

УДК 504.064:614.876

И. А. Лихтарев¹, Л. Н. Ковган¹, С. В. Масюк¹, О. Н. Иванова¹✉, Н. И. Чепурный¹,
З. Н. Бойко¹, В. Б. Герасименко¹, С. А. Терещенко², И. Г. Кравченко², Г. И. Кортушин²,
О. Д. Марценюк²

¹Государственное учреждение “Национальный научный центр радиационной медицины”
Национальной академии медицинских наук Украины, ул. Мельникова, 53, г. Киев, 04050, Украина

²Государственное учреждение “Украинский центр информационных технологий и Национального
Регистра” Министерства здравоохранения Украины, ул. Крамского, 21а, г. Киев, 03115, Украина

РЕКОНСТРУКЦИЯ ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННЫХ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ СУБЪЕКТОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГИСТРА УКРАИНЫ: СООБЩЕНИЕ 2. ЛОКАЛЬНО-СПЕЦИФИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ЖИТЕЛЕЙ КОЗЕЛЕЦКОГО И РЕПКИНСКОГО РАЙОНОВ ЧЕРНИГОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Цель исследования. Разработка системы моделей и процедур для реконструкции индивидуализированных доз внутреннего облучения субъектов Государственного Регистра Украины лиц, пострадавших вследствие Чернобыльской катастрофы (ГРУ) – жителей радиоактивно-загрязненных территорий Козелецкого и Репкинского районов Черниговской области.

Материалы и методы исследования. Приводится описание структурной схемы и математического аппарата эколого-дозиметрических моделей, позволяющих осуществить реконструкцию индивидуализированных доз облучения от потребления продуктов питания, загрязненных радиоцезием чернобыльского происхождения, субъектов Козелецкого и Репкинского районов Черниговской области. Параметризация моделей реконструкции основана на математической обработке результатов радиоэкологического (загрязнение радиоцезием молока) и дозиметрического (содержание радиоцезия в организме жителей) мониторингов, которые проводились в течение 1986–2012 гг. в населенных пунктах (НП) рассматриваемых районов. Из-за относительно невысоких уровней выпадения радиоцезия на почву в 1986 г., территории этих районов были разделены на две “территориальные зоны”: ТЗ-1 – территория, где плотность выпадения ¹³⁷Cs на почву в 1986 г. превышала 37 кБк/м² и ТЗ-2 – территория, где этот показатель не превышал 37 кБк/м². Для каждой территориальной зоны каждого района в модели реконструкции определен момент времени (год), начиная с которого вводилось понятие так называемой “референтной дозы”, значение которой приписывалось всем субъектам, независимо от результатов и наличия мониторингов. Результаты радиоэкологического и дозиметрического мониторингов использовались для установления районно-специфических функций: годовой средней концентрации ¹³⁷Cs в молоке на единицу выпадений ¹³⁷Cs на почву ($\bar{c}_r^{milk, T}$) для Козелецкого района, функции временной динамики концентрации ¹³⁷Cs в молоке ($\tilde{c}_r^{milk}(t)$) для Репкинского района, абсолютного районного молочного эквивалента рациона ($ARME_r$) и относительного районного возраст-зависимого поступления радиоцезия с рационом (RRI'_a).

Результаты и выводы. Разработанные модели реконструкции применены для индивидуализации доз 27 811 субъектов ГРУ Козелецкого и 14 553 субъектов ГРУ Репкинского районов. Результаты индивидуализации доз приведены в виде среднегодовых значений доз внутреннего и суммарного (внутреннее и внешнее) облучения для периода 1987–2011 гг., а также в виде распределения субъектов ГРУ различных районов по интервалам доз, накопленных за весь период наблюдения.

Ключевые слова: медико-дозиметрический реестр, эколого-дозиметрические модели, индивидуализированные дозы облучения, реконструкция доз облучения, Чернобыльская катастрофа.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2014. Вип. 19. С. 102–125.

✉ Иванова Ольга Николаевна, e-mail: iolgagm@gmail.com

I. A. Likhtarov¹, L. N. Kovgan¹, S. V. Masiuk¹, O. N. Ivanova¹✉, M. I. Chepurny¹, Z. N. Boyko¹, V. B. Gerasymenko¹, S. A. Tereshchenko², I. G. Kravchenko², G. I. Kortushin², O. D. Marcenjyk²

¹State Institution “National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine”, Melnykov str., 53, Kyiv, 04050, Ukraine

²State Institution “Ukrainian Centre of Information Technologies and National Register” of Ministry of Health of Ukraine, Kramskogo str., 21a, Kyiv, 03115, Ukraine

Individualized internal exposure doses reconstruction for the persons of Ukraine State Register: Report 2. Locally-specific models and doses of persons living in Kozelets and Ripky raions of Chernihiv oblast

Study objective. Development a system of models and procedures for the individualized internal exposure doses reconstruction for the subjects of Ukrainian State Register of persons, affected due to the Chornobyl accident (SRU) and residing in radioactive contaminated territories of Kozelets and Ripky raions of Chernihiv oblast.

Materials and methods. A description the schematic diagram and mathematical equations of ecological-dosimetric models are given that allow to reconstruct the individualized exposure doses from consumption of food contaminated with radiocesium of Chornobyl origin for inhabitants of two raions of Chernihiv oblast. Parameterization of the reconstruction models is based on the mathematical analysis of results for radioecological (radiocesium milk contamination) and dosimetric (radiocesium human body burden) monitorings, that were calculated in the period of 1986–2012 in the settlements of raions under consideration. Due to quite low level of radioactive cesium depositions on the ground in 1986, the territory of these raions was divided into two “territorial zones”: TZ-1, an area where the ¹³⁷Cs ground depositions density in 1986 exceeds 37 kBq/m², and TZ-2, an area where this rate does not exceeds 37 kBq/m². For each territorial zone in each raion, the initial time moment (year) was introduced in the reconstruction model. Since this year the concept of the so-called “reference dose” has been using. Its value was assigned to all persons, regardless of the results and availability of monitoring. The results of radioecological and dosimetric monitorings were used for setting in raion specific functions: the annual average concentration of ¹³⁷Cs in milk per unit of ¹³⁷Cs ground depositions ($\bar{c}_r^{milk,T}$) for Kozelets raion, function of the temporary dynamic of ¹³⁷Cs concentration in milk ($\tilde{c}_r^{milk}(t)$) for Ripky raion, absolute raion milk equivalent of the diet (*ARME*), and relative age dependent intake of radiocesium with the diet (RRI'_a).

Results and conclusions. Models for individualized internal exposure doses reconstruction were applied to 27811 SRU subjects from Kozelets raion and 14553 SRU subjects from Ripky raion. Results of doses individualization are given as annual average values of internal and summarized (internal and external) exposure doses for the period of 1987–2012, as well as the distribution of SRU subjects of different raions according to the intervals of accumulated doses over the entire period of observation.

Key words: Medical Dosimetric Register, ecological and dosimetric models, individualized exposure dose, dose reconstruction, the Chornobyl accident.

Problems of radiation medicine and radiobiology. 2014;19:102-125.

ВСТУПЛЕНИЕ

Индивидуализация доз облучения субъектов Государственного Регистра Украины (ГРУ) является одной из важнейших задач ГРУ в настоящее время. В Сообщении 1 “Реконструкция индивидуализированных доз внутреннего облучения субъектов Государственного регистра Украины: Сообщение 1. Локально-специфические модели и дозы облучения жителей Рокитновского района Ровенской области, Овручского района Житомирской области и Иванковского района Киевской области” приведено краткое описание целей и

INTRODUCTION

Individualization of exposure doses of persons from the State Register of Ukraine (SRU) is one of the most important goals of the SRU at the present time. In Report 1 “Reconstruction of individualized internal doses for the persons of Ukraine State Register: Report 1. Locally-specific models and exposure doses for residents from Rokytno raion of Rivne oblast, Ovruch raion of Zhytomyr oblast and Ivankiv raion of Kyiv oblast” a brief description of the objectives and primary account groups

груп учета ГРУ. Приведено также детальное описание эколого-дозиметрических моделей и результатов реконструкции индивидуализированных доз для субъектов ГРУ трех районов — Овручского района Житомирской области, Иванковского района Киевской области и Рокитновского района Ровенской области.

В настоящем Сообщении 2 описываются модели реконструкции и результаты индивидуализации доз субъектов ГРУ Репкинского и Козелецкого районов Черниговской области. Различие подходов к реконструкции доз субъектов ГРУ районов, представленных в Сообщениях 1 и 2, связано с существенным различием как радиоэкологических условий (величины плотности выпадения ^{137}Cs на почву, типов почв), так и с масштабами и периодичностью радиоэкологического (измерения концентрации радиоцезия в молоке) и дозиметрического (СИЧ-измерения) мониторингов.

Козелецкий и Репкинский районы Черниговской области подверглись менее интенсивным радиоактивным выпадениям ^{137}Cs на почву в 1986 г. в сравнении с районами Киевской и Житомирской областей. Кроме того, преобладающие черноземно-песчаные почвы этих районов характеризуются менее интенсивным выносом радиоцезия из почвы в растительность (лежащим в интервале $0,7-1,0 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$ на $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ для 1991 г.), чем, например, почвы Рокитновского района Ровенской области ($7,01 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$ на $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$) или Овручского района Житомирской области ($2,07 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}$ на $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$). Поэтому характерным для жителей населенных пунктов (НП) Козелецкого и Репкинского районов являются довольно низкие (в последние годы — на уровне фона) как концентрации радиоцезия в молоке, так и уровни радиоцезия в организме, измеряемые в ходе СИЧ-мониторинга.

