

в изучаемых регионах. Очевидно, что проведение дальнейших эпидемиологических исследований с использованием методов стандартизации позволит получить точные данные о распространенности ПМЗН в Республике Беларусь, в том числе и в регионах экологического неблагополучия.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чиссов, В. Н. Первично-множественные злокачественные опухоли / В. Н. Чиссов, А. Х. Трахтенберг. — М.: Медицина, 2000. — 336 с.

2. Сравнительный анализ заболеваний, выявленных при фиброгастроуденоскопии в Бешенковичском и Буда-Кошелевском районах Республики Беларусь / Ю. В. Крылов [и др.] // Здоровоохранение. — 2001. — № 1. — С. 19–21.

3. Генетика рака желудочно-кишечного тракта / Н. Ф. Беллев // Вестн. Росс. онкол. науч. центра им. Н. Н. Блохина РАМН. — 2001. — № 2. — С. 35–41.

4. Казубская, Т. П. Генетика человека / Т. П. Казубская, Р. Ф. Гарькавцева // Здоровоохранение. — 1995. — № 31(3). — С. 410–414.

5. Реброва, О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA / О. Ю. Реброва. — М.: МедиаСфера. — 2002. — 312 с.

Поступила 27.09.2010

УДК 614.876.06:621.039.58

## ВЕРИФИКАЦИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ НАКОПЛЕННЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ БЕЛАРУСИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ ОЦЕНКИ ДОЗ

Л. А. Чунихин, Д. Н. Дроздов, Н. Г. Власова

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

В работе представлены результаты реконструкции накопленных доз облучения жителей реперных НП Гомельской области, расположенных на загрязненных чернобыльскими радионуклидами территориях, за период 1986–2008 гг. по официальной методике, принятой в Республике Беларусь, в сравнении с результатами расчетов, выполненных по модифицированной версии методики, основанной на инструментальных данных СИЧ- и ТЛД-измерений, а также с оценками, полученными непосредственно по данным СИЧ-измерений в этих же населенных пунктах.

**Ключевые слова:** накопленная доза, доза внешнего облучения, доза внутреннего облучения, СИЧ-измерения, ТЛД-измерения, методы оценки дозы внешнего и внутреннего облучения.

## VERIFICATION OF RECONSTRUCTION OF THE ACCUMULATED EFFECTIVE DOSES IN THE POPULATION OF BELARUS USING INSTRUMENTAL METHODS OF DOSE ASSESSMENT

L. A. Chunihin, D. N. Drozdov, N. G. Vlasova

Republican Research Centre for Radiation Medicine and Human Ecology, Gomel

Here we present the reconstruction results of the cumulative doses of the population of reference settlements of Gomel region situated in the Chernobyl radionuclide contaminated territories for the period of 1986–2008 using the official technique accepted in the Republic of Belarus compared to the results of calculations had been conducted using the modification of the technique based on the instrumental data of WBC-measurements and thermo luminescent measurements. Both was compared as well as to the estimations obtained directly by the data of WBC-measurements in these settlements.

**Key words:** cumulative dose, external dose, internal dose, WBC-measurements, thermo luminescent measurements, estimation methods of external and internal doses.

### Введение

На территории, загрязненной радиоактивными выпадениями в результате аварии на ЧАЭС, проживало несколько миллионов человек, подвергшихся радиоактивному воздействию в различной степени. Это определило принятие крупномасштабного проекта по созданию «Всесоюзного распределенного регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате катастрофы на ЧАЭС» [1].

Впоследствии, согласно Постановлению Кабинета Министров Республики Беларусь № 83, в 1993 г. был создан Белорусский государственный регистр лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате катастрофы на ЧАЭС, других радиационных аварий [2].

Доза облучения определяет основные медико-биологические последствия пострадавшего от радиационного воздействия населения. Она является ключевым показателем для установления связи заболеваемости с радиационным воздействием, оказания адресной медицинской помощи. Вследствие сложности процессов формирования дозы облучения индивидуализированные дозовые оценки для лиц, включенных в Регистр, основаны на средних по соответствующему населенному пункту (НП) проживания конкретного лица за каждый временной период, а также на среднегрупповых (средневозрастных) значениях доз.

