DOI: 10.21870/0131-3878-2017-26-3-28-45

Разработка и верификация технологии реконструкции эффективных доз облучения населения России после аварии на ЧАЭС

Власов О.К.¹, Брук Г.Я.², Щукина Н.В.¹

¹ МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск,

² ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург

Изложена технология реконструкции средних по населённым пунктам годовых накопленных доз внешнего, внутреннего облучения и эффективных доз облучения населения 4-х областей Российской Федерации, загрязнённых после аварии на ЧАЭС. В работе использованы методические документы официального сборника по расчёту средних по населённым пунктам доз внешнего и внутреннего облучения населения, справочники доз облучения. Разработанный метод предназначен для радиационно-эпидемиологических исследований, проводимых в Национальном радиационно-эпидемиологическом регистре (НРЭР). Приводятся результаты реконструкции годовых и накопленных с 1986 по 2016 гг. средних по населённым пунктам доз внешнего, внутреннего облучения, эффективных доз облучения взрослого населения с их корректировкой на данные справочников доз облучения, накопленных с 1986 по 1995 гг. Выполнена верификация реконструированных доз, накопленных по 2005 г. Проведён перерасчёт данных справочников средних годовых эффективных доз внутреннего и внешнего облучения населения (СГЭД₉₀) в 2007, 2011 и 2014 гг., применяемых для целей зонирования населённых пунктов, к средним дозам по населённым пунктам, используемым в радиационно-эпидемиологических исследованиях. Сопоставление реконструированных годовых доз облучения населения за 2007, 2011 и 2014 гг. с дозами справочников, пересчитанными к дозам, средним по населённым пунктам, показало их удовлетворительное согласие.

Ключевые слова: авария на ЧАЭС, радиационно-эпидемиологические исследования, справочники доз облучения, сборник методических документов, население, динамика накопления доз, средние по населённым пунктам дозы, дозы критических групп, метод реконструкции доз облучения, годовые, накопленные и эффективные дозы облучения, верификация реконструированных доз.

Для радиационно-эпидемиологических исследований, проводимых в Национальном радиационно-эпидемиологическом регистре (НРЭР), используется информация о годовой динамике накопления эффективных доз облучения населения за протяжённый период времени в 4-х наиболее загрязнённых радионуклидами после аварии на ЧАЭС областях Российской Федерации: Брянской, Калужской, Орловской и Тульской.

Методическим обоснованием для разработки технологии реконструкции доз облучения являются методические указания [1], каталоги средних эффективных накопленных доз внешнего, внутреннего и полных эффективных доз облучения населения, проживающего на территории с плотностью выпадения ¹³⁷Cs более 37 кБк/м² [2-5]. В каталоге [4] приведены накопленные с 1986 по 2001 гг. эффективные дозы облучения населения (включая дозы облучения щитовидной железы), без выделения доз внешнего и внутреннего облучения.

Сведений, приведённых в официальных каталогах [2-5] о средних накопленных эффективных дозах облучения населения, недостаточно для проведения радиэкологических исследований по двум причинам:

- данных о накопленных с 1986 по 1995 гг., с 1986 по 2005 гг. и с 1986 по 2016 гг. дозах внешнего и внутреннего облучения недостаточно для восстановления годовой динамики их накопления;

Власов О.К. – зав. лаб., д.т.н.; Щукина Н.В.* – ст. научн. сотр. МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. Брук Г.Я. – зав. лаб., к.т.н. ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева.

*Контакты: 249036, Калужская обл., Обнинск, ул. Королёва, 4. Тел.: (484) 399-32-45; e-mail: nrer@obninsk.com.

- отсутствие данных для населённых пунктов (НП) с плотностями выпадения ^{137}Cs менее 37 кБк/м^2 .

Эти причины привели к необходимости разработки соответствующей технологии реконструкции годовой динамики накопления доз внутреннего, внешнего и эффективных доз облучения для всех НП 4-х наиболее загрязнённых областей РФ: Брянской, Калужской, Орловской и Тульской (более 12 тыс. НП).

Динамика накопления доз внешнего облучения населения рассчитывалась по соотношениям методических указаний [1] с использованием, созданной в НРЭР, эталонной базы данных (ЭБД) о типах НП и типах почв по механическому составу в их ареалах, плотностях выпадения ^{137}Cs и данным методических указаний [1] о среднем по районам времени начала, окончания выпадений, радиоизотопных составах выпадений продуктов аварии на ЧАЭС на местность. Расчёты показали, что число НП со значительными отклонениями расчётных величин доз от данных каталога [2] невелико (рис. 1).

Рис. 1. Гистограммы рассеивания доз внешнего облучения взрослого населения Брянской области за первый год после аварии (а) и по 1995 г. (б) (расчёт – каталог [2]).

Здесь важно отметить, что в методических указаниях [1] методика оценки доз внешнего облучения основана на соотношениях для расчёта экспозиционных доз в воздухе с переходом к средним по НП поглощённым дозам за счёт учёта дозовых коэффициентов, режимов поведения населения и защитных свойств зданий. Дозы внутреннего облучения в каталогах [2, 3] также относятся к средним в НП дозам взрослого населения.