Радиоэкологические особенности территории Козелецкого и Репкинского районов, которые потенциально не могли привести к высоким дозам как внутреннего, так и внешнего облучения, обусловили существенно менее интенсивный дозиметрический мониторинг местного молока и жителей этих районов. Так, в частности, в Козелецком районе данные о загрязнении молока до 1991 г. вообще отсутствуют, а массовый молочный мониторинг начался только с 1991 г. При этом молочным мониторингом в течение всех лет охватывалось менее половины НП, в которых проживали субъекты ГРУ. Что касается СИЧ-мониторинга среди жителей Козелецкого района, то измерения начали проводиться более или менее массово лишь с 1997 г. и охватывали зачастую не более четверти НП проживания субъектов ГРУ.

of SRU were given. A detailed description of ecological and dosimetric models is also given as well as the results of reconstruction of individualized doses for the SRU subjects from three raions: Ovruch raion of Zhytomyr oblast, Ivankiv raion of Kyiv oblast, and Rokytne raion of Rivne oblast.

Reconstruction models and individualized doses for the SRU subjects from Kozelets and Ripky raions of Chernihiv oblast are described in present Report 2. The difference in approaches to the doses reconstruction for the SRU subjects living in raions represented in Report 1 and 2 is related to a significant difference in radioecological conditions (^{137}Cs ground deposition density, type of soil) and to the scale and frequency of radioecological (measuring the concentration of radioactive cesium in milk) and dosimetric (WBC measurement) monitorings.

Kozelets and Ripky raions of Chernihiv oblast were suffered from less intensive radioactive ^{137}Cs ground depositions in 1986 in comparison with raions of Kiev and Zhytomyr oblasts. Besides that, the prevailing chernozem-sandy soils of these raions are characterized by less intensive removal of radioactive cesium from soil to vegetation (lying in the range $0.7-1.0 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ per $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ for 1991) than, e.g., the soil of Rokytne raion of Rivne oblast ($7.01 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ per $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$) or Ovruch raion of Zhytomyr oblast ($2.07 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ per $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$). Thus, it is typical for the inhabitants of settlements of Kozelets and Ripky raions to have quite low concentration (in recent years — at the background level) of radioactive cesium in milk and level of radioactive cesium in the body, measured during the WBC monitoring.

Radiological features of the territory of Kozelets and Ripky raions that could not potentially lead to high doses of both internal and external exposure, caused a significantly less intensive dosimetric monitoring of local milk and the inhabitants of these areas. In particular, in Kozelets raion the data of milk contamination up to 1991 are absent, and mass milk monitoring started only in 1991. In addition this milk monitoring was covered less than half of the settlements of residence of SRU persons (briefly — SRU settlements) along all these years. As for WBC monitoring among residents of Kozelets raion, the measurements have been started in wide-scale manner only in 1997 and have been covered about a quarter of SRU settlements.

Практически аналогичная картина относительно временной динамики объемов молочного и СИЧ-мониторингов наблюдается и для Репкинского района. Различие заключается лишь в том, что молочный мониторинг охватывал около 70 % НП субъектов ГРУ, СИЧ-мониторинг в 1998–2001, 2003 и в 2007 гг. охватил 11–33 % НП, а в 1996, 2004–2006 и в 2008 гг. – 3–8 % НП. 81 из 97 (83%) НП субъектов ГРУ Репкинского района и лишь 51 из 85 (60 %) НП субъектов Козелецкого района были охвачены молочным мониторингом хотя бы один раз в течение 1991–2011 гг. Также, лишь в 39 из 85 (~47%) НП субъектов ГРУ Козелецкого района и в 75 из 97 (~77%) НП субъектов ГРУ Репкинского района проводился СИЧ-мониторинг хотя бы один раз в течение 1991–2011 гг.

Ограниченные объемы и неперіодичность молочного и СИЧ-мониторингов в Козелецком и Репкинском районах практически исключили возможность применения НП-специфического подхода для реконструкции доз членов ГРУ этих районов, как это имело место для субъектов ГРУ Рокитновского, Овручского и Иванковського районов, описанных в Сообщении 1. Поэтому при реконструкции доз субъектов ГРУ Козелецкого и Репкинского районов результаты СИЧ-мониторинга, который проводился в НП этих районов, использовались не для восстановления НП-специфических функций, а только для установления общерайонных характеристик и параметризации районно-специфических функций, которые затем и применялись для реконструкции доз субъектов ГРУ в НП этих районов.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработка системы моделей и процедур для реконструкции индивидуализированных доз внутреннего облучения субъектов Государственного Регистра Украины – жителей радиоактивно-загрязненных территорий Козелецкого и Репкинского районов Черниговской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Территориальное зонирование Козелецкого и Репкинского районов

Территории Козелецкого и Репкинского районов Черниговской области характеризуются относительно невысокими уровнями выпадений ^{137}Cs в 1986 г., так что максимальное значение выпадений в НП Козелецкого района составляет 79 кБк/м², а в НП Репкинского района – 195 кБк/м². Такие уровни выпадений радиоцезия на территории НП этих районов в

Almost a similar picture is observed regarding to the temporal dynamics of the volume of milk and WBC monitoring for Ripky raion. The only difference is that the milk monitoring covered about 70% of SRU settlements, WBC monitoring covered 11–33% of SRU settlements in 1998–2001, 2003 and 2007, as well as 3–8% SRU settlements in 1996, 2004–2006 and 2008. The 81 out of 97 SRU settlements (83%) from Ripky raion and only 51 out of 85 SRU settlements (60%) from Kozelets raion were covered by milk monitoring at least once during 1991–2011. Also, only in 39 out of 85 SRU settlements (around 47%) from Kozelets raion and in 75 out of 97 SRU settlements (around 77%) from Ripky raion the WBC-monitoring was held at least once during 1991–2011.

Limited amount and non-periodicity of milk and WBC monitoring in Kozelets and Ripky raions made it practically impossible to apply the settlement specific approach for dose reconstruction of SRU subjects in these raions, as it was in the case of SRU subjects from Rokytno, Ovruch and Ivankiv raions described in Report 1. Therefore, in the process of dose reconstruction for the SRU subjects from Kozelets and Ripky raions, the results of WBC monitoring organized in the settlements of these raions were used not for reconstruction of settlement specific functions, but only to determine the whole raion characteristics and parameterize of raion specific functions which later were applied to dose reconstruction for the SRU subjects residing in settlements of these raions.

STUDY OBJECTIVE

Development the system of models and procedures for the individualized internal doses reconstruction for the subjects of the State Register of Ukraine residing in radioactive contaminated territories of Kozelets and Ripky raions of Chernihiv oblast.

MATERIALS AND METHODS

Subdividing Kozelets and Ripky raions on the territorial zones

Territories of Kozelets and Ripky raions of Chernihiv oblast are characterized by the relatively low level of ^{137}Cs deposition in 1986, so that the maximum value of fallout in settlements of Kozelets raion is 79 kBq/m² and in settlements of Ripky raion is 195 kBq/m². Such small amount of radioactive cesium fallout in these

свою очередь обусловили достаточно низкие, трудно детектируемые (особенно в последнее десятилетие) уровни радиоцезия в организме жителей. Поэтому все НП Козелецкого и Репкинского районов были разделены на две категории в зависимости от того, превышает ли плотность загрязнения территории НП радионуклидами ^{137}Cs ($\sigma_{\text{Cs},j}^{86}$) уровень 37 кБк/м²:

- > территория загрязнения 1 (ТЗ-1), если $\sigma_{\text{Cs},j}^{86} \geq 37$ кБк/м²;
- > территория загрязнения 2 (ТЗ-2), если $\sigma_{\text{Cs},j}^{86} < 37$ кБк/м².

Уровень плотности 37 кБк/м² (или 1 Ки/км²) отвечает нижнему пределу интервала плотности загрязнения радиоцезием, установленного законами Украины №791а-ХІІ (1991 р.) и №769-ХІІ (1991р.) [1,2], которые определяют правовой статус территорий, загрязненных вследствие Чернобыльской катастрофы.

В Таблице 1 приведены количество НП проживания субъектов ГРУ Козелецкого и Репкинского районов и соответствующее среднее значение плотности выпадения в НП ТЗ-1 и ТЗ-2.

В Таблицах 2 и 3 приведены концентрации радиоцезия в молоке и среднегодовые величины доз внутреннего облучения у взрослых, усредненные по ТЗ района. Эти дозы рассчитаны по результатам СИЧ-измерений в тех НП Козелецкого и Репкинского районов, в которых проживают субъекты ГРУ. Там же приведено отношение этих величин, рассчитанных для территорий ТЗ-1 и ТЗ-2 каждого из районов в период 1991–2011 гг.

Анализируя данные, представленные в таблицах 2 и 3, можно констатировать следующее.