Для оценки индивидуализированных доз разработана методика реконструкции средне-

групповых доз облучения [3], причем методические подходы к проблеме реконструкции доз постоянно совершенствуются.

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

Методической основой реконструкции дозы являются модели формирования дозы внешнего облучения и внутреннего облучения населения, подвергшегося радиоактивному воздействию вследствие аварии на ЧАЭС. 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.

**Целью** работы является сравнительный анализ накопленных доз облучения, рассчитанных по методике [3] и по модифицированному варианту данной методики на основе моделей с использованием результатов СИЧ- и ТЛД-измерений, а также сравнение результатов оценки доз по обоим методикам с таковыми по результатам СИЧ-измерений для реперных НП Гомельской области [4].

#### **Материалы и методы**

Материалами для проведения сравнительных оценок являлись средние эффективные накопленные дозы облучения жителей реперных НП Республики Беларусь, выбранных для дозового мониторинга [4]. Материалами исследования явились: «База данных плотностей загрязнения территорий населенных пунктов Республики Беларусь радионуклидам цезия, стронция и плутония по состоянию на 1986 г.», рег. свид-во № 5870900639 от 21 мая 2009 г., «База данных СИЧ-измерений жителей Республики Беларусь за период 1987–2008 гг.», рег. свид-во № 5870900637 от 20 мая 2009 г., сформированные в ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ». Дозовые коэффициенты для оценки накопленной дозы внешнего облучения для НП различного типа были получены по данным ТЛ-дозиметрии [5–7]. Оценку средних эффективных накопленных доз облучения жителей НП Республики Беларусь проводили согласно методике [3] для взрослого населения без учета дозы, полученной в 1986 г., и дозы от минорных радионуклидов ( $^{90}\text{Sr}$  и изотопов плутония и америция).

#### **Модификация методики реконструкции накопленных доз облучения**

Модификация методики [3] реконструкции накопленных доз была проведена в русле развития методологических подходов оценки дозы. В работах [8–10] показано, что основным фактором, влияющим на формирование дозы внутреннего облучения, является потребление молока и пищевых продуктов леса, особенно грибов. При этом молочный компонент дозы уменьшается

вследствие проведенных контрмер в сельском хозяйстве, 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 лесных грибов и ягод. Основные факторы формирования дозы внутреннего облучения — коэффициент перехода радионуклидов из почвы в молоко, кислотность почв, удельная площадь леса в ареале НП [8–10]. Используя обоснованный в работах [9, 10] методический подход, была получена кинетика формирования доз внутреннего облучения взрослых жителей загрязненных чернобыльскими радионуклидами НП по результатам СИЧ-измерений для 3 регионов, отличающихся по условиям дозоформирования. На рисунке 1 представлены средние по годам значения дозы внутреннего облучения жителей НП, отнесенные к плотности загрязнения территории проживания, для трех регионов: Регион 1, Регион 2, Регион 3.

Для получения средних значений приведенной дозы (доза, нормированная на плотность загрязнения), рассчитанных по результатам СИЧ-измерений, за исключением 1987, 1988, 2004 гг., был использован так называемый «золотой стандарт», т. е. выборка представительных по количеству малых (до 100 чел.), средних (100–300 чел.) и больших НП (более 300 чел.), а также по величине удельной площади леса:  $< 0,35$ ;  $0,35–0,70$ ;  $> 0,70$ .

Зависимости, приведенные на рисунке 1, были дополнены значениями приведенной дозы для тех лет, в которых отсутствуют результаты СИЧ-измерений, полученные путем линейной экстраполяции.

Накопленную дозу внутреннего облучения для  $j$ -го региона, начиная с 1987 г., можно рассчитать по представленной на рисунке 1 кривой изменения дозы по выражению:

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

где  $E_j^{\text{int}}$  — накопленная доза внутреннего облучения  $j$ -го НП, мЗв;  $K_{ij}$  — приведенная доза  $i$ -го года, мЗв $\times$ м<sup>2</sup>/кБк;  $\sigma_{ij}$  — плотность загрязнения территории  $j$ -го НП  $^{137}\text{Cs}$ , кБк/м<sup>2</sup>.