Последнее наглядно видно из сопоставления данных каталога [2] для доз внутреннего облучения за 1986 г. (аэральный путь загрязнения растительности) и за период 1987-1995 гг. (корневой путь) в сильно и мало загрязнённых районах Брянской области (рис. 2). В сильно загрязнённых районах дозы внутреннего облучения были эффективно снижены путём поставки в НП контролируемой территории «радиационно чистых» пищевых продуктов, введения запрета на потребление местных животных и природных пищевых продуктов, специальных мер в сельскохозяйственном производстве. В остальных мало загрязнённых районах такие мероприятия почти не проводились. Эти особенности привели к различным закономерностям зависимостей доз внутреннего облучения населения от плотности выпадения ^{137}Cs в НП (рис. 2).

Рис. 2. Зависимость доз внутреннего облучения населения Брянской области за 1986 г. и с 1987 по 1995 гг. от плотности выпадения ^{137}Cs .

Отметим, что в методических указаниях [1] в методике расчёта доз внутреннего облучения содержатся только табличные данные о динамике коэффициентов перехода ^{137}Cs из почв различного механического состава в основные дозообразующие продукты питания: молоко, картофель, грибы и годовые рационы их потребления взрослыми жителями.

Ранее нами в работе [6] был развит и в работе [7] реализован метод расчёта средних по НП доз внутреннего облучения населения, основанный на методических указаниях [1], электронной почвенной карте загрязнённых областей РФ, каталоге эффективных доз [2] и данных о плотностях выпадения ^{137}Cs во всех НП Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей.

Метод основан на корректировке расчётных данных о динамике доз внутреннего облучения населения загрязнённых областей к данным каталогов доз и проводился в несколько этапов.

- Сначала с использованием методических указаний [1] и ЭБД о типах почв в ареалах всех НП 4-х областей рассчитывались дозы внутреннего облучения населения, накопленные за первый год после аварии во всех НП.
- Далее, эти дозы нормировались на отношение районированных регрессионных зависимостей данных каталога от плотности выпадения ^{137}Cs в НП из каталога [2] к аналогичным регрессионным зависимостям расчётных доз по соотношению:

$$D_{\text{внутр}}^{\text{корр}}(\sigma_{\text{Cs}}, J_k) = D_{\text{внутр}}^{\text{расч}}(\sigma_{\text{Cs}}, J_k) \cdot \frac{R^{\text{кат}}(\sigma_{\text{Cs}}, J_k)}{R^{\text{расч}}(\sigma_{\text{Cs}}, J_k)}, \quad (1)$$

где $D_{\text{внутр}}^{\text{корр}}$ и $D_{\text{внутр}}^{\text{расч}}$ – соответственно дозы после и до коррекции, σ_{Cs} – плотность выпадения ^{137}Cs , J_k – населённый пункт с k -ым типом почв по механическому составу, $R^{\text{кат}}$, $R^{\text{расч}}$ – соответственно регрессии для данных каталога и для расчётных доз.

- Далее, для НП из каталога за 1995 г. [2] проводилась корректировка базы данных о типах почв таким образом, чтобы расчётные дозы внутреннего облучения за период с 1987 по 1995 гг. совпадали с данными каталога [2]; для остальных НП корректировка ЭБД о типах почв проводилась таким образом, чтобы районированные регрессионные соотношения для зависимостей доз внутреннего облучения за период с 1987 по 1995 гг. от плотности выпадения ^{137}Cs в этих НП совпадали с аналогичными районированными зависимостями для данных каталога [2].

Результаты использования данного метода корректировки доз внутреннего облучения, приведённые на рис. 3 и 4 для всех 4-х областей, показывают их вполне удовлетворительное согласие с данными каталога [2].

Рис. 3. Зависимости расчётных доз и доз каталога [2] внутреннего облучения населения Брянской и Калужской областей в целом за первый год и по 1995 г. от плотности выпадения ^{137}Cs в населённых пунктах.

Для верификации разработанной технологии были рассчитаны дозы внешнего, внутреннего облучения и эффективные дозы, накопленные с 1986 по 2001 гг. и с 1986 по 2005 гг. Составление диаграмм рассеивания расчётных доз с дозами каталогов [3, 4] и их зависимостей от плотности выпадения ^{137}Cs , приведённые на рис. 5 для Брянской области, также показывает их вполне удовлетворительное согласие.

Такое же согласие наблюдается и между расчётными эффективными дозами, накопленными с 1986 по 1995 гг. и с 1986 по 2005 гг. и данными каталогов [2, 3] (рис. 6).

Рис. 4. Зависимости расчётных доз и доз каталога [2] внутреннего облучения населения Орловской и Тульской областей в целом за первый год и по 1995 г. от плотности выпадения ^{137}Cs в населённых пунктах.

Рис. 5. Сравнительные данные каталогов [4] (а, б) и [3] (в, г) и расчётных накопленных с 1986 по 2001 гг. и с 1986 по 2005 гг. доз облучения населения Брянской области. MeanGs и StdevGs – соответственно среднегеометрическое значение и среднегеометрическое отклонение расчётных доз к данным каталогов.

Рис. 5 (окончание). Сравнительные данные каталогов [4] (а, б) и [3] (в, г) и расчётных накопленных с 1986 по 2001 гг. и с 1986 по 2005 гг. доз облучения населения Брянской области. MeanGs и StdevGs – соответственно среднегеометрическое значение и среднегеометрическое отклонение расчётных доз к данным каталогов.