- Средняя концентрация ^{137}Cs в молоке на территории ТЗ-1 как в Козелецком, так и в Репкинском районах ($M_{\text{I}_K}^T, M_{\text{I}_P}^T$) в два и больше раз превышала кон-

settlements resulted in considerably low and hard detectable radiocesium activity in the body of inhabitants. Therefore, it was found reasonable to divide all settlements of Kozelets and Ripky raions into two types depending on the density of ^{137}Cs ($\sigma_{\text{Cs},j}^{86}$) deposition (exceeds or not 37 kBq/m²):

- > territorial zone 1 (TZ-1) of contamination if $\sigma_{\text{Cs},j}^{86} \geq 37$ kBq/m²;
- > territorial zone 2 (TZ-2) of contamination if $\sigma_{\text{Cs},j}^{86} < 37$ kBq/m².

The density level of 37 kBq/m² (or 1 Ci/km²) corresponds to the lower level of radiocesium contamination interval, instituted by the Law of Ukraine No. 791a-XII (1991) and No. 769-XII (1991) [1,2] as that assigns the legal status of territory contaminated after the Chernobyl accident.

Table 1 shows the number of settlements and the corresponding average value of the density of ^{137}Cs deposition in the SRU settlements of TZ-1 and TZ-2 of Kozelets and Ripky raion.

In Tables 2 and 3 the average concentration of radiocesium in milk and average value of internal dose of adults for TZ-1 and TZ-2 are given. The doses are based on the results of WBC measurements in the SRU settlements of Kozelets and Ripky raions. The ratio of these values calculated for TZ-1 and TZ-2 of each of the raions for the period of 1991–2011 is also shown in Tables 2 and 3.

The following statements can be made from the results of Tables 2 and 3.

- Over the period of 1991–2011 the average concentration of ^{137}Cs in milk in TZ-1 ($M_{\text{I}_K}^T, M_{\text{I}_P}^T$) was in two or more times higher than that in

Таблица 1

Количество НП и средняя плотность выпадений ^{137}Cs на почве в 1986 г. ($\sigma_{\text{Cs},j}^{86}$) в НП Козелецкого и Репкинского районов, где проживают субъекты ГРУ

Table 1

The number of SRU settlements and the average density of ^{137}Cs ground deposition in 1986 ($\sigma_{\text{Cs},j}^{86}$) in Kozelets and Ripky raion

Территория загрязнения Contamination area	Козелецкий р-н / Kozelets raion		Репкинский р-н / Ripky raion	
	к-во НП number of SRU settlements	$\sigma_{\text{Cs},j}^{86}$ кБк/м ² kBq/m ²	к-во НП number of SRU settlements	$\sigma_{\text{Cs},j}^{86}$ кБк/м ² kBq/m ²
ТЗ-1 ($\sigma_{\text{Cs},j}^{86} \geq 37$ кБк/м ²)	9	49	23	113
TZ-1 ($\sigma_{\text{Cs},j}^{86} \geq 37$ kBq/m ²)				
ТЗ-2 ($\sigma_{\text{Cs},j}^{86} < 37$ кБк/м ²)	56	20	81	22
TZ-2 ($\sigma_{\text{Cs},j}^{86} < 37$ kBq/m ²)				

Таблица 2

Сравнение уровней загрязнения ¹³⁷Cs в молоке (M_{1_K}^T, M_{2_K}^T), а также доз внутреннего облучения у взрослых, рассчитанных на основе СИЧ-измерений (D_{1_K}^T, D_{2_K}^T) на территориях ТЗ-1 и ТЗ-2 Козелецкого района в период 1991–2011 гг.; К – обозначение Козелецкого района

Table 2

Comparison of ¹³⁷Cs milk contamination (M_{1_K}^T, M_{2_K}^T) and WBC adult internal doses (D_{1_K}^T, D_{2_K}^T) for the SRU of TZ-1 and TZ-2 of Kozelets raion over a period of 1991–2011; K is a denotation of Kozelets raion

Год, T Year, T	ТЗ-1 / TZ-1 (σ _{Cs,j} ⁸⁶ ≥ 37 кБк/м ² // kBq/m ²)				ТЗ-2 / TZ-2 (σ _{Cs,j} ⁸⁶ < 37 кБк/м ² // kBq/m ²)				M _{1_K} ^T M _{2_K} ^T	D _{1_K} ^T D _{2_K} ^T
	молоко / milk		СИЧ-дозы / WBC doses		молоко / milk		СИЧ-дозы / WBC doses			
	M _{1_K} ^T		D _{1_K} ^T		M _{2_K} ^T		D _{2_K} ^T			
	к-во НП No of settl.	Бк/л Bq/L	к-во НП No of settl.	мЗв/год mSv/year	к-во НП No of settl.	Бк/л Bq/L	к-во НП No of settl.	мЗв/год mSv/year		
1991	8	69	1	0,12	41	10	–	–	6,7	–
1992	2	124	2	0,02	22	8	2	0,02	15	1,2
1993	8	113	–	–	27	20	–	–	5,6	–
1994	8	88	–	–	15	12	1	0,02	7,1	–
1995	9	85	1	0,19	29	37	–	–	2,3	–
1996	9	76	1	0,09	29	45	1	0,04	1,7	2,0
1997	9	90	8	0,04	29	54	20	0,02	1,7	1,9
1998	9	67	7	0,05	29	36	9	0,02	1,9	2,4
1999	9	47	4	0,06	29	30	2	0,03	1,6	1,9
2000	9	42	6	0,08	29	21	14	0,03	2,0	2,3
2001	9	30	5	0,07	29	19	3	0,02	1,6	2,8
2002	9	24	–	–	27	7	–	–	3,4	–
2003	9	15	2	0,15	29	5	9	0,08	2,9	1,8
2004	9	14	3	0,04	26	4	8	0,03	3,5	1,4
2005	9	15	7	0,08	29	4	11	0,07	3,3	1,1
2006	9	10	5	0,06	28	5	18	0,06	2,2	1,2
2007	9	11	7	0,06	29	2	11	0,06	5,3	1,0
2008	9	9	6	0,05	28	4	9	0,02	2,3	2,6
2011	8	4	8	0,02	27	2	12	0,02	2,9	0,9

центрацию ¹³⁷Cs в молоке на территории ТЗ-2 (M_{2_K}^T, M_{2_P}^T) во все годы периода 1991-2011 гг., то есть:

$$\left. \begin{matrix} M_{1_K}^T > M_{2_K}^T \\ M_{1_P}^T > M_{2_P}^T \end{matrix} \right\} \text{ для } T \in [1991-2011 \text{ гг.}] \quad (1)$$

► Средняя доза внутреннего облучения по результатам СИЧ-измерений на территории ТЗ-1 как в Козелецком, так и в Репкинском районах (D_{1_K}^T, D_{1_P}^T) превышала в 1,0–4,4 раза аналогичные дозы внутреннего облучения на территории ТЗ-2 (D_{2_K}^T, D_{2_P}^T) практически во все годы в течение 1991–2011 гг. Некоторым исключением является 2011 г. для Козелецкого района и 2004 г. – для Репкинського района. В целом справедливыми можно принять соотношения:

$$\left. \begin{matrix} D_{1_K}^T > D_{2_K}^T \text{ для } T \in [1992-2010 \text{ гг.}] \\ D_{1_P}^T > D_{2_P}^T \text{ для } T \in [1992-2011 \text{ гг.}] \end{matrix} \right\} \quad (2)$$

► Средняя концентрация радиоцезия в молоке на территории ТЗ-2 Козелецкого района, начиная с 2002 г., а также Репкинського района, начиная с 2001 г., не превышает 10 Бк/л, то есть 10% от установлен-

ТЗ-2 (M_{2_K}^T, M_{2_P}^T) both in Kozelets and Ripky raions:

$$\left. \begin{matrix} M_{1_K}^T > M_{2_K}^T \\ M_{1_P}^T > M_{2_P}^T \end{matrix} \right\} \text{ for } T \in [1991-2011] \quad (1)$$

► Over almost all the years of the period of 1991–2011 the average internal WBC radiation dose in TZ-1 (D_{1_K}^T, D_{1_P}^T) was in 1.0–4.4 times higher than similar doses of internat exposure in TZ-2 (D_{2_K}^T, D_{2_P}^T) both in Kozelets and Ripky raions. There were some exceptions the year 2011 in Kozelets raion and the year 2004 in Ripky raion. Thus, one can accept the following relations:

$$\left. \begin{matrix} D_{1_K}^T > D_{2_K}^T \text{ for } T \in [1992-2010] \\ D_{1_P}^T > D_{2_P}^T \text{ for } T \in [1992-2011] \end{matrix} \right\} \quad (2)$$

► In TZ-2 average concentration of radioactive cesium in milk does not exceed 10 Bq/L in Kozelets raion since the year 2002 and in Ripky raion since the year 2001. That is 10% of the per-

Таблица 3

Сравнение уровней загрязнения ^{137}Cs в молоке ($M_{1_P}^T, M_{2_P}^T$), а также доз внутреннего облучения у взрослых, рассчитанных на основе СИЧ-измерений ($D_{1_P}^T, D_{2_P}^T$) в зонах 1 и 2 Репкинского района в период 1991–2011 гг.; P – обозначение Репкинского района