Значение  $E_j^{\text{int}}$  для  $j$ -го региона получено для НП со средним значением удельной площади леса (площадь продуктивных лесных массивов в радиусе 5 км от центра НП, отнесенная к численности жителей). Для уточнения значений  $E_j^{\text{int}}$  были использованы регрессионные зависимости поправочного коэффициента ( $C_j$ ) от удельной площади леса [11]. Линейные регрессии поправочного коэффициента на удельную площадь леса для 3 регионов приведены на рисунке 2.

С учетом влияния лесного фактора на формирование дозы внутреннего облучения окончательное выражение для оценки дозы записывается в следующем виде:

$$E_j^{int} = C_j \times \sum_{i=1}^n \sigma_{ij} \times K_{ij} \quad (2)$$

где  $E_j^{int}$  — накопленная доза внутреннего облучения j-го НП, мЗв;  $K_{ij}$  — приведенная доза i-го года, мЗв×м<sup>2</sup>/кБк;  $\sigma_{ij}$  — плотность загрязнения территории j-го НП <sup>137</sup>Cs, кБк/м<sup>2</sup>;  $C_j$  — значение поправочного коэффициента j-го НП, отн. ед.

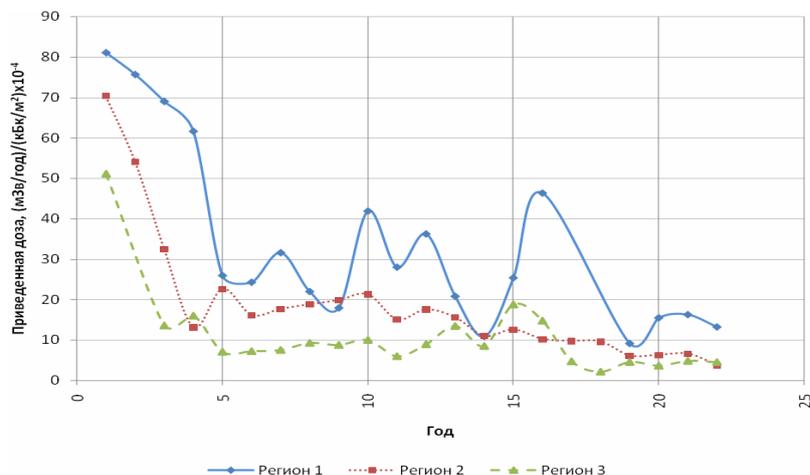


Рисунок 1 — Изменение среднего значения приведенной дозы внутреннего облучения за период 1987–2008 гг. по данным массовых СИЧ-измерений