Рис. 6. Гистограммы рассеивания расчётные накопленные с 1986 по 1995 гг. (а) и с 1986 по 2005 гг. (б) эффективные дозы – данные каталогов [2] и [3]. MeanGs и StdevGs – соответственно среднегеометрическое значение и среднегеометрическое отклонение расчётных доз к данным каталогов.

Дополнительная верификация была проведена с использованием данных справочников среднегодовых доз (СГЭД₉₀) внешнего, внутреннего облучения и эффективных доз облучения жителей [8-10] СГЭД₉₀, рассчитанных для целей зонирования населённых пунктов. Сама величина СГЭД₉₀ определялась в соответствии с методическими указаниями [9] как 90%-ый квантиль в распределении годовых доз в НП, рассчитанных для условий «без активных мер радиационной защиты».

Все расчёты СГЭД₉₀ для справочников доз [8-10] проводились согласно действующим методическим указаниям (МУ) МУ 2.6.1.784-99, МУ 2.6.1.1101-02, МУ 2.6.1.2319-08, МУ 2.6.1.3154-13 и МУ 2.6.12003-05 [11-15].

В этих МУ в качестве исходных данных для проведения расчётов были использованы:

- «результаты измерений удельной активности ^{137}Cs в пробах молока, картофеля и грибов местного происхождения;
- данные о группах и типах почв, преобладающих в НП или общественных хозяйствах;
- данные о структуре жилого фонда в НП;
- официальные данные Росгидромета за 01.01.2014 г. и за предыдущие годы по плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в НП» [16].

Между тем, для проведения радиационно-эпидемиологических исследований необходима информация о средних по НП дозах облучения населения. Для получения такой информации из данных справочников доз [8-10] необходимо было выполнить следующие работы:

- определить коэффициенты пересчёта от величин СГЭД₉₀ для годовых доз внешнего и внутреннего облучения населения, определённых как 90%-ый квантиль в распределении годовых доз, к их средним значениям в населённых пунктах;
- провести корректировку используемого нами метода расчёта доз внешнего и внутреннего облучения населения по сборнику методик [1] с учётом того, что при расчётах доз для справочников использовались данные прямых измерений продуктов питания, данные о структуре жилого и прямые данные земельного фонда.

Технология пересчёта от СГЭД₉₀ к средним дозам в населённых пунктах

Эффективные дозы облучения населения складываются из трёх компонентов: дозы внешнего облучения, дозы внутреннего облучения в год аварии за счёт ингаляционного и пищевого пути поступления радионуклидов цезия в их организм при поверхностном загрязнении сельскохозяйственной растительности и в последующие годы – за счёт пищевого пути поступления радионуклидов цезия в организм при корневом пути загрязнении сельскохозяйственной растительности.

В работе [17] по результатам анализа индивидуальных доз внутреннего облучения всего тела и щитовидной железы жителей с радиометрией в год аварии было установлено, что распределения индивидуальных инструментальных доз внутреннего облучения щитовидной железы и всего тела жителей по их числу в НП, приведённых к одному и тому же возрасту, имеют вид лог-нормального закона. В работе [18] выполнены оценки неопределённости доз облучения российских ликвидаторов с учётом их проживания на загрязнённых радионуклидами территориях РФ. Для целей нашей работы представляет интерес раздел, посвящённый оценкам неопределённости доз внешнего и внутреннего облучения населения по данным методических указаний [15].

Методические указания [15] предназначены для проведения расчётов текущих средних годовых эффективных доз (СГЭД_{крит}) облучения критических (наиболее облучаемых) групп населения, проживающих в НП Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на ЧАЭС. В методике приводятся соотношения между дозами внутреннего (intX) и внешнего (extX) облучения критических групп населения и аналогичными дозами городских и сельских жителей средними в НП трёх типов: сельских (X=1), посёлков городского типа (X=2) и городов (X=3). Величины соотношений между дозами облучения критических групп населения и средними дозами в НП были использованы в работе [18] для оценок параметров

распределений индивидуальных доз внешнего и внутреннего облучения жителей НП. Оценки были сделаны с учётом того, что распределения доз внешнего и внутреннего облучения жителей НП имеют вид логнормального закона. С учётом вышеизложенного и того, что под критической группой жителей НП в методических указаниях [15] понимается 10% от их общей численности с наибольшими дозами, а также согласно тому, что при оценках СГЭД_{крит} используются методические приёмы [19], благодаря которым определяются близкие к фактическим дозы облучения, в нашей работе [18] приведено следующее выражение для определения средней дозы критической группы жителей:

$$\frac{D_{КГр}}{D_{НП}^{факт}} = \frac{\int_{\left(\frac{D_{0,9}(D_{НП}^{факт}, \sigma_{НП})}{D_{НП}^{факт}}\right)}^{\infty} \left(\frac{x}{D_{НП}^{факт}}\right) \cdot e^{-\frac{(x/D_{НП}^{факт})^2}{2\pi\sigma_{НП}^2}} d\left(\frac{x}{D_{НП}^{факт}}\right)}{\int_{\left(\frac{D_{0,9}(D_{НП}^{факт}, \sigma_{НП})}{D_{НП}^{факт}}\right)}^{\infty} e^{-\frac{(x/D_{НП}^{факт})^2}{2\pi\sigma_{НП}^2}} d\left(\frac{x}{D_{НП}^{факт}}\right)}, \quad (2)$$

где $D_{0,9}(D_{НП}^{факт}, \sigma_{НП})$ – нижняя граница доз критической группы населения; $D_{НП}^{факт}$ и $\sigma_{НП}$ – среднегеометрическое значение и стандартное отклонение распределения численности населения по фактическим дозам их облучения.

