

Выводы

1) Диоксид серы статистически значимо не влияет на массу печени и легких. Масса селезенки на 7 сутки после ингаляции SO₂ не отличается от контроля, а к 14-м суткам статистически значимо снижается — на 18 %.

2) При ингаляции SO₂ на мышцей уровень MetHb к 7–14 суткам значимо не отличается от контроля, (имеет тенденцию к повышению на ~ 10 %).

3) При действии SO₂ на 4 сутки изменений со стороны НМГО не происходит, а на 7 реакция значимо ускорена по параметру t_{1/2} на 20 %. К 14 суткам данная тенденция сохраняется и, помимо уменьшения лаг-фазы, ускорение реакции происходит и за счет увеличения CMet/T, но без значимых различий.

Проведенное исследование показало, что диоксид серы при данной концентрации вызывает незначительные изменения со стороны гемопозитической системы. Выраженность изменений зависит от концентрации и времени воздействия данного поллютанта.

Исследования проведены при финансовой поддержке Белорусского республиканского

фонда фундаментальных исследований НАН Беларуси (грант БРФФИ № Б11М-031).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Состояние окружающей среды Республики Беларусь: нац. доклад / М-во природ. ресур. и окружающей среды Республики Беларусь, Гос. науч. учр-е «Инс-т природопользования НАН РБ». — Минск: Белтаможсервис, 2010. — С. 14–19.
2. Биличенко, Т. Н. Методологические аспекты оценки влияния качества атмосферного воздуха на формирование болезней органов дыхания у населения (обзор литературы) / Т. Н. Биличенко // Пульмонология. — 2006. — № 4. — С. 94–103.
3. Окислы серы и взвешенные частицы. ВОЗ. Серия «Гигиенические критерии состояния окружающей среды». — Женева, 1982. — Вып. 8. — 131 с.
4. Буштуева, Н. А. Биологическое действие и гигиеническое значение атмосферных загрязнений / Н. А. Буштуева. — М.: Медицина, 1966. — С. 142–172.
5. Human response to controlled levels of sulfur dioxide / I. Andersen [et al.] // Arch. Environ Health. — 1974. — Vol. 28. — P. 31–39.
6. Клинические формы повреждения гемоглобина / М. С. Кушаковский [и др.]. — М.: Медицина, 1968. — 326 с.
7. Betke, K. I. Oxydation menschlicher und tierischer Oxyhaemoglobine durch Kaliumferricyanid / K. I. Betke, I. Greinacher, F. Hecker // Arch. Exp. Path. Pharmac. — 1956. — Vol. 229. — P. 207–213.
8. Выявление тестов для оценки биологических последствий воздействия рентгеновского излучения в малых дозах переменной мощности на животных / М. А. Климович [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2009. — Т. 49, № 4. — С. 473–477.

Поступила 14.05.2012

УДК-614.876.06:621.039.58

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТНО-ЭМПИРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СРЕДНИХ НАКОПЛЕННЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЧЕРНОБЫЛЬСКИМИ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЯХ

Л. А. Чунихин¹, Н. Г. Власова¹, Д. Н. Дроздов¹, В. Н. Бортновский²

¹Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека, г. Гомель

²Гомельский государственный медицинский университет

Проведен сравнительный анализ оценок накопленных доз облучения населения, проживающего на загрязнённых чернобыльскими радионуклидами территориях, по методикам, действующим в Республике Беларусь и Российской Федерации. Выполнена модификация методики, использующейся в Беларуси, на основе инструментальных результатов СИЧ-измерений и ТЛ-дозиметрии. Было показано, что имеются существенные различия в оценках дозы внутреннего облучения, полученных при использовании методик Беларуси и РФ. Сравнение оценок дозы внутреннего облучения, проведенных по методике Беларуси и ее модификации, показало различия, начиная с 1993 г. Оценки дозы внешнего облучения, которые проводились по методике РФ, также отличаются от результатов белорусских методик. Для того, чтобы в полной мере использовать данные Единого регистра, необходимо согласование методов оценки дозы облучения.

Ключевые слова: авария на ЧАЭС, радионуклиды, накопленная доза облучения, цезий-137, Регистр лиц.

