

Оценка средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов, расположенных на территориях, загрязненных радионуклидами в результате аварии на ЧАЭС

Н.Г. Власова

ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека», Гомель

По разработанной методике оценки средних доз облучения жителей населённых пунктов создан Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов, расположенных на территориях, загрязненных радионуклидами в результате аварии на ЧАЭС. Экономическая эффективность методики составила 280 000 USD на текущие 5 лет. Средняя доза облучения превысила 1 мЗв/год в 191 населённом пункте Беларуси из 2613, в которых проживает ~ 50 000 человек.

Ключевые слова: населённый пункт, средняя годовая эффективная доза, каталог доз.

Введение

Отнесение населенных пунктов к зонам радиоактивного загрязнения в соответствии с Законами Республики Беларусь [1, 2] проводится 1 раз в 5 лет на основании данных о средней годовой эффективной дозе (СГЭД) облучения и средней плотности загрязнения территории населенного пункта (НП) радионуклидами цезия-137, стронция-90 и плутония-238, 239, 240.

Начиная с 1992 г., с 5-летней периодичностью в Республике Беларусь создавались Каталоги СГЭД облучения жителей НП, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения. В методике оценки доз внутреннего облучения, на основе которых разрабатывали Каталоги, закладывался определенный уровень консерватизма, который учитывал возможные естественные вариации величины дозы внутреннего облучения на протяжении времени действия Каталога (5 лет), обусловленные цикличностью урожайности грибов и лесных ягод, различными погодными условиями в пастбищный период этих лет, урожайностью зерновых культур, картофеля и овощей в общественном секторе и личных подсобных хозяйствах.

В отдаленном периоде Чернобыльской аварии происходит изменение радиационной обстановки в НП, расположенных на загрязненных вследствие аварии территориях, в силу физического распада радионуклидов и их перераспределения в почвенном плодородном слое, и, соответственно, изменение дозы облучения населения.

В ходе постоянно проводимых исследований появились новые инструментальные данные определения доз внутреннего и внешнего облучения, которые позволяют разрабатывать современные более точные методы оценки СГЭД облучения жителей НП, расположенных на загрязненных территориях.

Разработана методика оценки СГЭД [3] с учётом накопленных за период 2005–2008 гг. новых данных индивидуальной дозиметрии внешнего и внутреннего облучения населения, а также для приведения в соответствие методов оценки доз облучения с новейшими международными подходами, рекомендованными МКРЗ (публикации МКРЗ

№ 101, 103) [4, 5] и Международными стандартами безопасности (серия изданий по безопасности № 115 МАГАТЭ).

Цель исследования – по разработанной методике оценки средних текущих доз облучения жителей населённых пунктов [3] оценить СГЭД облучения жителей населённых пунктов, расположенных на радиоактивно загрязнённых территориях.

Задачи исследования

1. Обосновать отсутствие необходимости учёта вклада стронция-90 и трансурановых элементов в СГЭД облучения жителей НП, расположенных на загрязнённых территориях.
2. Обосновать критерий консервативности оценки СГЭД.
3. Провести расчёт СГЭД облучения жителей НП Беларуси, находящихся на радиоактивно загрязнённых территориях.
4. Провести анализ оценки СГЭД облучения жителей НП, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения.

Материалы и методы

Источником формирования дозы внешнего облучения является гамма-излучение ^{137}Cs , которое распределено по профилю почвы; источник формирования дозы внутреннего облучения – гамма-излучение ^{137}Cs , инкорпорированного в организме человека и поступившего с рационом питания.

Исходные данные для расчета дозы внешнего облучения:

– плотность загрязнения территории населённых пунктов.

Исходные данные для расчета дозы внутреннего облучения:

– результаты СИЧ-измерений содержания цезия-137 в организме жителей НП «Базы данных СИЧ-измерений жителей Республики Беларусь за период 1987–2008 гг.», регистрационное свидетельство № 5870900637, 20 мая 2009 г.;

– плотность загрязнения территории населённых пунктов.