Поскольку $\frac{D_{КГр}}{D_{НП}^{факт}}$ известно, соотношение (2) представляет собой нелинейное уравнение относительно стандартного отклонения распределения численности населения в НП по фактическим дозам их облучения $\sigma_{НП}$. В работе [18] приведены результаты численного решения этого уравнения для всех вышеперечисленных групп населения и типов НП. Данные о стандартных среднегеометрических отклонениях распределений индивидуальных фактических доз внешнего и внутреннего облучения жителей НП разных типов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Стандартные среднегеометрические отклонения распределений фактических доз внешнего и внутреннего облучения жителей населённых пунктов разных типов

Тип НП	Вид облучения	$\sigma_{НП}$
Село, поселок, деревня	внешнее (ext1)	1,44
	внутреннее (int1)	1,92
Поселок городского типа, город	внешнее (ext23)	1,50
	внутреннее (int23)	2,22

В качестве первого приближения для оценок среднеквадратических стандартных отклонений распределений фактических доз в работе [18] были приняты их следующие величины: для доз внешнего облучения – $\sigma_{ext}=1,5$, для доз внутреннего облучения сельских (int1) и городских жителей (int23) соответственно: $\sigma_{int1}=1,9$, $\sigma_{int23}=2,2$.

Далее из уравнения (3):

$$\frac{D_{09}^{справ}}{D_{НП}^{факт}} \cdot \left(\frac{x}{D_{НП}^{факт}} \right)^2 \int_0^{Y_{09}} e^{-\frac{y^2}{2\pi\sigma_{НП}^2}} d\left(\frac{x}{D_{НП}^{факт}}\right) = \int_0^{Y_{09}} e^{-\frac{y^2}{2\pi\sigma_{НП}^2}} d(y) = 0,9 \quad (3)$$

с одним неизвестным Y_{09} для каждого значения $\sigma_{НП}$ находим искомые величины отношения

$$\frac{D_{09}^{справ}}{D_{НП}^{факт}}.$$

Эти значения равны: 1,7 – для доз внешнего облучения ($K_{D_{ext}}$), 2,3 – для доз внутреннего облучения сельских ($K_{D_{int1}}$) и 2,7 – для доз внутреннего облучения городских жителей ($K_{D_{int2}}$). Принимая это во внимание, запишем:

$$\frac{D_{09}^{eff}}{D_{НП}^{факт}} = \frac{D_{09}^{ext} + D_{09}^{int}}{D_{НП}^{факт}} = \frac{1 + \frac{D_{09}^{int}}{D_{09}^{ext}}}{\frac{1}{K_{D_{ext}}} + \frac{D_{09}^{int}}{K_{D_{int}}}}. \quad (4)$$

Рассчитанные по данным [9, 10] за период с 2011 по 2014 гг. среднегеометрические значения отношения $\frac{D_{09}^{eff}}{D_{НП}^{факт}}$ для сельских и городских НП Брянской, Калужской и Орловской областей приведены в табл. 2.

Таблица 2

Отношения СГЭД₉₀ к средним фактическим в населенных пунктах дозам

Область	Брянская	Калужская	Орловская
Сельские НП	1,99	1,93	1,79
ПГТ и города	2,15	2,01	1,80

Эти данные полностью совпадают с приведённой в [8] информацией о том, что «оценки СГЭД₉₀, представленные в таблицах Информационного сборника, выше фактических уровней облучения населения в 1,5-2 раза, что подтверждается многочисленными имеющимися данными прямых инструментальных измерений жителей, которые проводятся ежегодно при экспедиционных обследованиях, в том числе, с участием иностранных специалистов, а также специалистами учреждений Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека».

С использованием этих коэффициентов все величины СГЭД₉₀ $D_{09,ext}^{справ}$ и $D_{09,int}^{справ}$ могут быть пересчитаны к соответствующим величинам средних годовых доз по населённым пунктам СГЭД $D_{сп,ext}^{справ}$, $D_{сп,int}^{справ}$ и $D_{сп,eff}^{справ} = D_{сп,ext}^{справ} + D_{сп,int}^{справ}$.

Начиная с 2007 г., в справочниках 2007 г. [8], 2011 г. [9] и 2014 г. [10] приводятся дозы внешнего, внутреннего облучения и эффективные годовые дозы СГЭД₉₀. Поэтому сначала эти

данные с использованием полученных выше корректировочных коэффициентов пересчитывались к фактическим средним по НП годовым дозам (СГЭД_{факт}). Затем, с использованием описанного выше метода корректировки расчётных доз внешнего и внутреннего облучения населения по этой же технологии рассчитывались СГЭД_{факт} за 2007, 2011 и 2014 гг.

Пример данных о динамике доз внешнего, внутреннего облучения и эффективных доз до и после корректировки для НП Чекряк Болховского района Орловской области приведён на рис. 7.

Рис. 7. Динамика доз внешнего, внутреннего облучения и эффективных доз до и после корректировки для НП Чекряк Болховского района Орловской области.

Аномальный рост годовых доз внутреннего облучения с 1999 по 2000 гг. (13-14 лет после аварии) связан с постепенным увеличением вклада лесных продуктов: грибов и ягод в рационы местных жителей. Однако это увеличение практически не отразилось на динамике годовых и накопленных эффективных доз ввиду разнонаправленности результатов корректировок для доз внешнего и внутреннего облучения.