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF EMPIRIC-CALCULATED ASSESSMENT METHODS FOR ACCUMULATED DOSES IN POPULATION OF BELARUS RESIDING ON THE CHERNOBYL RADIONUCLIDE CONTAMINATED TERRITORIES

L. A. Chunikhin¹, N. G. Vlasova¹, D. N. Drozdov¹, V. N. Bortnovsky²

¹Republican Center for Radiation Medicine and Human Ecology, Gomel

²Gomel State Medicine University

The article presents the comparative analysis of assessed accumulated doses in the population residing on the territories contaminated with Chernobyl radionuclides conducted by methods valid in the Republic of Belarus and the Russian Federation. The technique, used in Belarus, was modified on basis of WBC-measurements and TL-

dosimetry. It was shown that there were essential differences in the assessment of internal radiation dose, conducted by Byelorussian and Russian methods. The comparison of the internal dose estimations, conducted according to the method used in Belarus and its modification, showed differences since 1993. The assessments of external doses that were conducted by Russian methods differed from the results of Byelorussian methods. In order to use the United Chernobyl Register data, the methods of the dose assessment have to be coordinated.

Сравнение оценок дозы внутреннего облучения, проведенных по методике Беларуси, и ее модификации, показало различия, начиная с 1993 г. Оценки дозы внешнего облучения, которые проводились по методике РФ, также отличаются от результатов белорусских методик.

Key words: Chernobyl nuclear accident, radionuclides, accumulated radiation dose, Caesium-137, Register of persons.

Введение

На территории, загрязненной радиоактивными выпадениями в результате аварии на ЧАЭС, проживало несколько миллионов человек, подвергшихся радиоактивному воздействию в различной степени.

Согласно Постановлению Кабинета Министров Республики Беларусь № 83, в 1993 г. был создан Государственный регистр лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате катастрофы на ЧАЭС, других радиационных аварий [1]. Регистр способствует повышению качества и эффективности работ по диспансеризации населения, информационному сопровождению лечебно-профилактических мероприятий для снижения возможных отдаленных эффектов облучения, изучению уровня, структуры, динамики и тенденций заболеваемости, выработке рекомендаций по проведению организационно-медицинских мероприятий и реализации специальных программ по изучению медицинских последствий аварии на ЧАЭС.

Дозы облучения определяют основные медико-биологические последствия для пострадавшего от радиационного воздействия населения. Для оценки индивидуализированных доз в России и Беларуси разработаны соответствующие методики реконструкции среднegrupповых и коллективных доз облучения жителей населенных пунктов (НП), расположенных на загрязненных чернобыльскими радионуклидами территориях [2, 3], причем методический подход к проблеме реконструкции доз постоянно совершенствуется.

Базовой пространственной структурой для реконструкции дозы облучения является отдельный НП с окружающим его ареалом.

Реконструкция дозы опирается в основном на расчетные методы, подкрепляемые результатами инструментальных измерений. При проведении расчетных оценок разделяют источники и пути формирования дозы и периоды развития аварии. По закономерностям формирования период после аварии можно разделить на два принципиально различающихся временных отрезка: 1986 и 1987 гг. и далее.

В 1986 г. характерными путями облучения были: внешнее и внутреннее облучение при прохождении радиоактивного облака, облучение щитовидной железы от поступивших в организм радионуклидов йода, внутреннее облу-

чение организма от поступивших с воздухом, питьевой водой и продуктами питания радионуклидов, главным образом, ^{137}Cs и ^{90}Sr , внешнее облучение от значительного количества γ -излучающих радионуклидов, выпавших на объекты окружающей среды. Период, начинающийся с 1987 г., характеризуется сокращением источников и путей облучения. Источниками внутреннего облучения на долгие годы становятся продукты питания из сельскохозяйственной продукции местного произрастания и местного производства. Содержание в организме радионуклидов, в основном ^{137}Cs и ^{134}Cs приобретает равновесный характер, и для оценки дозы облучения на организм используют инструментальные методы: массовые СИЧ-измерения. Впоследствии, после распада всех γ -излучающих радионуклидов, кроме ^{137}Cs и ^{134}Cs , для определения дозовых коэффициентов при оценке дозы внешнего облучения в НП различного типа успешно была применена ТЛ-дозиметрия.

Цель работы

Сравнительная оценка средних эффективных накопленных доз облучения жителей НП Республики Беларусь, расположенных на загрязненных чернобыльскими радионуклидами территориях, по методикам, действующим в РФ и Республике Беларусь; модификация расчетной методики [2] для верификации результатов расчета данными, полученными при помощи СИЧ- и ТЛД-измерений.