Оценка средней годовой эффективной дозы внешнего облучения жителей НП типа *s* определяется выражением:

$$E^{ext} = KF_s \cdot \sigma_{Cs},$$

где KF_s – коэффициент связи средней плотности загрязнения территории НП типа *s* со средней годовой эффективной дозой внешнего облучения жителей НП, мЗв / (кБк·м⁻²)·(мЗв/(Ки·км⁻²));

σ_{Cs} – средняя плотность загрязнения территории НП цезием-137, кБк/м² (Ки/км²).

В таблице 1 представлены значения коэффициента KF_s для жителей НП типа *s*.

Таблица 1

Значения коэффициента KF_s , предлагаемые для использования в расчетах средней годовой эффективной дозы внешнего облучения жителей населенного пункта соответствующего типа

Коэффициент	Тип населенного пункта		
	сельский	поселковый	городской
KF_s , мЗв/Ки·км ⁻²	0,08	0,05	0,04
KF_s , мЗв/кБк·м ⁻²	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$

Средняя годовая эффективная доза внутреннего облучения оценивается двумя способами.

Результаты измерений содержания цезия-137 в организме человека на СИЧ являются наиболее достоверными данными для оценки дозы внутреннего облучения от цезия-137. При наличии достаточного количества результатов СИЧ-измерений содержания цезия-137 в организме жителей конкретного НП используются данные СИЧ-измерений за последние три года. Критерий достаточности объема данных СИЧ-измерений содержания цезия-137 в организме жителей для НП с определенной численностью населения представлен в таблице 2.

Таблица 2

Необходимый и достаточный с вероятностью 0,95 объем выборки для корректной оценки текущих доз облучения жителей в НП

Число жителей в населенном пункте	Объем выборки			
	<100	100–1000	1000–10000	>10000
Объем выборки	Не менее 85% от общей численности	Не менее 40% от общей численности	Не менее 10% от общей численности	680 человек

При достаточном количестве данных СИЧ-измерений содержания цезия-137 в организме жителей НП среднюю эффективную дозу внутреннего облучения E^{int} рассчитывают по формуле:

$$E^{int} = \frac{1}{n} \cdot \sum_i E_i^{int},$$

где *n* – численность обследуемых жителей населенного пункта;

E_i^{int} – эффективная доза внутреннего облучения *i*-го жителя, мЗв/год.

В случае отсутствия или недостатка данных СИЧ-измерений средняя годовая эффективная доза внутрен-

него облучения оценивается по среднему суточному поступлению цезия-137 в организм жителей НП.

Среднее суточное поступление цезия-137 в организм жителей НП (*q*) определяется по уравнению линейной регрессии вида [6]:

$$q = a + b \cdot \sigma_{Cs}$$

где *q* – среднее суточное поступление цезия-137 в организм, Бк/сутки;

a и *b* – эмпирически полученные для каждого из трех регионов коэффициенты связи поступления цезия-137 с плотностью загрязнения территории населенного пункта цезием-137;

σ_{Cs} – средняя плотность загрязнения ¹³⁷Cs территории НП, кБк/м².

Инструкция по применению была использована в качестве методической основы оценки средних годовых эффективных доз облучения жителей НП, расположенных на загрязненных радионуклидами территориях, и создания Каталога доз.

Результаты и обсуждение

Поскольку дозы внешнего и внутреннего облучения населения, проживающего на загрязненных чернобыльскими радионуклидами территориях, обусловлены, в основном, содержанием цезия-137 в объектах окружающей среды и поступлением его в организм человека с продуктами питания местного произрастания и производства, вклад других радионуклидов (⁹⁰Sr и ^{238,239,240}Pu) в СГЭД облучения жителей населенных пунктов, расположенных на загрязненных территориях, не учитывался.

Дано обоснование того, что вклад стронция-90 в СГЭД облучения жителей НП, расположенных на загрязненных территориях, не превышает сотой доли от 1 мЗв/год.

По результатам проведенных радиохимических исследований 57 проб молока, отобранных в течение 2008 г. в 23 НП Брагинского, Наровлянского и Хойникского районов Гомельской области, в которых было отмечено превышение нормативного значения РДУ-99 содержания ⁹⁰Sr (3,7 Бк/л), были оценены дозы внутреннего облучения жителей ряда НП. Следует отметить, что расчеты проведены для случаев превышения содержания радионуклида в молоке, регламентированного РДУ-99.