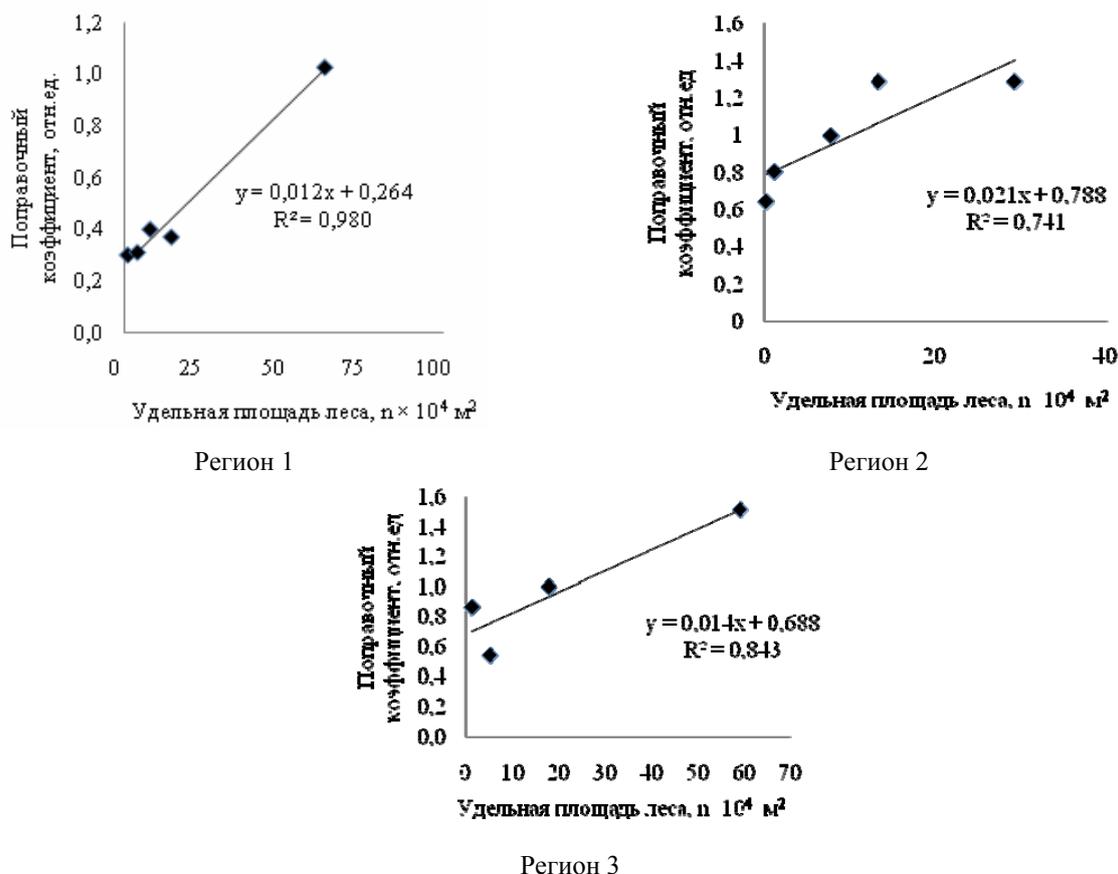


Рисунок 2 — Зависимость поправочного коэффициента от удельной площади леса для 3 регионов

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

типа методом 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, т. к. позволяет определить интегральные дозовые коэффициенты для НП различного типа, которые учитывают реальное поведение жителей НП. На рисунке 3 представлены зависимости изменения коэффициентов внешней дозы во времени, полученные для НП различного типа

(село, городской поселок, город) по результатам ТЛД-измерений [5–7]. Все они с высоким коэффициентом корреляции аппроксимируются экспоненциальной зависимостью с периодом полууменьшения величины коэффициента дозы внешнего облучения для села и города — 17,8 лет, для городского поселка — 15 лет, что согласуется со значением периода полууменьшения для села, равного 19 годам [11].

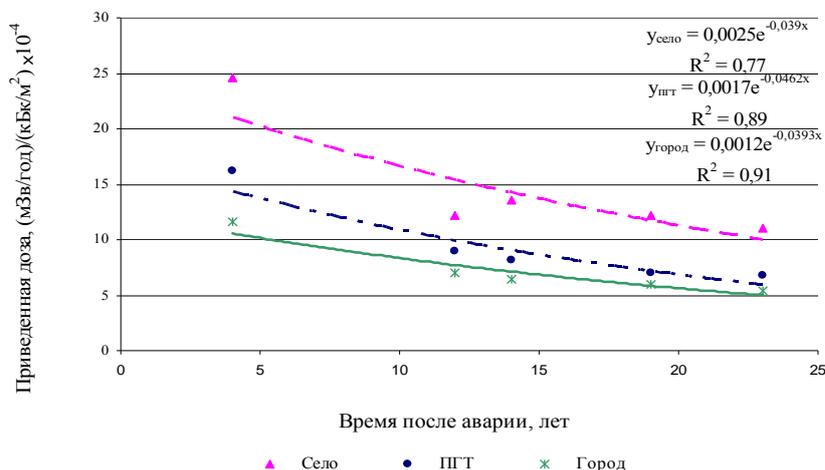


Рисунок 3 — Зависимости изменения дозового показателя во времени для сельских, поселковых и городских НП