Материалы и методы

Материалами для проведения сравнительных оценок являлись средние эффективные накопленные дозы облучения жителей реперных НП Республики Беларусь для мониторинга дозы. Данные СИЧ-измерений были взяты из банка данных Государственного дозиметрического регистра за период 1987–2008 гг. Информация по плотности загрязнения ^{137}Cs была предоставлена Департаментом по гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды. Дозовые коэффициенты для НП различного типа были получены по данным ТЛ-дозиметрии [5, 6].

Средняя эффективная накопленная доза облучения жителей НП Республики Беларусь, расположенных на загрязненных чернобыльскими радионуклидами территориях, формируется за

счет внешнего облучения всего тела от γ -излучающих радионуклидов, находившихся в радиоактивном облаке и выпавших на почву, и внутреннего облучения от инкорпорированных в организм радионуклидов, в основном, ^{137}Cs и ^{134}Cs . Мощность эффективной дозы от i -го радионуклида радиоактивного облака для взрослого человека рассчитывается при помощи математических выражений, приведенных в работе [2].

Значение суммарной мощности эффективной дозы от всех радионуклидов в период прохождения радиоактивного облака в момент времени t рассчитывается как:

$$E_i^{ext, h}(t) = \sum_{i=1}^n \dot{E}_i^{ext, h}(t) \quad (1)$$

Дозу внешнего облучения от радиоактивного облака за период его прохождения над НП от t_1 до t_2 оценивают следующим образом:

$$E_i^{ext, h}(\Delta t) = \int_{t_1}^{t_2} \dot{E}_i^{ext, h}(t) dt \quad (2)$$

Мощность экспозиционной дозы от радиоактивных выпадений в предположении экспоненциального распределения активности чернобыльских радионуклидов по глубине почвы оценивали согласно формуле, приведенной в работе [2].

Значение суммарной МЭД получается суммированием по всем i радионуклидам:

$$\dot{D}(t) = \sum_{i=1}^n \dot{D}_i(t) \quad (3)$$

Мощность эффективной дозы внешнего облучения взрослого жителя НП в момент времени t определяется формулой:

$$\dot{E}^{ext, h} = PF \times e_{exp} \times \dot{D}(t) \quad (4)$$

где $\dot{E}^{ext, h}$ — мощность эффективной дозы внутреннего облучения взрослого жителя НП, мЗв/сут;

PF — безразмерный обобщенный коэффициент защищенности взрослого жителя НП, отн. ед.;

e_{exp} — дозовый коэффициент перехода от экспозиционной дозы в воздухе к эффективной дозе в организме взрослого человека, равный $6,5 \times 10^{-6}$ мЗв/мкР [6];

$\dot{D}(t)$ — мощность экспозиционной дозы, мкР/сут мощность экспозиционной дозы в воздухе на момент t на территории НП, мкР/сут.

Дозу внешнего облучения взрослого жителя НП определяют интегрированием выражения (4):

$$E^{ext, h}(\Delta t) = \int_{t_1}^{t_2} \dot{E}^{ext, h}(t) dt \quad (5)$$

Доза внутреннего облучения от радиоцезия в 1986 г.

Дозу внутреннего облучения взрослого жителя НП рассчитывают через суточное поступление i -го радионуклида цезия с молоком следующим образом:

$$q_i(t) = K \times C_i(t) \quad (6)$$

где q_i — величина суточного поступления в момент времени t i -го нуклида цезия в организм взрослого человека на единицу загрязнения территории ^{137}Cs , Бк \times м²/кБк \cdot сут;

K — коэффициент увеличения поступления активности с полным рационом, по сравнению с поступлением цезия только с молоком (принимается равным 1,1);

$C_i(t)$ — содержание i -го нуклида цезия в покое в момент времени t , нормализованное на плотность загрязнения ^{137}Cs , Бк \times м²/кБк \cdot л.

Содержание ^{137}Cs в молоке в момент времени t рассчитывается с помощью модифицированной модели Гарнера [7].

Во втором временном периоде поступление радиоцезия в организм человека определяется на основе почвенных характеристик перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию [2].

Динамика содержания радионуклидов цезия в организме взрослого жителя НП определяется, эмпирическим выражением:

$$Q_{\zeta}(t) = ae^{-\lambda_1 t} + be^{-\lambda_2 t} - ce^{-\lambda_{\zeta} t} \quad (7)$$

где a, b, c — эмпирические константы, зависящие от характеристики преобладающего типа почв в местах проживания людей;

λ_1 и λ_2 — эмпирические постоянные снижения содержания радиоцезия в организме, сут⁻¹;

λ_{ζ} — постоянная полувыведения радиоцезия из организма взрослого жителя НП, сут⁻¹.