Результаты оценок дозы внутреннего облучения от радионуклида ⁹⁰Sr представлены в таблице 3.

Как видно из представленных в таблице 3 данных, доза внутреннего облучения от ⁹⁰Sr у жителей обследованных НП не превышает сотых долей 1 мЗв. Поэтому при расчете СГЭД представляется нецелесообразным учитывать вклад ⁹⁰Sr в СГЭД облучения.

В публикации МКРЗ № 103 «отдаленный период после аварии относится к понятию «текущее облучение» [5]. В этих условиях с применением требований публикации МКРЗ № 101 вводится понятие репрезентативного человека как представительного члена наиболее облучаемой группы жителей НП [4]. Эта группа составляет в среднем 10% (±30%) наиболее облучаемых однородных по дозе лиц среди всех жителей каждого НП [7]. СГЭД внутреннего облучения этой наиболее облучаемой группы отличается от средней в НП дозы в 3 (±15%) раза [8].

Таблица 3
Средняя доза внутреннего облучения жителей населенных пунктов Брагинского, Наровлянского и Хойникского районов от ⁹⁰Sr

Район	Населенный пункт	Плотность загрязнения ¹³⁷ Cs, Ки/км ²	Средняя удельная активность ⁹⁰ Sr в молоке, Бк/л	Доза внутреннего облучения от ⁹⁰ Sr, мЗв/год
Брагинский	Гдень	1,90	2,26	0,006
	Котловица	2,52	3,56	0,010
	Червоное Поле	6,00	2,76	0,008
	Дубровное	9,79	3,94	0,011
	Бакуны	7,25	4,73	0,013
	Грушное	2,33	3,85	0,011
	Двор-Савичи	4,04	3,47	0,010
	Комарин	2,05	2,85	0,008
	Наровлянский	Конотоп	14,04	3,69
Киров		13,71	3,51	0,010
Хоменки		13,85	3,59	0,010
Хойникский	Туневщина	2,85	2,75	0,008
	Хвойное	2,41	3,62	0,010
	Моклище	2,12	3,24	0,009
	Кореневка	2,98	3,54	0,010
	Дворище	10,45	4,49	0,013
	Новоселки	9,92	3,90	0,011
	Храпково	5,33	3,80	0,011
	Кливы	2,84	3,68	0,010
	Велетин	6,16	3,55	0,010
Звенятское	6,87	3,26	0,009	
Хойники	2,30	3,86	0,011	

Оценка СГЭД внешнего облучения проведена для наиболее облучаемой группы из взрослых жителей конкретного НП: лиц рабочих сельскохозяйственных профессий. Оценка СГЭД внутреннего облучения проведена двумя способами:

1) по среднему значению дозы внутреннего облучения, оцененному по результатам достаточного количества непосредственных СИЧ-измерений в НП, для критической группы;

2) по регрессионной модели для каждого из трёх регионов, образованных по предварительно выполненной классификации с учётом условий формирования средней дозы внутреннего облучения критической группы каждого НП, т.е. с тем же консерватизмом, задолженным в исходных данных модели.

Рассчитанная суммарная СГЭД облучения жителей НП, находящихся на радиоактивно загрязнённых территориях, может превышать среднюю фактическую дозу облучения жителей НП в 2,2–2,5 раза. Заложенный в алгоритм расчета дозы консерватизм позволяет избежать ее недооценки.

В таблице 4 представлено распределение НП и численности жителей Беларуси по дозовым диапазонам, превышающим и равным 1 мЗв/год

Таблица 4
Распределение населённых пунктов и численности населения Беларуси по дозовым диапазонам, превышающим и равным 1 мЗв/год

Диапазон средних годовых доз, мЗв/год	Область	Количество НП	Численность проживающего населения, чел.
>1	Брестская	5	4841
	Гомельская	142	39844
	Могилёвская	44	3443
	Итого	191	48128
=1	Гомельская	2	6214
	Итого	2	6214
>1 – <2	Брестская	5	4841
	Гомельская	120	37196
	Могилёвская	38	3362
	Итого	165	45399
≥2 – <3	Гомельская	17	2132
	Могилёвская	4	78
	Итого	21	2210
≥3 – <4	Гомельская	1	1
	Могилёвская	2	3
	Итого	3	4
≥4	Гомельская	4	515

Как видно из данных таблицы 4, СГЭД превысила 1 мЗв/год в 191 НП из 2613, в которых проживает ~ 50 000 человек, в 2 НП СГЭД составила 1 мЗв/год. Ни в одном из НП СГЭД не превысила 5 мЗв/год.