Table 3

Comparison of ^{137}Cs milk contamination ($M_{1_P}^T, M_{2_P}^T$) and WBC adult internal doses ($D_{1_P}^T, D_{2_P}^T$) for the SRU settlements of TZ-1 and TZ-2 of Ripky raion over a period of 1991–2011; P is a denotation of Ripky raion

Год, T Year, T	ТЗ-1 / TZ-1 ($\sigma_{Cs,j}^{86} \geq 37$ кБк/м ² // kBq/m ²)				ТЗ-2 / TZ-2 ($\sigma_{Cs,j}^{86} < 37$ кБк/м ² // kBq/m ²)				$\frac{M_{1_P}^T}{M_{2_P}^T}$	$\frac{D_{1_P}^T}{D_{2_P}^T}$
	молоко / milk		СИЧ-дозы / WBC doses		молоко / milk		СИЧ-дозы / WBC doses			
	$M_{1_P}^T$		$D_{1_P}^T$		$M_{2_P}^T$		$D_{2_P}^T$			
	к-во НП No of settl.	Бк/л Bq/L	к-во НП No of settl.	мЗв/год mSv/year	к-во НП No of settl.	Бк/л Bq/L	к-во НП No of settl.	мЗв/год mSv/year		
1991	17	110	–	–	54	33	–	–	3,4	–
1992	6	54	–	–	37	19	–	–	2,8	–
1993	22	59	–	–	54	19	–	–	3,1	–
1994	18	81	–	–	21	47	–	–	1,7	–
1995	21	59	3	0,38	54	47	–	–	1,3	–
1996	20	67	4	0,20	49	48	2	0,04	1,4	4,4
1997	20	41	13	0,08	52	16	30	0,03	2,6	2,7
1998	20	48	9	0,10	49	17	20	0,06	2,8	1,8
1999	20	41	6	0,08	49	19	15	0,03	2,2	2,4
2000	19	33	6	0,09	48	12	8	0,05	2,9	1,7
2001	20	19	8	0,08	48	9	11	0,04	2,0	1,9
2002	19	38	–	–	46	9	–	–	4,1	–
2003	20	18	3	0,12	46	8	8	0,03	2,3	4,2
2004	19	14	1	0,02	46	8	6	0,04	1,7	0,6
2005	18	18	–	–	45	6	3	0,07	2,9	–
2006	18	12	5	0,12	44	7	3	0,07	1,8	1,7
2007	19	17	2	0,10	46	9	9	0,06	1,9	1,7
2008	16	14	1	0,04	44	7	2	0,04	2,0	1,0
2011	17	6	1	0,05	42	4	–	–	1,5	–

ного допустимого уровня (ДУ) загрязнения молока ^{137}Cs [3]:

$$M_{2_K}^T \leq 10 \text{ Бк/л для } T \geq 2002 \text{ г.} \quad (3)$$

$$M_{2_P}^T \leq 10 \text{ Бк/л для } T \geq 2001 \text{ г.} \quad (4)$$

► На территории ТЗ-1 Козелецкого района средняя концентрация радиоцезия в молоке не превышает 10 Бк/л, начиная с 2006 г. Некоторым исключением можно считать 2007 г., когда эта величина была равной 11 Бк/л. На территории ТЗ-1 Репкинского района концентрация радиоцезия в молоке не превышает 10 Бк/л только в 2011 г., то есть:

$$M_{1_K}^T \leq 10 \text{ Бк/л для } T \geq 2006 \text{ г.} \quad (5)$$

$$M_{1_P}^T \leq 10 \text{ Бк/л для } T = 2011 \text{ г.} \quad (6)$$

► Средние дозы внутреннего облучения, рассчитанные на основе СИЧ-измерений для ТЗ-2 как Козе-

missible level established for ^{137}Cs activity in milk [3].

$$M_{2_K}^T \leq 10 \text{ Bq/L for } T \geq 2002 \quad (3)$$

$$M_{2_P}^T \leq 10 \text{ Bq/L for } T \geq 2001 \quad (4)$$

► In TZ-1 the average raion concentration of radioactive cesium in milk does not exceed 10 Bq/L within the territory of Kozelets raion since 2006 (with the exception of 2007 when it was 11 Bq/L). In Ripky raion concentration of radioactive cesium in milk not exceed 10 Bq/L only in 2011, so that:

$$M_{1_K}^T \leq 10 \text{ Bq/L for } T \geq 2006 \quad (5)$$

$$M_{1_P}^T \leq 10 \text{ Bq/L for } T \geq 2011 \quad (6)$$

► Over the entire period of 1991–2011 the values of internal WBC doses of radiation exposure

лецького, так і Репкинського районів в течение всего периода 1991–2011 гг. были достаточно низкими и находились в интервале 20–80 мкЗв/год, то есть:

$$D_{2_P}^T \text{ и } D_{2_K}^T \in 20\text{--}80 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1} \quad (7)$$

для $T \in [1991\text{--}2011 \text{ гг.}]$

► Средние дозы внутреннего облучения для ТЗ-1 в обоих районах были больше чем для ТЗ-2 и в течение ряда лет лежали в интервале 100–200 мкЗв/год, а для 1991г. в Репкинском районе достигали 380 мкЗв/год.

Анализ результатов молочного и СИЧ мониторингов в НП Козелецкого и Репкинського районів свідчить про те, що після 2000 г. рівні забруднення радіоцезієм молока і дози внутрішнього облучения (по результатам СИЧ-вимірювань) були достатньо низкими, що створює суттєві труднощі для їх вимірювання: в частині, виникає проблема інтерпретації результатів вимірювань, які знаходяться на рівні і нижче мінімально-детектуємої активності (МДА)[#]. Тому при індивідуалізації доз суб'єктів ГРУ для визначених територій і часових інтервалів в модель реконструкції була введена так звана «референтна доза», значення якої приписувалося всім суб'єктам незалежно від наявності результатів еколого-дозиметричного моніторингу.

Феноменологическая структурная схема и соотношения модели

При реконструкции доз внутреннего облучения в 1987–2011 гг. для субъектов ГРУ Козелецкого и Репкинського районів використовувалися наступні базові положення.

А. Результати СИЧ-моніторингу, який проводився в Козелецькому і Репкинському районах, використовувалися виключно для параметризації районно-специфічних функцій, які потім застосовувалися для реконструкції доз жителів окремих НП цих районів.

Б. В якості районно-специфічних функцій використовувалися:

► середня (нормована на щільність випадень ^{137}Cs на ґрунті в 1992г.) концентрація ^{137}Cs в молоці ($\bar{c}_r^{\text{milk},T}$) для Козелецького району;

► нормована (на щільність випадень ^{137}Cs на ґрунті в 1992 г. $\sigma_{\text{Cs},j}^{86}$) функція часової динаміки ^{137}Cs в молоці («молочна функція» $\tilde{c}_r^{\text{milk}}(t)$) для Репкинського району;

in TZ-2 of both Kozelets and Ripky raions were quite low within interval of 20–80 $\mu\text{Sv}/\text{year}$, that is:

$$D_{2_P}^T \text{ and } D_{2_K}^T \in 20\text{--}80 \mu\text{Sv}\cdot\text{year}^{-1} \quad (7)$$

for $T \in [1991\text{--}2011]$

► Average internal WBC doses in TZ-1 exceed WBC doses for TZ-2 in both raions and were in 100 to 200 $\mu\text{Sv}/\text{year}$ range during the whole period (exception was the year 1991 in Ripky raion with 380 $\mu\text{Sv}/\text{year}$).

Analysis of the results of WBC and milk measurements in the settlements of Kozelets and Ripky raions indicates that after the year 2000 the level of radiocesium in milk and internal WBC doses of radiation exposure were extremely low that caused a significant difficulties for their measurement. In particular it is difficult to interpret the measurement results that are lower than minimally detected activity (MDA)[#]. Therefore, in the individualization of dose for GRU subjects the so-called “reference dose” for certain areas and time slots was introduced to the reconstruction model. The reference dose values are attributed to all subjects regardless of the results of environmental radiological monitoring.

General structure and main relations of the model

The following main approaches were used for the reconstruction of internal radiation doses in 1987–2011 for SRU subjects of Kozelets and Ripky raions.

A. The results of WBC monitoring that was provided in Kozelets and Ripky raions were used just for parameterization of raion-specific functions that were further applied for radiation dose reconstruction of population of certain settlements in those raions.

B. The following raion-specific functions are used:

► average concentration of ^{137}Cs in milk ($\bar{c}_r^{\text{milk},T}$) normalized to ^{137}Cs activity per unit area in 1992;

► normalized (to ^{137}Cs deposition density per unit area of soil in 1992 $\sigma_{\text{Cs},j}^{86}$) function of time variation of ^{137}Cs in milk (“milk function” $\tilde{c}_r^{\text{milk}}(t)$) for Ripky raion;

[#] Минимально-детектируемая активность зависит от измерительного прибора, условий и методики измерения

[#] Minimally detected activity depends on a measuring device, time and a method of measurement

➤ функция абсолютного районного молочного эквивалента для взрослых ($ARME_r$) отдельно для Козелецкого и Репкинского районов;

➤ относительное районное возраст-зависимое поступление ^{137}Cs с рационом (RRI'_a) отдельно для Козелецкого и Репкинского районов.