Сопоставление рассчитанных таким образом доз с данными каталогов приведено на рис. 8.

Рис. 8. Гистограммы рассеивания расчётные годовые дозы – данные каталогов за 2007 г. [8], 2011 г. [9] и 2014 г. [10], пересчитанные к годовым дозам, средним по населённым пунктам Брянской области.

Гистограммы рассеивания расчётные дозы – данные каталогов, приведённые на рис. 8, показывают, что в среднем по всему объёму данных расчётные дозы внешнего облучения в 1,2 раза больше данных каталогов, пересчитанных к средним дозам, а расчётные дозы внутреннего облучения в 1,25 раз меньше. При этом среднее отношение расчётных годовых и накопленных эффективных доз к данным каталогов равно 1,0 и 1,1. Рассеивание расчётных доз внешнего облучения относительно данных каталогов минимально и увеличивается с уменьшением плотности выпадения ^{137}Cs . Рассеивание расчётных доз внутреннего облучения относительно данных каталогов весьма существенно, не зависит от плотности выпадения ^{137}Cs и достигает порядка величины, что обусловлено, на наш взгляд, двумя причинами.

Во-первых, это связано с переходом с 2007 г. в расчётах для каталогов доз внутреннего облучения населения от использования в основном результатов радиометрии продуктов питания к расчётам годовых доз, основанным на данных о типах почв в ареалах населённых пунктов. Это подтверждается данными на рис. 9. Так, на рис. 9а приведены данные каталогов [2, 3] в виде зависимостей от плотности выпадения ^{137}Cs среднегодовых доз внутреннего облучения

населения за период с 1996 по 2005 гг.
$$\overline{D}_{2001}^{\text{год}} = \frac{(D_{2005}^{\text{накопл}} - D_{1995}^{\text{накопл}})}{10}$$
 вместе с аналогичными за-

висимостями для расчётных доз. На рис. 9а видно, что вертикальный размах зависимостей среднегодовых, за период с 1996 по 2005 гг., расчётных доз и данных каталогов [2, 3] от плотностей выпадения ^{137}Cs практически одинаков. В то же время, размах величин $\overline{D}_{2001}^{\text{год}}$ значительно больше размаха годовых доз данных каталога [9] за 2011 г., оценённых по типам почв (рис. 9б).

Рис. 9. Зависимости годовых доз внутреннего облучения населения Брянской области от плотности выпадения ^{137}Cs в населённых пунктах.

а) среднегодовые дозы $\overline{D}_{2001}^{\text{год}}$ за период с 1996 по 2005 гг. [2, 3] и расчётные дозы;

б) среднегодовые дозы $\overline{D}_{2001}^{\text{год}}$ за период с 1996 по 2005 гг. [2, 3] и годовые дозы за 2011 г. [9].

Во-вторых, несовпадение данных ЭБД о типах почв с данными ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева основано на разных источниках их получения. ЭБД основана на данных дефицита йода, скорректированных с данными каталога [2] о дозах внутреннего облучения с 1987 по 1995 гг., формирующихся только за счёт корневого поступления ^{137}Cs в продукты питания. Расчёты эффективных доз с использованием этой базы данных для доз внутреннего облучения также дают вполне удовлетворительное согласие с данными каталога [4] за 2001 г. (рис. 3).

Отметим также, что дозы облучения населения, накопленные с 1986 по 2001, с 1986 по 2005 и с 1986 по 2016 гг., в каталогах [3-5] рассчитывались путём добавления к дозам, накопленным с 1986 по 1995 гг., доз, накопленных за истекшие периоды времени.

Вполне удовлетворительное согласие расчётных доз с данными всех каталогов [2-5, 8-10] даёт основание полагать, что рассчитанная нами база данных о динамике накопленных годовых и накопленных доз внешнего, внутреннего облучения и эффективных доз относится к средним дозам в населённых пунктах и представляет собой информацию, необходимую для проведения радиационно-эпидемиологических исследований.

Заключение

Выполнена корректировка расчётных методов реконструкции динамики годовых и накопленных доз населения в населённых пунктах Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей с учётом данных справочников доз облучения в 2007 г. [8], в 2011 г. [9], 2014 г. [10] и 2016 г. [5].

Сравнительный анализ скорректированных реконструированных данных с данными справочников доз показал их вполне удовлетворительное согласие, достаточное для проведения радиационно-эпидемиологических исследований.