Проведен сравнительный анализ СГЭД облучения жителей НП, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения, представленных в трёх Каталогах доз: 1992, 2004 и 2009. На рисунке представлены интегральные распределения СГЭД жителей НП, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения, соответствующие трем периодам. Как видно из рисунка и данных таблицы 5, наблюдается общая тенденция к снижению СГЭД.

Таблица 5
Параметры распределения СГЭД облучения жителей населенных пунктов, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения

Параметр	СГЭД		
	1992 г.	2004 г.	2009 г.
Среднее, мЗв/год	0,99	0,83	0,46
Медиана, мЗв/год	0,70	0,59	0,35
Стандартное геометрическое отклонение	2,01	1,99	1,83
Нижняя граница ошибки среднего, мЗв/год	0,35	0,30	0,19
Верхняя граница ошибки среднего, мЗв/год	1,41	1,17	0,64

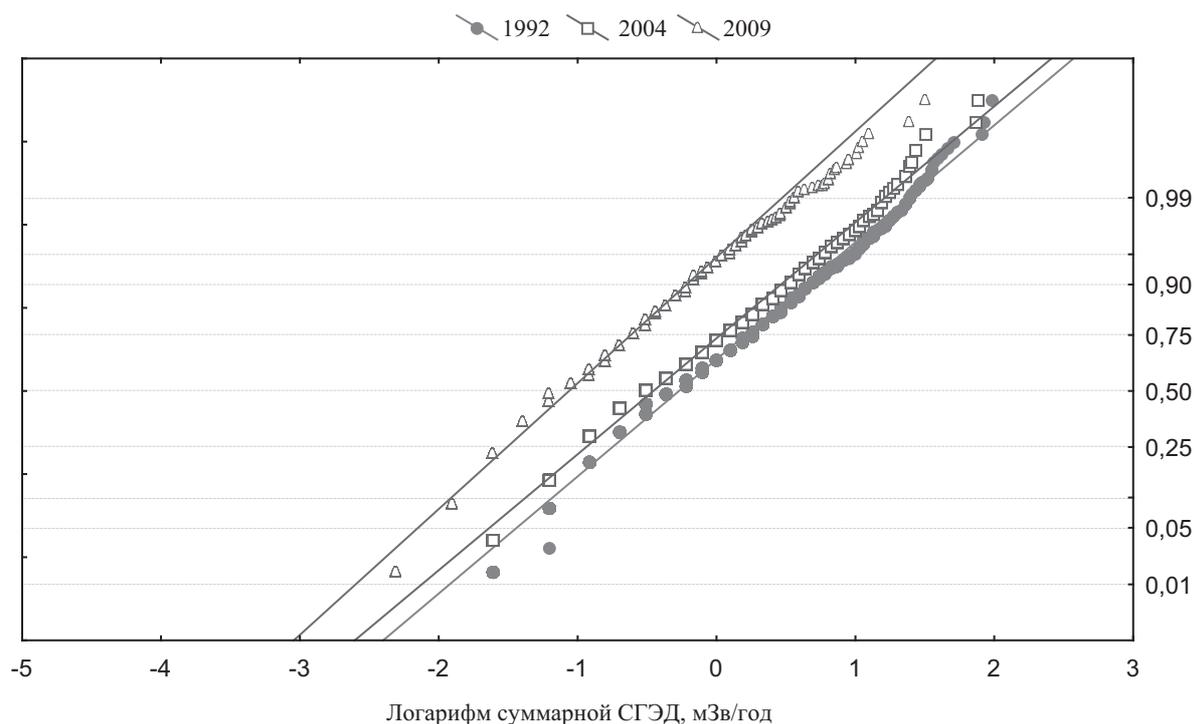


Рис. Распределение СГЭД облучения жителей НП, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения

Очевидно, близкие значения стандартного геометрического отклонения распределения СГЭД трех Каталогов и практически параллельность распределений свидетельствуют об адекватности выбранного методического подхода.