В. Параметризация районно-специфических функций ($\bar{c}_r^{milk,T}$, $\tilde{c}_r^{milk}(t)$, $ARME_r$, RRI'_a) выполнялась по результатам молочного и/или СИЧ-мониторинга, проведенного в 1987-2011 гг. в соответствующем районе.

На рисунках 1 и 2 в обобщенном виде представлены формализованные структурные схемы, разработанные авторами для восстановления доз внутреннего облучения детей и взрослых – субъектов ГРУ Козелецкого и Репкинского районов.

Как видно из схем, представленных на рисунках 1 и 2, модель реконструкции доз внутреннего облучения для субъектов ГРУ того или иного НП Козелецкого и Репкинского районов имеет свои особенности в зависимости как от временного периода, так и от наличия/отсутствия молочного мониторинга в T -й год. Основные соотношения модели реконструкции, используемые для НП территорий ТЗ-1 и ТЗ-2 Козелецкого и Репкинского районов в различных временных интервалах, обобщены в таблице 4.

Таблица 4

Основные соотношения модели реконструкции доз $D_j^{ad,T}$, используемые для субъектов ГРУ, проживающих в НП ТЗ-1 и ТЗ-2 Козелецкого и Репкинского районов для периода 1991–2011 гг.

Table 4

The basic equations of doses $D_j^{ad,T}$ reconstruction model, that are used for SRU subject of the TZ-1 and TZ-2 settlements of Kozelets and Ripky raions over the period of 1991–2011

	Интервал времени, годы Time interval, years	ТЗ-1 TZ-1	ТЗ-2 TZ-2
Козелецкий район Kozelets raion	1991–2001	при наличии молочного мониторинга / at presence of the milk monitoring: $D_j^{ad,T} = c_j^{milk,T} \cdot ARME_r \cdot k_{ad}^{dos} \cdot \Delta T$ при отсутствии молочного мониторинга / at absence of the milk monitoring: $D_j^{ad,T} = \bar{c}_r^{milk,T} \cdot \sigma_{Cs,j} \cdot ARME_r \cdot k_{ad}^{dos} \cdot \Delta T$	
	2002–2005	$D_j^{ad,T} = c_j^{milk,T} \cdot ARME_r \cdot k_{ad}^{dos} \cdot \Delta T$ или / or $D_j^{ad,T} = \bar{c}_r^{milk,T} \cdot \sigma_{Cs,j} \cdot ARME_r \cdot k_{ad}^{dos} \cdot \Delta T$	$D_j^{ad} = D_r^{ref}$
	2006–2011	$D_j^{ad} = D_r^{ref}$	$D_j^{ad} = D_r^{ref}$
Репкинский район Ripky raion	1991–2001	при наличии молочного мониторинга / at presence of the milk monitoring: $D_j^{ad,T} = c_j^{milk,T} \cdot ARME_r \cdot k_{ad}^{dos} \cdot \Delta T$ при отсутствии молочного мониторинга / at absence of the milk monitoring: $D_j^{ad,T} = \bar{c}_r^{milk,T} \cdot \sigma_{Cs,j} \cdot ARME_r \cdot k_{ad}^{dos} \cdot \Delta T$	
	2001–2010	$D_j^{ad,T} = c_j^{milk,T} \cdot ARME_r \cdot k_{ad}^{dos} \cdot \Delta T$ или / or $D_j^{ad,T} = \tilde{c}_r^{milk}(t) \Big _{t=T} \cdot \sigma_{Cs,j} \cdot ARME_r \cdot k_{ad}^{dos} \cdot \Delta T$	$D_j^{ad,T} = D_r^{ref}$
	2011	$D_j^{ad} = D_r^{ref}$	$D_j^{ad,T} = D_r^{ref}$

➤ function of absolute raion milk equivalent of diet for adults ($ARME_r$) separately for Kozelets and Ripky raion;

➤ relative age-dependent intake of ^{137}Cs with food ration (RRI'_a) separately for Kozelets and Ripky raion.

С. Parameterization of raion-specific functions ($\bar{c}_r^{milk,T}$, $\tilde{c}_r^{milk}(t)$, $ARME_r$, RRI'_a) are performed by the results of milk and/or WBC monitoring in all settlements of corresponding raion.

In Figures 1 and 2 the schematic diagrams of the methodology is presented taken as a whole. Diagrams are used to estimate the internal doses for infant and adult SRU subjects of Kozelets and Ripky raions.

As it clear from flowcharts in Figures 1 and 2 the model of internal radiation dose reconstruction for SRU subjects of Kozelets and Ripky raions has own peculiarities depending on time period and the presence/ absence of milk monitoring in year T . The basic equations of dose reconstruction model that are used for the settlements of TZ-1 and TZ-2 of Kozelets and Ripky raions over different time periods are summarized in Table 4.

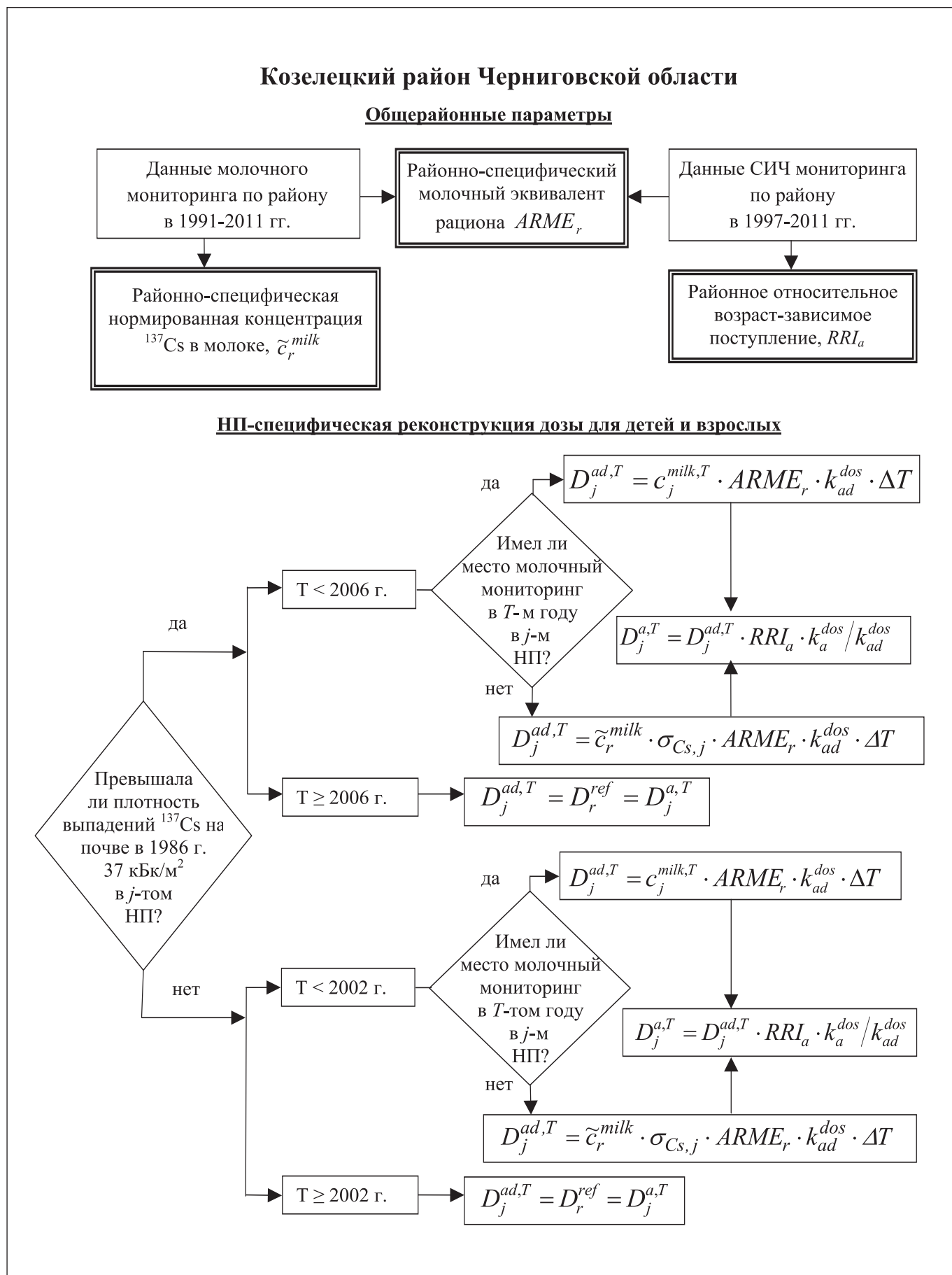


Рисунок 1. Обобщенная структурная схема реконструкции доз внутреннего облучения в 1987–2011 гг. для взрослых и детей – субъектов ГРУ, проживающих в j -м НП Козелецкого района (пояснения в тексте)