Содержание ^{134}Cs в организме рассчитывается по содержанию ^{137}Cs с учетом радиоактивного распада следующим образом:

$$Q_{134}(t) = 0,52 \times Q_{137}(t) \times e^{-(\lambda_{134} - \lambda_{137})t} \quad (8)$$

где Q_{134} и Q_{137} — содержание в организме взрослого человека в момент времени t ^{137}Cs и ^{134}Cs , соответственно, Бк.

По величине коэффициентов перехода (КП) радиоцезия из почвы в коровье молоко было выделено 4 основных типа почв для сельских НП: 0,3 Бк \times м²/кБк \cdot л, 0,3–1,0 Бк \times м²/кБк \cdot л, 1,0–5,0 Бк \times м²/кБк \cdot л и более 5,0 Бк \times м²/кБк \cdot л. Все используемые математические выражения для расчета константы приведены в работе [2]. Накопленную дозу облучения жителей НП рассчитывали также по методике, разработанной и действующей в РФ [3]. Основные принципы реконструкции дозы совпадают с приведенными в работе [2]. Основные различия заключаются в трактовании модели Гарнера [7], которую в работе [2] модифицировали с учетом СИЧ-измерений.

Модификация методики реконструкции накопленных доз

Модификация методики [2] реконструкции накопленных доз была проведена в русле развития методологических подходов к оценке дозы. В работах [8, 9] было показано, что основным фактором, влияющим на формирова-

ние 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 работах [8, 9] выделены основные факторы формирования дозы внутреннего облучения: коэффициенты

перехода из почвы в молоко, кислотность почв, удельная площадь леса в ареале НП. Использование обоснованного в работе [8, 9] методического подхода дало возможность получить кинетику формирования доз внутреннего облучения взрослых жителей загрязненных чернобыльскими радионуклидами НП по результатам СИЧ-измерений для трех регионов, отличающихся по условиям дозоформирования. На рисунке 1 приведены средние по годам значения дозы внутреннего облучения жителей НП, отнесенных к плотности загрязнения территории проживания, для трех регионов: Полесье (регион 1), Центр (регион 2), Северо-восток (регион 3).

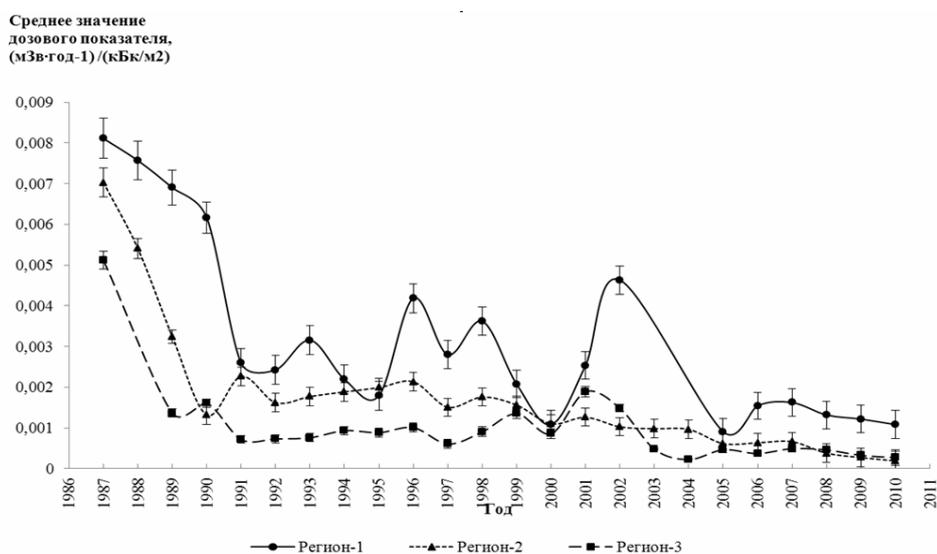


Рисунок 1 – Изменение дозового показателя внутреннего облучения в период 1987–2008 гг. по данным массовых СИЧ-измерений

Для получения средних значений дозовых показателей (доза, деленная на плотность) по всем годам СИЧ-измерений, за исключением 1987, 1988, 2001 гг. был использован «золотой стандарт», то есть выборка представительных по отношению к Каталогу доз-2009 [10] НП по количеству жителей и значению удельной площади леса [8]. Накопленную дозу внутреннего облучения для j -го региона 1987 г. можно рассчитать по зависимостям изменения дозы, приведенным на рисунке 1 при помощи следующего математического выражения:

$$E_j^{int}(t) = \sum_{i=1}^n \sigma_{ij} \times K_{ij} \quad (9)$$

где E_j^{int} — накопленная доза внутреннего облучения j -го региона, мЗв;

K_{ij} — показатель доза на плотность, мЗв \times м²/Ки;

σ_{ij} — плотность загрязнения территории НП ¹³⁷Cs, Ки/км².