Литература

1. Методические указания МУ 2.6.1.579-96 «Реконструкция средней накопленной в 1986-1995 гг. эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году». М.: Минздрав России, 1996. 33 с.
2. Накопленные средние эффективные дозы //Радиация и риск. 1999. Спецвыпуск 1. С. 3-129.
3. **Брук Г.Я., Балонов М.И., Голиков В.Ю., Базюкин А.Б., Романович И.К., Шутов В.Н., Звонова И.А., Жеско Т.В., Константинов Ю.О., Пархоменко В.И., Кравцова О.С., Кадука М.В., Кайдановский Г.Н., Братилова А.А., Травникова И.Г., Яковлев В.А., Власов А.Ю., Власов О.К., Щукина Н.В., Перминова Г.С., Липатова О.В., Марченко Т.А.** Средние накопленные за 1986-2005 годы эффективные дозы облучения жителей населённых пунктов Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей Российской Федерации, отнесённых к зонам радиоактивного загрязнения по постановлению правительства Российской Федерации № 1582 от 18 декабря 1997 года «Об утверждении перечня населённых пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» //Радиация и риск. 2007. Т. 16, № 1. С. 3-73.
4. Средние накопленные за 1986-2001 гг. эффективные дозы облучения (включая дозы облучения щитовидной железы) населения жителей населённых пунктов Брянской, Калужской, Липецкой, Орловской, Рязанской и Тульской областей Российской Федерации, отнесённых к зонам радиоактивного загрязнения по постановлению Правительства Российской Федерации № 1582 от 18 декабря 1997 года «Об утверждении Перечня населённых пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» /Под ред. к.т.н. Г.Я. Брука, издание официальное. М.: Минздрав России, 2002.
5. **Брук Г.Я., Базюкин А.Б., Братилова А.А., Власов А.Ю., Громов А.В., Жеско Т.В., Кадука А.Н., Кадука М.В., Кравцова О.С., Романович И.К., Сапрыкин К.А., Степанов В.С., Титов Н.В., Яковлев В.А.** Средние накопленные за 1986-2016 гг. эффективные дозы облучения жителей населённых пунктов Российской Федерации, отнесённых к зонам радиоактивного загрязнения по постановлению Правительства Российской Федерации от 08.10.2015 г. № 1074 «Об утверждении Перечня населённых пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» //Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 2. С. 57-105.
6. **Власов О.К.** Схема реконструкции динамики доз внутреннего облучения населения на основе консервативных допущений, принятых в официальных методиках и при расчётах доз для каталогов //Радиация и риск. 2007. Т. 16, № 2-4. С. 109-132.
7. **Власов О.К., Годько А.М., Щукина Н.В., Коробова Е.М.** Реконструкция динамики эффективных доз облучения населения, проживающего на загрязнённой в результате аварии на ЧАЭС территории, по официальным данным //Радиация и риск. 2007. Т. 16, № 2-4. С. 92-108.
8. Средние годовые эффективные дозы облучения в 2007 году жителей населённых пунктов Российской Федерации, отнесённых к зонам радиоактивного загрязнения по постановлению Правительства Российской Федерации № 1582 от 18 декабря 1997 года «Об утверждении Перечня населённых пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» (для целей зонирования населённых пунктов): Информационный сборник /Под ред. к.т.н. Г.Я. Брука и д.м.н. И.К. Романовича. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2008. 155 с.
9. Средние годовые эффективные дозы облучения в 2011 году жителей населённых пунктов Российской Федерации, отнесённых к зонам радиоактивного загрязнения по постановлениям Правительства Российской Федерации № 1582 от 18 декабря 1997 года «Об утверждении перечня населённых пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» и № 197 от 7 апреля 2005 г. «Об изменении перечня населённых пунктов, находя-

- щихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» (для целей зонирования населённых пунктов): Информационные материалы /Под ред. к.т.н. Г.Я. Брука и д.м.н. И.К. Романовича. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2012. 166 с.
10. **Брук Г.Я., Базюкин А.Б., Братилова А.А., Власов А.Ю., Гончарова Ю.Н., Громов А.В., Жеско Т.В., Кадука М.В., Кравцова О.С., Романович И.К., Сапрыкин К.А., Степанов В.С., Титов Н.В., Травникова И.Г., Тутельян О.Е., Яковлев В.А.** Средние годовые эффективные дозы облучения в 2014 году жителей населённых пунктов Российской Федерации, отнесённых к зонам радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (для целей зонирования населённых пунктов) //Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 2. С. 32-128.
 11. Методические указания МУ 2.6.1.784-99 «Зонирование населённых пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, по критерию годовой дозы облучения населения». М.: Минздрав России, 1999.
 12. Методические указания МУ 2.6.1.1101-02 «Зонирование населённых пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, по критерию годовой дозы облучения населения». Дополнение № 1 к МУ 2.6.1.784-99. М.: Минздрав России, 2002.
 13. Методические указания МУ 2.6.1.2319-08 «Зонирование населённых пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, по критерию годовой дозы облучения населения». Дополнение № 2 к МУ 2.6.1.784-99: М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. 7 с.
 14. Методические указания МУ 2.6.1.3154-13 «Зонирование населённых пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, по критерию годовой дозы облучения населения». Изменения № 3 к МУ 2.6.1.784-99. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2013. 5 с.
 15. Методические указания МУ 2.6.1.2003-05 «Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населённых пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие катастрофы» //Оценка доз облучения населения РФ вследствие аварии на Чернобыльской АЭС: Сб. методических документов /Под ред. академика РАМН, профессора Г.Г. Онищенко. СПб, 2006. 180 с.
 16. Данные по радиоактивному загрязнению территории населённых пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239+240. Обнинск: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, НПО «Тайфун», 2000. 181 с.
 17. **Власов О.К., Щукина Н.В.** Модификация действующих методик реконструкции доз внутреннего облучения щитовидной железы и всего тела жителей населённых пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на ЧАЭС в 1986 г. Часть 4 //Радиация и риск. 2010. Т. 19, № 3. С. 71-93.
 18. **Власов О.К., Щукина Н.В., Чекин С.Ю., Туманов К.А.** Оценка неопределённости доз облучения российских ликвидаторов с учётом их проживания на загрязнённых радионуклидами территориях РФ //Радиация и риск. 2015. Т. 24, № 4. С. 20-34.
 19. **Брук Г.Я., Базюкин А.Б., Барковский А.Н., Братилова А.А., Власов А.Ю., Гончарова Ю.Н., Громов А.В., Жеско Т.В., Иванов С.А., Кадука М.В., Кравцова О.С., Кучумов В.В., Романович И.К., Сапрыкин К.А., Титов Н.В., Травникова И.Г., Яковлев В.А.** Облучение населения Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС и основные направления дальнейшей работы на предстоящий период //Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, № 4. С. 72-77.