Во всех литературных источниках, за исключением [5], приведены средние значения дозовых коэффициентов. Приведенные в [5] значения предназначались для разработанного Каталога доз 1992 г. и были взяты консервативно на уровне 75 %-го квантиля распределения дозового коэффициента, полученного по результатам индивидуальной ТЛ-дозиметрии в НП различных типов. Полученные в работе [5] отношения значений 75 %-го квантиля распределения к среднему значению составляет величину 1,4. При получении аппроксимаций, приведенных на рисунке 3, использовали средние значения дозового коэффициента.

**Оценка дозы внутреннего облучения по результатам СИЧ-измерений**

При расчете средних годовых индивидуальных эффективных доз внутреннего облучения жителей реперных НП с использованием данных СИЧ-измерений принята модель равновесного содержания <sup>137</sup>Cs в теле человека, когда значение среднего в течение года суточного поступления радионуклида соответствует его среднему суточному выведению.

Средняя годовая эффективная доза внутреннего облучения жителей <sup>137</sup>Cs ( $E_{ji}^{int}$ ) определяется согласно выражению:

$$E_j^{int} = K_d \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i/M_i), \quad (3)$$

где  $K_d$  — дозовый коэффициент, равный  $2,5 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1} / \text{кБк} \cdot \text{кг}^{-1}$ ;  $Q_i$  — содержание <sup>137</sup>Cs в организме  $i$ -го человека по данным СИЧ-измерений, кБк;  $M_i$  — масса тела  $i$ -го человека, кг;  $n$  — количество обследованных на СИЧ жителей НП.

Накопленные дозы для  $j$ -го НП вычисляли как сумму за годы измерений. Значения дозы внутреннего облучения за годы, в течение которых СИЧ-измерения не было, реконструировали по соответствующим кривым, представленным на рисунке 1.

**Результаты и обсуждение**

Результаты расчета дозы для реперных НП представлены в таблице 1.

Поскольку модификация методики относится к периоду после 1986 г. для расчета дозы внутреннего и к периоду после 1992 г. — дозы внешнего облучения, то для проведения расчетов накопленных доз весь временной период был разбит на подпериоды: 1987–1992 гг., 1993–2008 гг. В модификации методики нашли отражение особенности дозоформирования, характерные для каждого из 3 регионов, что подтверждается результатами оценок. Изменение дозы внутреннего облучения во времени имеет более сложный вид, чем двухэкспоненциальное убывание, что может сказаться при оценках дозы, сделанных за какой-либо определенный промежуток времени после аварии. Это подтверждается сравнением сходимости результатов дозовых оценок, полученных по разным методи-

кам, дозы внутреннего облучения для периодов 1987–1992 и 1993–2008 гг. и суммарной — 1987–2008 гг., а также дозы внешнего облучения для периода 1993–2008 гг. Оценку различий выборок результатов, полученных при использо-

вании методики [3], ее модификации и данных, полученных инструментальными методами, определяли по критерию Манна-Уитни (принятый уровень значимости  $\alpha = 0,05$ ). Результаты парных сравнений приведены в таблице 2.

Таблица 1 — Средние эффективные накопленные дозы облучения жителей реперных НП Республики Беларусь, проживающих на загрязненных чернобыльскими радионуклидами территориях