Второй аспект модификации обусловлен внедрением методики оценки средней годовой дозы внешнего облучения в НП различного ти-

па способом индивидуальной ТЛ-дозиметрии, который стали применять в Беларуси и России, начиная с 1991 г. [5].

Такое методологическое развитие оценки дозы внешнего облучения является более прогрессивным по сравнению с оценкой с использованием коэффициентов защиты зданий, так как позволяет определить интегральные дозовые коэффициенты для НП различного типа, которые учитывают реальное поведение жителей НП. На рисунке 2 приведены зависимости изменения коэффициентов внешней дозы во времени, полученные для НП различного типа (село, городской поселок, город) по результатам ТЛД-измерений [4, 5]. Все они с высоким коэффициентом корреляции экспоненциальному спаду с периодом полууменьшения величины коэффициента внешней дозы для села и города — 17,8 года, для городского поселка — 15 лет, что удовлетворительно коррелирует с периодом полууменьшения коэффициента внешней дозы, полученной в работе [11].

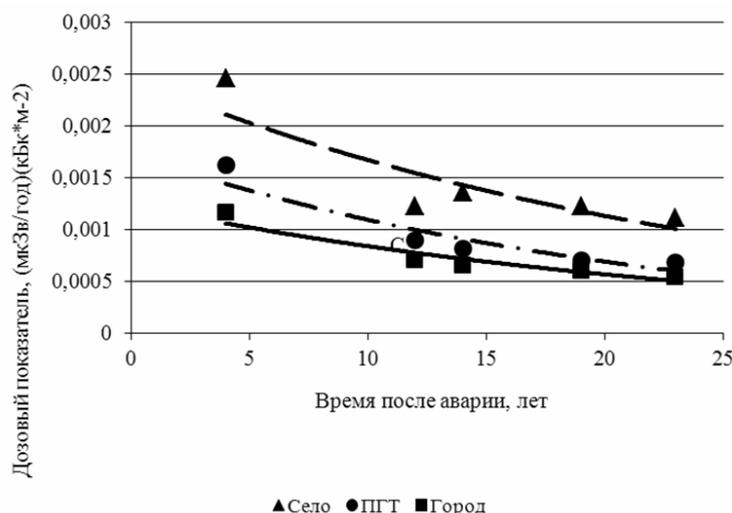


Рисунок 2 – Зависимости изменения дозового показателя во времени для сельских, поселковых и городских НП

Во всех используемых источниках, за исключением работы [4], были приведены средние значения коэффициентов внешней дозы. Приведенные в работе [4] значения предназначались для разработанного Каталога доз 1992 г. и были взяты консервативно на уровне 75 % квантиля распределения. Отношения, полученные в работе [4] значений 75 % квантиля к среднему значению, составляют величину 1,4. При получении аппроксимаций, приведенных на рисунке 2, использовали скорректированные значения коэффициента внешней дозы.

Результаты и обсуждение

Расчетные значения были разделены на периоды: 1986 г., 1987–1992 гг., 1993–2008 гг. Это было сделано для удобства сравнений, так как модификация методики, выполненная в 2010 г., относилась к периоду после 1986 г. для расчетов дозы внутреннего облучения и после 1992 г. — дозы внешнего.

Была проведена сравнительная оценка сходимости расчетных значений, получен-

ных по разным методикам, для 3 периодов: 1986 г., 1987–1992 гг., 1993–2008 гг., суммарной накопленной дозы, дозы внутреннего и внешнего облучения. Предварительная оценка характера распределения не позволила использовать параметрические критерии сравнения, поэтому при оценке был использован непараметрический критерий для зависимых выборок Уилкоксона (принятый уровень значимости $\alpha = 0,05$). Результаты парных сравнений приведены в таблице 2.

По данным таблицы 2 видно существенное отличие результатов дозы внутреннего облучения, оцененных по методике РФ, от результатов, полученных по методикам 2002 и 2010 гг. В то же время есть расхождения и между этими методиками по оценке внутренней дозы в периоде 1993–2008 гг., которые проявляются на оценке суммарной дозы.