Development and verification of the technology for reconstructing effective radiation doses for the population of Russia affected by the Chernobyl accident

Vlasov O.K.¹, Bruk G.Ya.², Shchukina N.V.¹

¹ A. Tsyb MRRC, Obninsk;

² P. Ramzaev Research Institute of Radiation Hygiene, Saint-Petersburg

The technology for reconstructing settlement-average annual cumulative radiation doses of internal and external exposure, as well as effective radiation doses for the population of four Russian oblasts radioactively contaminated following the Chernobyl accident is described. Officially approved instructional guidelines on methods for calculating settlement-average doses of external and internal exposure for the population and reference books on radiation doses are used in the study. The developed method is intended to be used in radiation-epidemiological studies, in particular the studies carried out at the National Radiation Epidemiological Registry (NRER). Results of reconstruction of settlement-average annual cumulative radiation exposure for the period from 1986 over 2016, as well as effective doses for adults matching the reference cumulative doses for the period from 1986 through 1995 are given in the article. Reconstructed cumulative doses over the year 2005 were tested. Reference annual effective doses of external and internal exposure for population of a certain settlement used in radiation-epidemiologic studies to attribute the settlement to a specific zone of population exposure were updated in 2007, 2011 and 2014. Comparison of reconstructed annual radiation doses in 2007, 2011, 2014 and recalculated reference doses with regard to settlement-average doses for population demonstrates goodness of fit between reconstructed and recalculated doses.

Key words: *Chernobyl accident, radiation and epidemiological studies, reference books of radiation doses, collection of methodical documents, population, dynamics of doses accumulation, average doses over settlements, dose of critical groups, reconstruction method of radiation doses, annual, cumulative and effective radiation doses, verification of the reconstructed doses.*

References

1. Instructional guidelines MU 2.6.1.579-96. Reconstruction of the average effective radiation dose accumulated in 1986-1995 by inhabitants of settlements of the Russian Federation subjected to radioactive contamination due to the accident at the Chernobyl NPP in 1986. Moscow, Ministry of Health of the Russian Federation, 1996. 33 p. (In Russian).
2. Accumulated average effective doses. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 1999, special issue 1, pp. 3-129. (In Russian).
3. Bruk G.Ya., Balonov M.I., Golikov V.Yu., Bazyukin A.B., Romanovich I.K., Shutov V.N., Zvonova I.A., Zhesko T.V., Konstantinov Yu.O., Parkhomenko V.I., Kravtsova O.S., Kaduka M.V., Kaydanovskiy G.N., Bratilova A.A., Travnikova I.G., Yakovlev V.A., Vlasov A.Yu., Vlasov O.K., Shchukina N.V., Perminova G.S., Lipatova O.V. Marchenko T.A. Average effective radiation doses accumulated from 1986 over 2005 by residents of the settlements located in Bryansk, Kaluga, Orel and Tula regions of the Russian Federation and attributed to zones of radioactive contamination in accordance with the Decree of the Government of the Russian Federation N 1582, of December 18, 1997 «On approval of the list of settlements located within the zones of radioactive contamination following the Chernobyl accident». *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2007, vol. 16, no. 1, pp. 3-73. (In Russian).
4. Average effective radiation doses accumulated from 1986 over 2001 by residents of the settlements located in Bryansk, Kaluga, Orel and Tula regions of the Russian Federation and attributed to zones of radioactive contamination in accordance with the Decree of the Government of the Russian Federation N 1582, of December 18, 1997 «On approval of the list of settlements located within the zones of radioactive contamination

Vlasov O.K. – Head of Lab., D.Sc., Tech.; Shchukina N.V.* – Senior Researcher. A. Tsyb MRRC. Bruk G.Ya. – Head of Lab., C.Sc., Tech. P. Ramzaev RIRH.

*Contacts: 4 Korolyov str., Obninsk, Kaluga region, Russia, 249036. Tel.: (484) 399-32-45; e-mail: nrer@obninsk.com.