НП	Доза, мЗв														
	методика 2002						модификация 2010						результаты СИЧ-измерений		
	1987–1992 гг.		1993–2008 гг.		сумм. 1987–2008 гг.		1987–1992 гг.		1993–2008 гг.		сумм. 1987–2008 гг.		1987–1992 гг.	1993–2008 гг.	сумм. 1987–2008 гг.
	внеш.	внут.	внеш.	внут.	внеш.	внут.	внеш.	внут.	внеш.	внут.	внеш.	внут.	внеш.	внут.	
Савичи	8,0	8,4	11	3,0	19	11	10	11	8,5	19	18	12	6,4	18	
Заболотье	14	14	18	6,0	32	20	4,7	19	6,0	33	11	2,8	1,4	4,2	
Новиловка	19	19	24	8,0	43	27	12	23	16	42	28	3,6	6,2	9,8	
Светиловичи	19	18	23	7,0	42	25	6,3	22	6,2	42	12	3,6	6,2	9,8	
Хальч	11	11	14	4,0	25	15	3,2	13	4,3	25	8,0	1,7	4,0	5,7	
Шерстин	14	14	18	6,0	32	20	4,4	18	5,1	32	10	2,7	3,2	5,9	
Валавск	8,6	8,4	11	4,0	20	12	5,3	10	6,9	19	12	7,9	4,8	13	
Гребени	5,1	5,4	8,0	2,0	13	7,0	4,6	7,0	3,6	12	8,0	4,5	7,6	12	
Физинки	8,0	7,6	11	4,0	19	12	4,8	11	4,0	19	9,0	2,2	7,3	9,5	
Вербовичи	15	15	21	7,0	36	22	4,3	19	3,6	34	8,0	4,2	6,7	11	
Грушевка	10	9,4	13	5,0	23	14	4,4	12	3,6	22	8,0	8,2	8,2	16	
Гажин	7,0	7,3	10	3,0	17	10	3,2	10	2,6	17	5,0	9,7	7,5	17	
Демидов	8,9	8,4	12	4,0	21	13	4,3	12	3,3	21	8,0	2,6	9,1	12	
Завойть	10	11	15	4,0	25	15	5,1	14	3,2	24	9,0	4,4	6,2	11	
Киров	14	14	19	6,0	33	20	7,0	19	5,8	33	13	8,8	12	21	
Стреличево	10	9,7	12	4,0	22	14	6,0	11	5,7	21	10	6,7	3,0	9,7	
Залесье	8,8	8,3	11	4,0	20	12	4,4	10	6,6	19	12	14	3,9	18	
Беляевка	5,5	5,3	7,0	2,2	13	8,0	2,7	6,0	4,2	11	7,0	6,1	4,5	11	
Болсуны	7,0	7,0	10	4,0	18	11	3,8	9,0	6,2	19	10	14	9,7	24	

Таблица 2 — Результаты сравнения дозы облучения, оцененных расчетным и расчетно-эмпирическими способами

Доза	Парное сравнение		p-уровень		
			накопленная 1987–1992 гг.	накопленная 1993–2008 гг.	суммарная 1987–2008 гг.
Внут.	СИЧ	Модификация	0,61	0,16	0,14
	СИЧ	Методика 2002	0,007	0,02	0,23
	СИЧ	Среднее	0,184	0,05	0,93
	Модификация	Методика 2002	0,001	0,45	0,005
Внеш.	ТЛД (модификация)	Методика 2002	—	0,63	—

Различие в оценках дозы, выполненных по методике 2002 г., и результатами СИЧ-измерений обусловлено, главным образом, различием реальной кинетики изменения дозы внутреннего облучения и ее модельного представления, используемого в методике [3]. Модификация «автоматически» учитывает: изменение потребления молока местного производства вследствие колебаний величины молочного стада в личных подсобных хозяйствах, снижение уровня загрязнения молока вследствие проведения контролер и естественных причин, значительные различия в потреблении грибов и других пищевых продуктов леса вследствие существенных ко-

лебаний в урожайности «даров» леса. Модификация была проведена на основе представительных выборок большого числа СИЧ-результатов, которые адекватно отражают реальные процессы формирования дозы внутреннего облучения. Оценка средней дозы для НП является основой для оценок индивидуализированных доз, которые вносятся в Регистр, поэтому ее величина должна быть максимально приближенной к реальной. Это можно выполнить путем различных обоснованных модификаций существующей методики, в том числе и усреднением результатов, полученных различными способами. На рисунке 4 представлены распределе-

ния дозы внутреннего облучения для выбранных НП, оцененных 4 способами: по результатам СИЧ-измерений, расчет по методике

[3], ее модификации и среднего значения между методикой и модификацией, в виде «ящичков с усами».