Аналогичное сравнение было проведено для оценок доз внешнего облучения. Результаты сравнения приведены в таблице 3.

Таблица 2 — Результаты сравнения доз внутреннего облучения, оцененных по различным методикам

Парное сравнение результатов расчета		Достоверная вероятность (p-уровень)			
		1986 г.	1987–1992 гг.	1993–2008 гг.	суммарная доза
Методика 2002	Методика РФ	0,00013	0,00013	0,00013	0,00013
Методика 2002	Модиф. 2010	—	0,794	0,0036	0,007
Модификац.2010	Методика РФ	0,00013	0,00013	0,0002	0,00013

Таблица 3 — Результаты сравнения доз внешнего облучения, оцененных по различным методикам

Парное сравнение результатов расчета		Достоверная вероятность (p-уровень)			
		1986 г.	1987–1992 гг.	1993–2008 гг.	суммарная доза
Методика 2002	Методика РФ	0,00025	0,0002	0,0121	0,00027
Методика 2002	Модиф. 2010	—*	—	—	—
Модиф. 2010	Методика РФ	0,00025	0,0002	0,0049	0,00025

* Оценка дозы внешнего облучения производилась одинаковым способом.

Различие в оценках дозы, выполненной по методике 2002 г. и модификации 2010 г., обусловлено, главным образом, различиями в оценках дозы внутреннего облучения. При модификации «автоматически» учтены: изменение потребления молока местного производства вследствие колебаний величины молочного стада в личных подсобных хозяйствах, снижение уровня загрязнения молока вследствие проведения контрмер и естественных причин, значительные различия в потреблении грибов и других пищевых продуктов леса вследствие существенных колебаний в урожайности «даров леса». Модификация была проведена на основе представительных выборок большого числа СИЧ-результатов и адекватно отражает реальные процессы формирования дозы внутреннего облучения. Так, региональные отличия в значениях дозовых показателей внутреннего облучения подтверждаются измеренными значениями дозы внутреннего облучения, полученными в НП различных регионов в разные годы.

Заключение

Проведенные оценки средних эффективных накопленных доз облучения жителей НП Республики Беларусь, расположенных на загрязненных чернобыльскими радионуклидами территориях, выполненные по официальным методикам Республики Беларусь и Российской Федерации за период 1986–2010 гг., выявили существенные различия, что требует уточнения в параметрах расчетных моделей, используемых в представленных методиках, и дополнения расчетных оценок статистически достоверными результатами СИЧ- и ТЛД-измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О создании Белорусского государственного регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на ЧАЭС: Постановление Совета министров Республики Беларусь № 283 05.05.93 г. — Минск, 1993. — 6 с.
2. 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.
3. 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.
4. Определения годовых суммарных эффективных эквивалентных доз облучения населения для контролируемых районов РСФСР, УССР, БССР, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС: утв. гл. сан. вр. СССР А. И. Кондрусевым 28.06.91 г. — М.: Минздрав СССР, 1991. — 11 с.
5. Радиационный мониторинг облучения населения в отдельный период после аварии на ЧАЭС. Отчет по проекту RER19/074 (закл.) / МАГАТЭ. — Вена, Австрия, 2007. — 119 с.
6. ICRP Publication 67. Age-Depended Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides. Part 2. Ingestion Dose Coefficients. Oxford: Pergamon Press, 1993. — 138 p.
7. Савкин, М. А. Распределение индивидуальных и коллективных доз облучения населения Беларуси в первый год после Чернобыльской аварии / М. А. Савкин, А. В. Титов, А. А. Лебедев // Радиация и риск. — М.-Обнинск, 1996. — Вып. 7. — С. 87–113.
8. 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.
9. Оценка средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов, расположенных на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь, для целей зонирования. Инструкция по применению № 044-0508: утв. 1-м зам. мин. Мин. Здравоохран. РБ Р.А. Часнойть 27.06.08. — Гомель, 2008. — 16 с.
10. Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь / Н. Г. Власова [и др.]; утв. М-стром здравоохранения Республики Беларусь 7.07.2009 г. — Гомель: РНПЦ РМиЭЧ, 2009. — 86 с.
11. Optimal Management Routes for the Restoration of Territories Contaminated during and after the Chernobyl Accident: Report for the Contract COSU-CT94-0101 (Final) / European Commission; Sc. Man. G. Frank. — Brussel, 1997. — B76340/95/001064/Mar./C3. — 568 p.

Поступила 16.03.2012