Оценена экономическая эффективность использования разработанной методики оценки СГЭД. Как известно, для оценки СГЭД внутреннего облучения по традиционной методике необходимо провести сбор и спектрометрический анализ 15 проб молока и 5 проб картофеля в каждом из 2613 НП, подлежащих зонированию. Стоимость проведения анализа одной пробы пищевого продукта составляет 4 USD в ценах 2009 г. Экономические затраты составили 280 000 USD без учёта оплаты труда по организации, сбору и доставке проб с места отбора.

Выводы

1. Все ранее разработанные методики оценки СГЭД, за исключением 2004 г., использовали модели, основанные на потреблении загрязненного молока и картофеля. В основу методики положены результаты СИЧ-измерений. Результаты СИЧ-измерений являются интегральным показателем уже поступившего в организм человека с продуктами питания цезия-137.

2. Разработанная методика в части СГЭД внутреннего облучения основана на регрессионной зависимости поступления цезия-137 в организм с рационом питания, оцененного по результатам СИЧ-измерений, от средней плотности загрязнения территории НП.

3. Данные Каталога, наряду с плотностью загрязнения территории НП, явились основанием для принятия постановления Совета Министров Республики Беларусь № 132 «Об утверждении перечня населённых пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения», 01.02.2010.

4. Анализ развития методологии оценок доз внутреннего облучения в отдалённый период чернобыльской аварии для целей зонирования показал, что переход к моделям, основанным на СИЧ-измерениях, является оправданным шагом.

Литература

1. Закон Республики Беларусь № 9–3 «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС, других радиационных аварий» : принят 06.01.2009. – Минск, 2009.
2. Закон Республики Беларусь № № 1227-XII «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» принят 12.11.1991. – Минск, 1991.
3. Оценка средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов, расположенных на территориях, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Инструкция по применению № 044-0508: утв. МЗ РБ 27.06.08. – Гомель, 2008. – 16 с.
4. Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of Radiation Protection of the Public and The Optimization of Radiological Protection: Broadening the Process / Publication 101 of the ICR / Published by Elsevier Ltd. 2006.
5. The Recommendations of the International Commission of Radioacological Protection / Publication 103 of the ICR / Editor J. Valentin. 2007.

6. Власова, Н.Г. Статистический анализ результатов СИЧ-измерений для оценки дозы внутреннего облучения сельских жителей в отдаленный период аварии на ЧАЭС / Н.Г. Власова, Л.А. Чунихин, Д.Н. Дроздов // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2009. – № 4. – С. 397–406.
7. Власова, Н.Г. К методике выявления критической группы среди сельских жителей с помощью статистического анализа распределения дозы // Достижения медицинской науки Беларуси. – Минск: БелЦНМИ. – Выпуск V. – 2000. – С. 66.
8. Радиационный мониторинг облучения населения в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС. Отчёт по ТС проекту RER/9/074 // МАГАТЭ. – Вена, 2007. – 119 с.

N.G. Vlasova

Assessment of the average annual effective doses for the inhabitants of the settlements located in the territories contaminated due to the Chernobyl accident

Republican Research Center for Radiation Medicine and Human Ecology, Gomel

Abstract. Catalogue of the average annual effective exposure doses of the inhabitants of the territories contaminated due to the Chernobyl accident had been developed according to the method of the assessment of the average annual effective exposure doses of the settlements inhabitants. The cost-efficacy of the use of the average annual effective dose assessment method was 250 000 USD for the current 5 years. Average annual effective dose exceeded 1 mSv/year for 191 Belarus settlements from 2613. About 50 000 persons are living in these settlements.

Key words: settlement, average annual effective dose, doses Catalogue.

Поступила: 03.02.2012 г.

Н.Г. Власова
Тел.: (8-375-232)38-95-22
E-mail: Natalie_Vlasova@mail.ru