- tion following the Chernobyl accident». Ed.: G.Ya. Bruk. Moscow, Ministry of Health of the Russian Federation, 2002. (In Russian).
5. **Bruk G.Ya., Bazyukin A.B., Bratilova A.A., Vlasov A.Yu., Gromov A.V., Zhesko T.V., Kaduka A.N., Kaduka M.V., Kravtsova O.S., Romanovich I.K., Saprykin K.A., Stepanov V.S., Titov N.V., Yakovlev V.A.** The average accumulated effective doses (1986-2016) for the population of the settlements of the Russian Federation attributed to the zones of radioactive contamination according to the Russian Federation government resolution «On the approval of the list of the settlements being in the borders of the zones of radioactive contamination due to the Chernobyl NPP accident» N 1074 of 08.10.2015. *Radiatsionnaya gygiena – Radiation Hygiene*, 2017, vol. 10, no. 2, pp. 57-105. (In Russian).
 6. **Vlasov O.K.** Method for reconstructing internal radiation doses for the population based on the conservative assumptions adopted in official methodologies and dose calculations for catalogues. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2007, vol. 16, no. 2-4, pp. 109-132. (In Russian).
 7. **Vlasov O.K., Godko A.M., Shchukina N.V., Korobova T.M.** Reconstruction of effective doses for the population living on the territory contaminated after the Chernobyl accident based on official data. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2007, vol. 16, no. 2-4, pp. 92-108. (In Russian).
 8. Average annual effective radiation doses in 2007 for residents of settlements of the Russian Federation, attributed to zones of radioactive contamination in accordance with the Decree of the Government of the Russian Federation N 1582, of December 18, 1997 «On approval of the list of settlements located within the zones of radioactive contamination following the Chernobyl accident» (for attributing settlements to a specific zone). Reference-book. Eds.: G.Y. Bruk and I.K. Romanovich. Moscow, Federal Supervision Agency for Customer Protection and Human Welfare, 2008. 115 p. (In Russian).
 9. Average annual effective radiation doses in 2011 for residents of settlements of the Russian Federation, attributed to zones of radioactive contamination in accordance with the Decree of the Government of the Russian Federation N 1582, of December 18, 1997 «On approval of the list of settlements located within the zones of radioactive contamination following the Chernobyl accident» and the Governmental Decree N 197, of April 7, 2005 «On changing the list of settlements located within the zones of radioactive contamination as a result of the Chernobyl accident» (for attributing settlements to a specific zone): Information materials. Eds.: G.Y. Bruk and I.K. Romanovich. Moscow, Federal Supervision Agency for Customer Protection and Human Welfare, 2012. 166 p. (In Russian).
 10. **Bruk G.Ya., Bazyukin A.B., Bratilova A.A., Vlasov A.Yu., Goncharova Yu.N., Gromov A.V., Zhesko T.V., Kaduka M.V., Kravtsova O.S., Romanovich I.K., Saprykin K.A., Stepanov V.S., Titov N.V., Travnikova I.G., Tutelyan O.E., Yakovlev V.A.** The average annual effective doses for the population in the settlements of the Russian Federation attributed to zones of radioactive contamination due to the Chernobyl accident (for zonation purposes), 2014. *Radiatsionnaya gygiena – Radiation Hygiene*, 2015, vol. 8, no. 2, pp. 32-128. (In Russian).
 11. Instructional guidelines MU 2.6.1.784-99. Attributing Russian radioactively contaminated settlements following the Chernobyl accident to a specific zone in accordance with the annual radiation dose for the public. Moscow, Ministry of Health of the Russian Federation, 1999. (In Russian).
 12. Instructional guidelines MU 2.6.1.1101-02. Attributing Russian radioactively contaminated settlements following the Chernobyl accident to a specific zone in accordance with the annual radiation dose for the public. Annex N 1 to MU 2.6.1.784-99. Moscow, Ministry of Health of the Russian Federation, 2002. (In Russian).
 13. Instructional guidelines MU 2.6.1.2319-08. Attributing Russian radioactively contaminated settlements following the Chernobyl accident to a specific zone in accordance with the annual radiation dose for the public. Annex N 2 to MU 2.6.1.784-99. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2008. (In Russian).
 14. Instructional guidelines MU 2.6.1.3154-13. Attributing Russian radioactively contaminated settlements following the Chernobyl accident to a specific zone in accordance with the annual radiation dose for the public.

- Amendments N 3 to MU 2.6.1.784-99. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2013. (In Russian).
15. Instructional guidelines MU 2.6.1.2003-05. Estimating average annual effective radiation doses for critical groups of residents of settlements of the Russian Federation exposed to radioactive contamination due to the Chernobyl accident. In: Estimating radiation doses for population of the RF due to the Chernobyl accident. Collection of guidance documents. Ed.: G.G. Onishchenko. Sankt-Peterburg, 2006, 180 p. (In Russian).
 16. Data on radioactive contamination of the settlements of the Russian Federation with cesium-137, strontium-90 and plutonium-239+240. Obninsk, Federal Service of Russia for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, SPA "Typhoon", 2000, 181 p. (In Russian).
 17. **Vlasov O.K., Shchukina N.V.** Updating of official technique of reconstruction of thyroid and all body internal irradiation doses of Russian Federation inhabitants, undergone to radioactive fallout owing to ChNPP accident in 1986. Part 4. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2010, vol. 19, no. 3, pp. 71-93. (In Russian).
 18. **Vlasov O.K., Shchukina N.V., Chekin S.Yu., Tumanov K.A.** Uncertainty in assessment of radiation doses to Russian clean-up workers residing in territories contaminated with radionuclides. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2015, vol. 24, no. 4, pp. 20-34. (In Russian).
 19. **Bruk G.Ya., Bazykin A.B., Barkovsky A.N., Bratilova A.A., Vlasov A.Yu., Goncharova Yu.N., Gromov A.V., Zhesko T.V., Ivanov S.A., Kaduka M.V., Kravtsova O.S., Kuchumov V.V., Romanovich I.K., Saprykin K.A., Titov N.V., Travnikova I.G., Yakovlev V.A.** The exposure for populations of the Russian Federation due to the Chernobyl accident and main directions of further work in the coming period. *Radiatsionnaya gygiena – Radiation Hygiene*, 2014, vol. 7, no. 4, pp. 72-77.