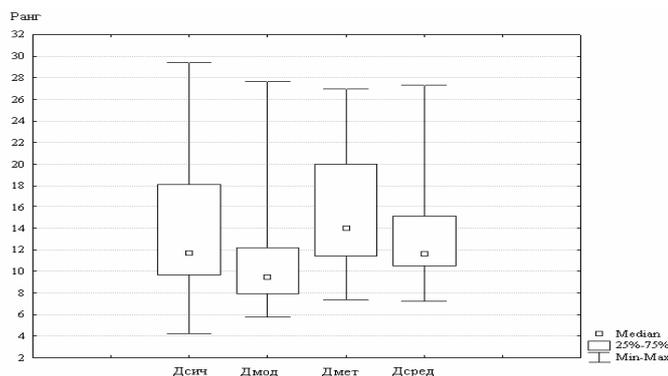


Рисунок 4 — Распределение дозы внутреннего облучения, оцененной 4 способами

Если считать наиболее реалистичными оценки дозы, полученные по результатам СИЧ-измерений, то наиболее приближенными к ним являются средние оценки накопленных за период 1987–2008 гг. доз, что подтверждается результатами сравнений, представленных в таблице 2.

#### Заключение

Предложенная модификация методики [3] показала более высокую сходимость результатов расчетов со значениями дозы внутреннего облучения, полученными непосредственно по данным СИЧ-измерений для определенных временных интервалов постчернобыльского периода. Результаты модификации оценок дозы внешнего облучения, начиная с 1991 г., не отличаются от расчетов по основной методике, но существенно упрощают расчет.

Возможно использование методики [3] в качестве базовой для реконструкции индивидуализированных накопленных доз облучения лиц, включенных в Регистр, с проведением модификации на основе результатов, полученных инструментальными методами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О создании Всесоюзного распределенного регистра лиц, подвергшихся радиационному воздействию вследствие аварии на ЧАЭС: Приказ МЗ СССР № 840-ДСП. — М., 1987.
2. О создании Белорусского государственного регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастро-

фы на ЧАЭС: Постановление Совета Министров Республики Беларусь, № 283, 05.05.93 г. — Минск, 1993. — 6 с.

3. Реконструкция среднегрупповых и коллективных накопленных доз облучения жителей населенных пунктов Беларуси, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС: утв. утв. МЗ РБ 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. МЗ РБ 19.03.2010 г. — Гомель, 2010. — 13 с.

5. 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.

6. Определение годовой суммарной эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС: утв. утв. Минздравом РБ 10.02.98 г. — Минск, 1998. — 12 с.

7. Радиационный мониторинг облучения населения в отдельный период после аварии на ЧАЭС. Отчет по проекту RER19/074 (закл.) // МАГАТЭ. — Вена, Австрия, 2007. — 119 с.

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. 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.

10. Оценка средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов, расположенных на территории радиационного загрязнения Республики Беларусь, для целей зонирования. Инструкция по применению № 044-0508: утв. Минздравом РБ 27.06.08. — Гомель, 2008. — 16 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 01.10.2010

УДК: 616.71 – 001.5 – 07 : [ 546.32+ 546.41 ] (477.87 – 23.0)

## ТИРЕОИДНЫЙ СТАТУС И СОСТАВ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ У ПАЦИЕНТОВ С ПЕРЕЛОМАМИ ДИАФИЗА КОСТЕЙ ГОЛЕНИ (предварительное исследование)

В. М. Шимон, М. М. Гелета, А. А. Шерегий

Ужгородский национальный университет, Украина

В статье проанализировано содержание микроэлементов в организме человека до и после переломов длинных костей.

Авторами приведены конкретные данные по уровню калия, кальция и гормонов щитовидной железы у людей, проживающих в горных районах, что определяет необходимость приема пациентами с переломами костей и голени препаратов кальция и йода.

**Ключевые слова:** микроэлементы, перелом диафиза.