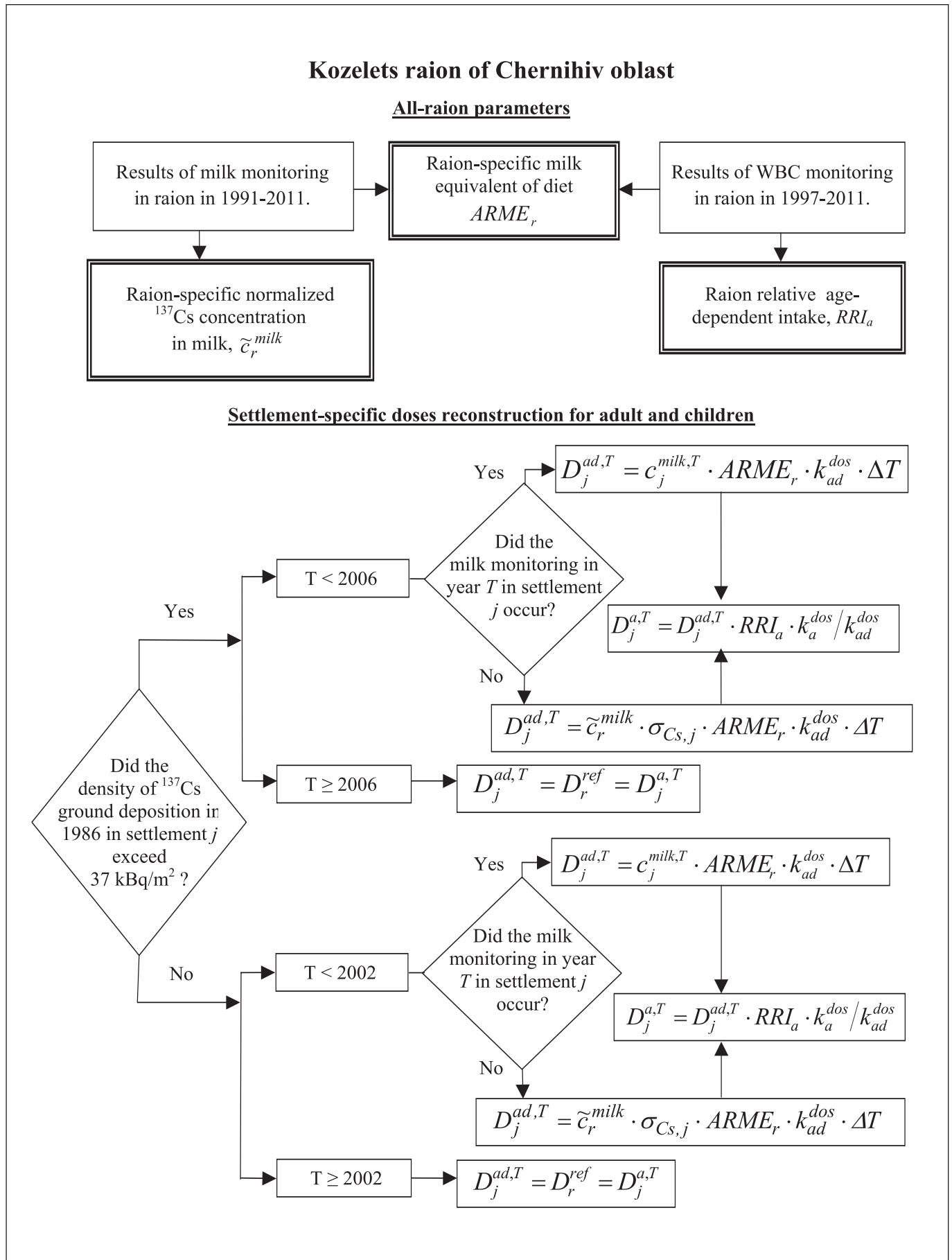


Figure 1. Schematic structure of the methodology used for internal doses reconstruction of SRU subjects of Kozelets raion in a period of 1987–2011 (explanation is in the text)

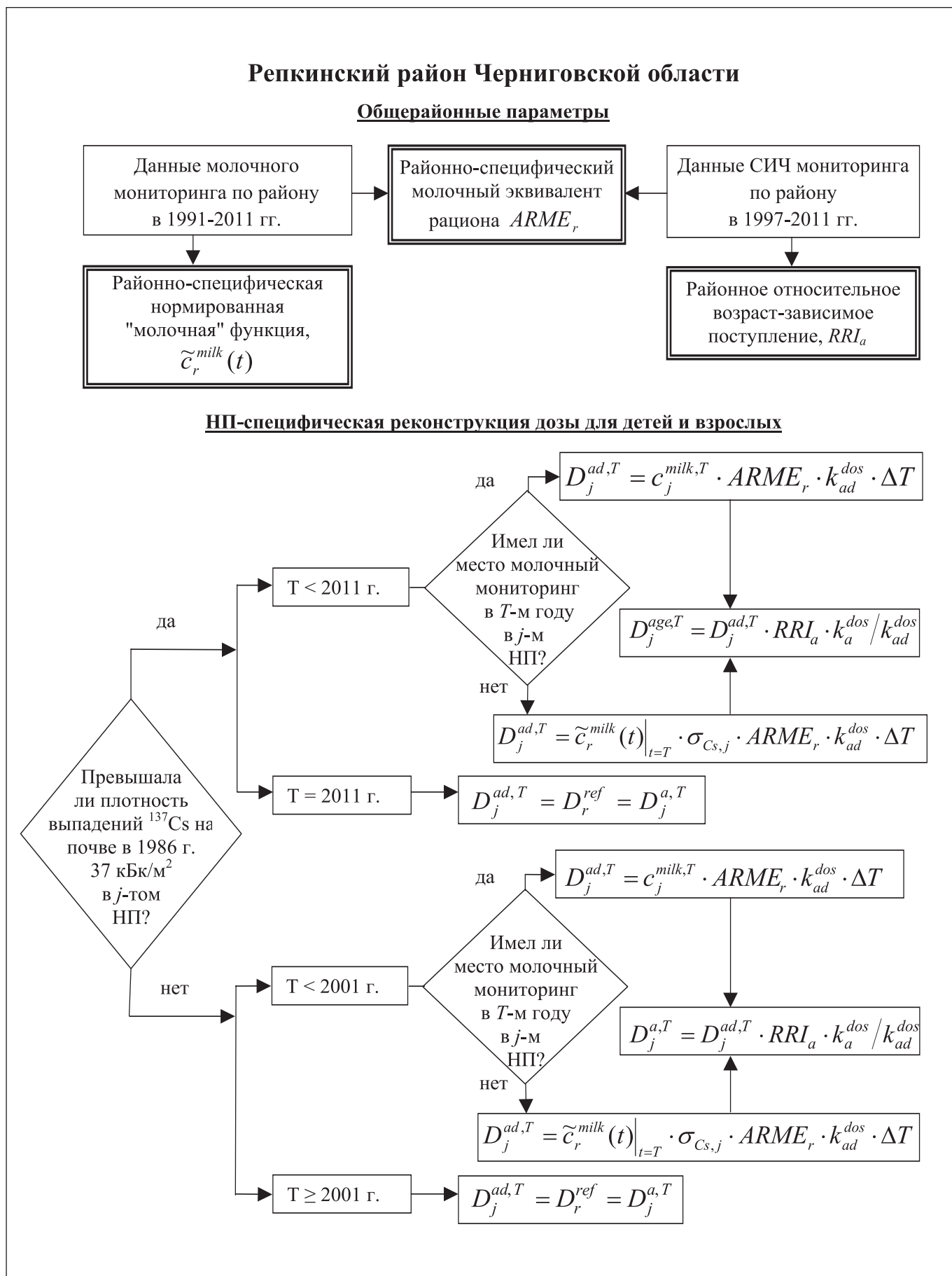


Рисунок 2. Обобщенная структурная схема реконструкции доз внутреннего облучения в 1987–2011 гг. для взрослых и детей – субъектов ГРУ, проживающих в j-м НП Репкинского района (пояснения в тексте).

