10 ⁻⁴ | 5 | 24·10 ⁻⁴ | 31 | 0,83 |
| СВ | 32·10 ⁻⁴ | 4 | 26·10 ⁻⁴ | 15 | 0,88 |
| Центр | 29·10 ⁻⁴ | 3 | 17·10 ⁻⁴ | 12 | 0,78 |

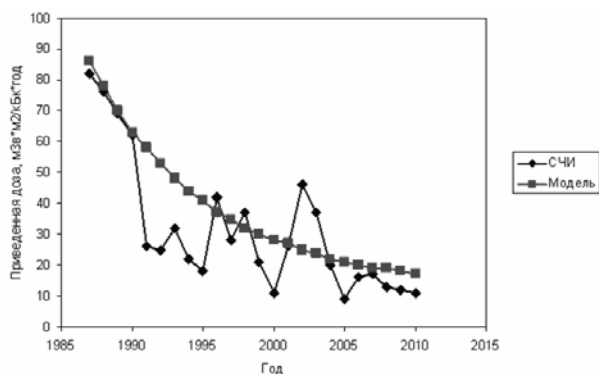


Рисунок 2 — Экстраполяция динамики среднегодовых доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов региона Полесье

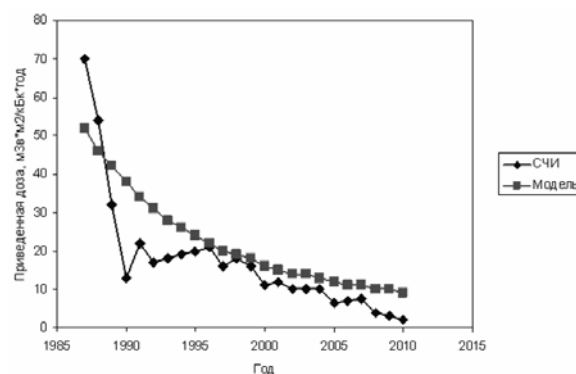


Рисунок 3 — Экстраполяция динамики среднегодовых доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов региона Центр

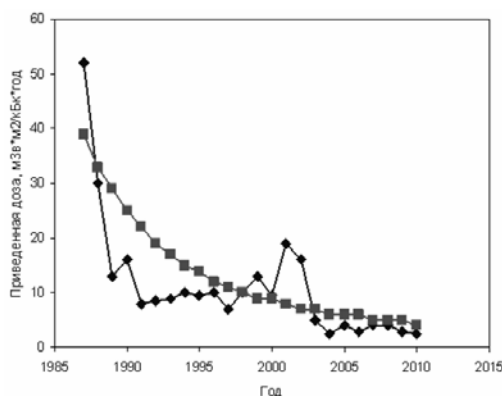


Рисунок 4 — Экстраполяция динамики среднегодовых доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов региона Северо-Восток

Динамика снижения приведенной дозы, аппроксимированной суммой двух 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 пищевыми привычками жителей региона, связанными 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, эта величина являет-

ся парадоксом, так как превышает значение периода полураспада цезия-137. 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» [8].

Влияние лесной компоненты дозы также выражено в «пульсирующем» характере изменения ее во времени, характерного для региона Северо-Восток и, особенно, региона Полесье (рисунок 2, 4).

Для анализа динамики дозы внутреннего облучения во времени за весь период отметим 2 характерных временных отрезка. Первый: 1987–1995 гг., который определяется соблюдением, в основном, запретительных контрмер на потребление молока из личных подсобных хозяйств (ЛПХ), пищевых продуктов леса (грибы, ягоды, дичь), тотальной закупкой государством молока, производимого в ЛПХ и, как следствие, постепенной ликвидацией личного молочного стада. В этом периоде зафиксированы наиболее высокие уровни загрязнения цезием и стронцием сельскохозяйственной и пищевой продукции. Второй: 1999–2004 гг. определяется стабилизацией радиационной обстановки, проведением контрмер в ЛПХ, резким снижением уровня загрязнения радионук-

лидами сельскохозяйственной и пищевой продукции, производимой и потребляемой населением и практически недействующими ограничениями на сбор и потребление «даров леса» на территории проживания при практически не снижающимся высоким уровнем загрязнения пищевых продуктов леса, особенно, дикорастущих грибов. Второй из выделенных периодов времени характеризуется, кроме того, высоким уровнем урожайности грибов на фоне отказа большинства населения от их сбора и потребления.

Различия в значениях экспериментальной и модельной зависимости в отмеченные периоды 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 могут быть интерпретированы как влияние «фактора контрмер» [9].

Заключение

Разработанная двухэкспоненциальная модель динамики дозы внутреннего облучения во времени может быть успешно применима для оценки текущих и накопленных доз внутреннего облучения, что подтверждается статистическим анализом. 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 прогноза на довольно длительный период. Вследствие того реальные дозы внутреннего облучения в настоящий период малы и количество НП с текущим значением дозы 1 мЗв и более резко уменьшается со временем, модель в ближайшее время можно использовать для разработки Каталога доз.

Накопленная доза облучения является наиболее обоснованным показателем эффективности контрмер, так как контрмеры проводили в разное время в различных регионах, в разных объемах, при различных почвенно-климатических, хозяйственных и социальных условиях, и результаты проведенных контрмер нелинейно распределялись во времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Постановление Кабинета Министров Республики Беларусь № 283. — 05.05.1993.
2. Реконструкция средней накопленной в 1986–2001 гг. эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов РФ, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на ЧАЭС в 1986 г. Методические указания МУ 2.6.1.114-02: утв. гл. сан. вр. РФ Г.Г. Онищенко. — М.: Минздрав России, 2002. — 23 с.
3. 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.
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.
5. 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.
6. СИЧ-ориентированный метод оценки годовых доз внутреннего облучения населения в отдаленный период Чернобыльской аварии / А. В. Рожко [и др.] // Радиация и риск. — 2009. — Т. 18, № 2. — С. 48–60.
7. Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь / Н. Г. Власова [и др.]; утв. Министром здравоохранения Республики Беларусь 07.07.2009 г. — Гомель: РНПЦ Р МиЭЧ, 2009. — 86 с.
8. 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.
9. 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.

Поступила 27.06.2014

УДК 612.13:612.766.1

СОСТОЯНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ МОЛОДЫХ ЛЮДЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА КРОВООБРАЩЕНИЯ ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

С. Н. Мельник, Е. С. Сукач, О. Г. Савченко

Гомельский государственный медицинский университет

Цель: оценить показатели центральной гемодинамики молодых людей, в зависимости от типа кровообращения при физических нагрузках.

Материалы и методы. Методом грудной тетраполярной реографии (импедансной кардиографии) обследовано 39 студентов-юношей УО «ГомГМУ». Определяли следующие показатели центральной гемодинамики: частота сердечных сокращений, ударный объем, минутный объем, сердечный индекс, общее периферическое сопротивление, давление наполнения левого желудочка. Показатели центральной гемодинамики исследовали в состоянии покоя и после физической нагрузки. В качестве физической работы применяли велоэргометрическую пробу со ступенчато возрастающей нагрузкой.

Результаты и их обсуждение. Было установлено, что для обследуемых студентов с гиперкинетическим типом кровообращения в состоянии покоя были характерны высокие показатели ударного объема, минутного объема, сердечного индекса и низкое значение общего периферического сопротивления, типичные для умеренной гипердинамии сердечной деятельности, с гипокинетическим — низкие значения ударного