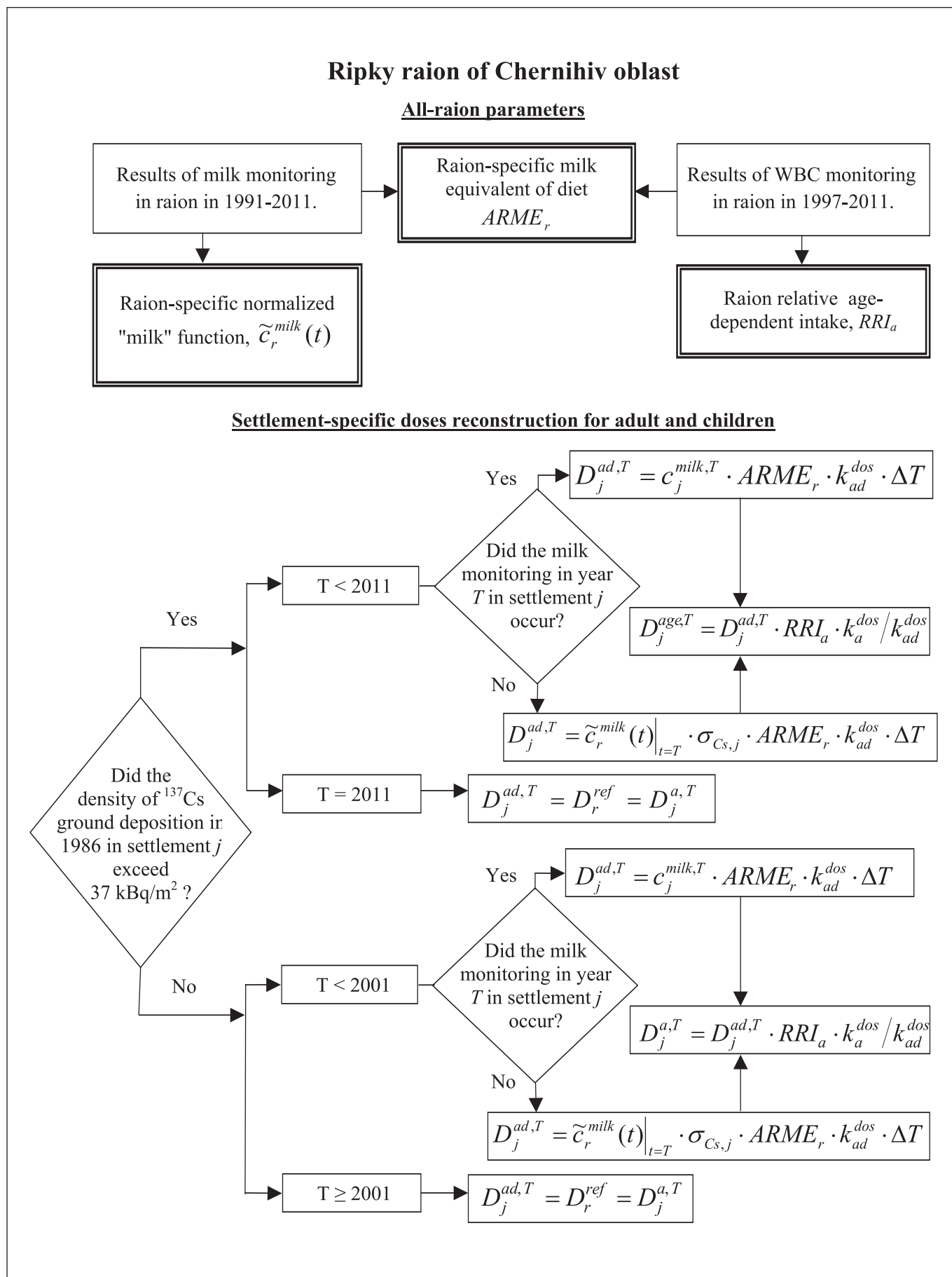


Figure 2. Schematic structure of the methodology used to internal doses reconstruction of SRU subjects of Ripky raion in a period of 1987–2011 (explanation is in the text)

Для расчета годовой дозы облучения в детской возрастной группе a в T -й год в j -м НП используются соотношения:

$$D_j^{a,T} = \begin{cases} D_j^{ad,T} \cdot RRI_a \cdot k_a^{dos} / k_{ad}^{dos}, & \text{при / if } D_j^{ad,T} \neq D_r^{ref} \\ D_r^{ref}, & \text{при / if } D_j^{ad,T} = D_r^{ref} \end{cases} \quad (8)$$

где k_a^{dos} , k_{ad}^{dos} — доза на единицу поступления (дозовый коэффициент) для возрастной группы a или взрослых, соответственно, Зв/Бк.

Для периода 1987–1990 гг. для всех НП как Козелецкого, так и Репкинского районов расчет дозы $D_j^{ad,T}$ выполняется с использованием общеукраинской “молочной” функции $\tilde{c}^{milk}(t)$ и ее параметров [4].

Районно-специфические среднегодовые значения $\bar{c}_r^{milk,T}$ для Козелецкого района

“Молочным” мониторингом (хотя бы один раз в течение 1987–2011 гг.) в Козелецком районе было охвачено ~ 50 % НП. Кроме того, как показал анализ результатов мониторинга, временная динамика концентрации ^{137}Cs в молоке не имела выраженного монотонного снижения со временем (рис. 3).

To calculate the annual dose for child of age group a in year T in settlement j the next equations are used

where k_a^{dos} , k_{ad}^{dos} are doses per unit of intake of ^{137}Cs for age group a and for adult, respectively, Sv/Bq.

All-Ukrainian “milk” function $\tilde{c}^{milk}(t)$ and its parameters are used for dose $D_j^{ad,T}$ calculation over the period of 1987–1990 for all settlements of Kozelets and Ripky raions [4].

The raion-specific average annual value of $\bar{c}_r^{milk,T}$ for Kozelets raion

The milk monitoring (at least once during 1987–2011) in the Kozelets raion covered about 50% of the settlements. In addition, as follows from the results of monitoring the time variation of ^{137}Cs concentration in milk is not a decreasing in time function (see Figure 3).

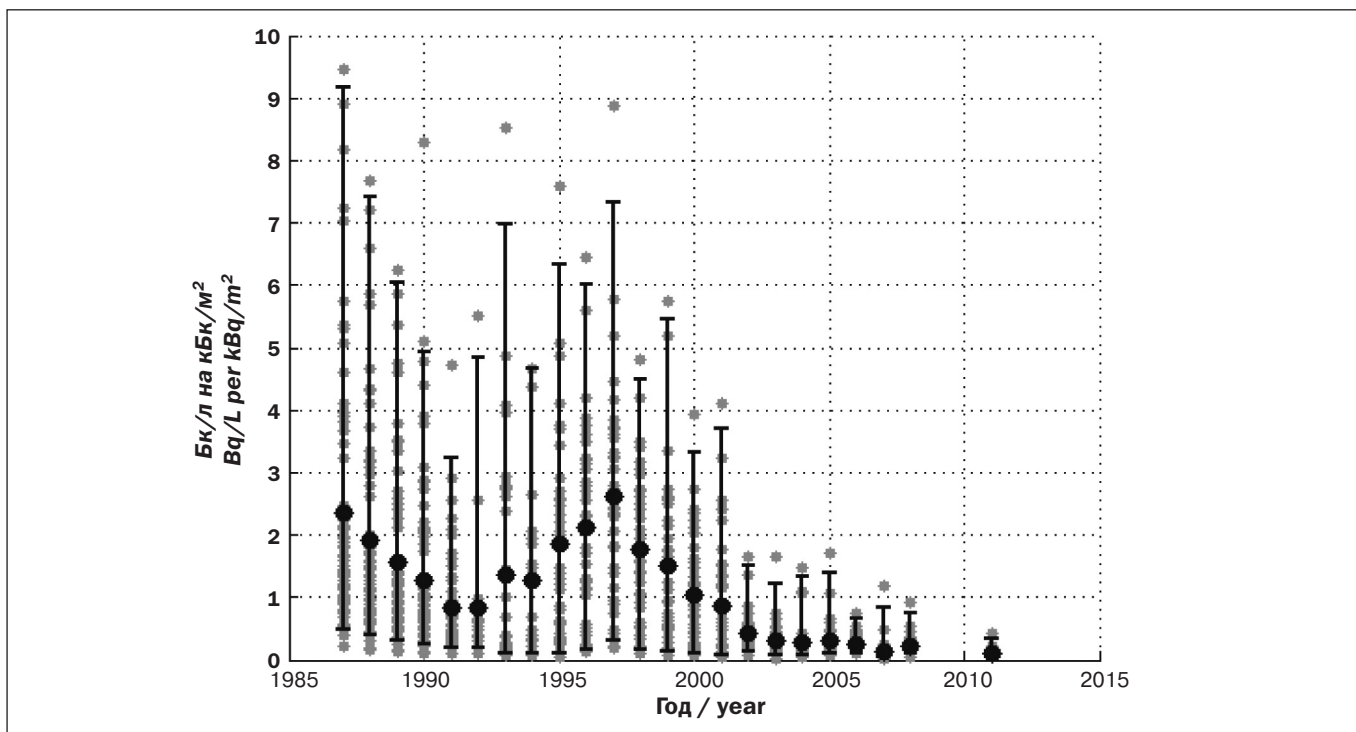


Рисунок 3. Концентрация ^{137}Cs в молоке, нормированная на плотность выпадений ^{137}Cs на почву в НП Козелецкого района (*) и среднерайонные среднегодовые значения $\bar{c}_r^{milk,T}$ (●)

Figure 3. Result of measurements of ^{137}Cs concentration in milk, normalized to the ^{137}Cs activity per unit area in the settlements of Kozelets raion (*) and average annual values of $\bar{c}_r^{milk,T}$ (●)

В таблице 5 приведены статистические характеристики и числовые значения средних концентраций ^{137}Cs в молоке, нормированные на плотность

The statistical characteristics and numeric values of ^{137}Cs average concentrations in milk are given in Table 5, that are normalized per density

выпаденый ^{137}Cs на почву того или иного НП ($\bar{c}_r^{\text{milk},T}$), которые принимаются при расчете доз $D_j^{\text{ad},T}$ за 1987–2011 гг. для тех НП Козелецкого района, в которых проживали субъекты ГРУ.

of ^{137}Cs fallout deposition for the specific settlements ($\bar{c}_r^{\text{milk},T}$) used for doses calculation $D_j^{\text{ad},T}$ for SRU subjects of Kozelets raion over a period of 1987–2011.

Таблица 5

Средние нормированные значения концентрации ^{137}Cs в молоке ($\bar{c}_r^{\text{milk},T}$) для Козелецкого района в период 1987–2011 гг, AM – среднее арифметическое, SD – стандартная ошибка

Table 5

Average ^{137}Cs concentration in milk ($\bar{c}_r^{\text{milk},T}$), normalized to the ^{137}Cs activity per unit area for the settlements of Kozelets raion over the period of 1987–2011

Год / year	Количество НП Number of settlements	$\bar{c}_r^{\text{milk},T}$ Бк/л на кБк/м ² Bq/L per kBq/m ²	
		AM	SD
1987*	–	2,4	2,5
1988*	–	1,9	2,0
1989*	–	1,6	1,6
1990*	–	1,3	1,3
1991	53	0,8	0,8
1992	29	0,8	1,0
1993	37	1,4	1,8
1994	20	1,3	1,3
1995	40	1,9	1,7
1996	40	2,1	1,5
1997	40	2,6	1,7
1998	40	1,8	1,2
1999	40	1,5	1,3
2000	40	1,0	0,9
2001	39	0,9	1,0
2002	37	0,4	0,3
2003	39	0,3	0,3
2004	37	0,3	0,3
2005	39	0,3	0,3
2006	38	0,3	0,1
2007	39	0,1	0,2
2008	38	0,2	0,1
2009	–	–	–
2010	–	–	–
2011	36	0,1	0,1

Примечание. * – рассчитываются с использованием общеукраинской нормированной “молочной” функции $\bar{c}_r^{\text{milk},T}$ [4]

Note. * – calculated by the use of all-Ukrainian normalized “milk” function $\bar{c}_r^{\text{milk},T}$ [4]

Районно-специфическая нормированная “молочная” функция $\tilde{c}_r^{\text{milk}}(t)$ для Репкинского района

Как показал анализ результатов “молочного” мониторинга, который проводился в НП Репкинского района в 1991–2011 гг., временная динамика концентрации ^{137}Cs в молоке на единицу плотности выпадений ^{137}Cs на почву имела четко выраженный монотонно-убывающий характер (рис. 4).

Аппроксимация объединенных по району результатов измерения концентрации ^{137}Cs в молоке в T -й год, нормированных на плотность выпадений ^{137}Cs

The raion-specific normalized “milk” function $\tilde{c}_r^{\text{milk}}(t)$ for Ripky raion

The analysis of the “milk” monitoring, that was carried out in the settlements of Ripky raion in 1991–2011 of ^{137}Cs concentration in milk normalized to the ^{137}Cs activity per unit area, clearly indicates the decreasing in time (see Figure 4).

The combined results of the measurements of ^{137}Cs concentration in milk of a raion in year T normalized to the density of ^{137}Cs ground deposi-

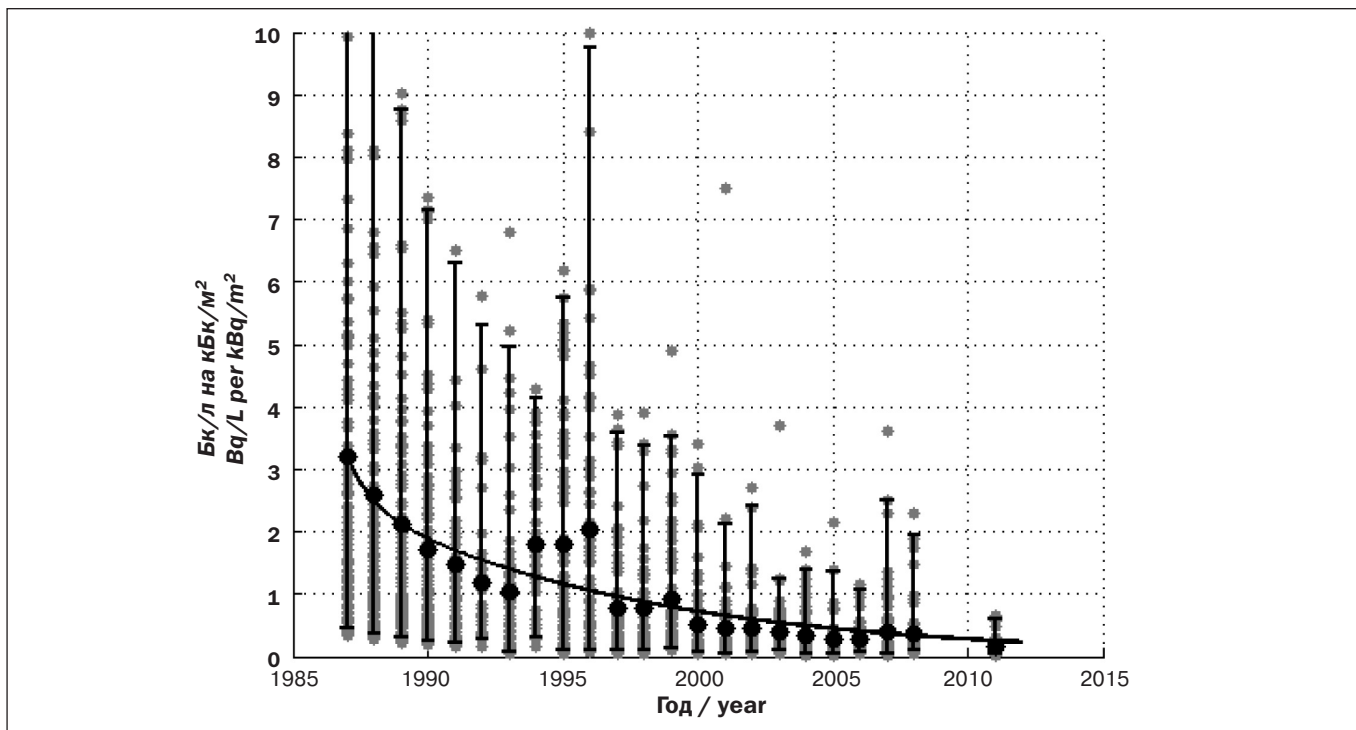


Рисунок 4. Временная динамика концентрации ^{137}Cs в молоке, нормированная на плотность выпадений ^{137}Cs на почву в НП Репкинского района и аппроксимационная функция $\tilde{c}_r^{\text{milk}}(t)$

Figure 4. The time variation of ^{37}Cs concentration in milk normalized to the density of ^{137}Cs ground deposition in the settlements of Ripky raion, and approximation function $\tilde{c}_r^{\text{milk}}(t)$

Таблица 6

Параметры районно-специфической “молочной” функции $\tilde{c}_r^{\text{milk}}(t)$ для Репкинского района

Table 6

Estimated parameters of the raion-specific “milk” function $\tilde{c}_r^{\text{milk}}(t)$ for Ripky raion

Район Raion	Параметры функции Parameters of function				Бк/л на кБк/м ² Bq/L per kBq/m ²		
	R_2	a_r	b_r	λ_{r1}	λ_{r2}	$T_{r1} = \frac{\ln 2}{\lambda_{r1}}$	$T_{r2} = \frac{\ln 2}{\lambda_{r2}}$
		б/п // unitless	б/п // unitless	1/год // 1/year	1/год // 1/year	годы/years	годы/years
Репкинский Ripky	0,86	3,23	0,23	1,16	0,095	0,6	7,3

на почву, $c_j^{\text{milk},T}$ была выполнена биэкспоненциальной функцией $\tilde{c}_r^{\text{milk}}(t)$ вида:

$$\tilde{c}_r^{\text{milk}}(t) = a_r [b_r e^{-\lambda_{r1} \cdot t} + (1 - b_r) e^{-\lambda_{r2} \cdot t}] \quad (9)$$

где $a_r, b_r, \lambda_{r1}, \lambda_{r2}$ – оцениваемые параметры. Параметры функции $\tilde{c}_r^{\text{milk}}(t)$ приведены в таблице 6.

$c_j^{\text{milk},T}$ were approximated by the two-exponential function $\tilde{c}_r^{\text{milk}}(t)$:

where $b_r, \lambda_{r1}, \lambda_{r2}$ are estimated parameters. Parameters of the function $\tilde{c}_r^{\text{milk}}(t)$ are shown in Table 6.

Районно-специфический молочный эквивалент рациона ($ARME_r$)

Числовые среднегодовые значения районно-специфических молочных эквивалентов ($ARME_r^T$) для Козелецкого и Репкинского районов рассчитыва-

Raion-specific milk equivalent of diet ($ARME_r$)

Numerical annual average values of raion-specific milk equivalents of diet ($ARME_r^T$) for Kozelets and Ripky raions were calculated almost in the same

лись аналогічно процедурам, которые разработаны для Рокитновского, Овручского и Иванковського районів (Сообщение 1).

Учитывая достаточно высокий процент недостоверных и малодостоверных СИЧ-измерений в Козелецком и Репкинском районах, расчет НП-специфического молочного эквивалента $\bar{w}_{milk,j}^{T,ad}$ выполнялся для тех j -х НП и T -х лет, в которых:

а) средняя по НП концентрация ^{137}Cs в молоке $\bar{c}_j^{milk,T}$ превышала 10 Бк/л;

way as the respective procedures that were developed for Rokytne, Ovruch and Ivankiv raions (see Report 1).

Taking into account a quite high percentage of unreliable WBC measurements in Kozelets and Ripky raions, the settlement-specific milk equivalents $\bar{w}_{milk,j}^{T,ad}$ were calculated for those settlement j and year T , where:

a) the average settlement ^{137}Cs concentration in the milk $\bar{c}_j^{milk,T}$ exceeded 10 Bq/L;

Таблица 7

Числовые значения среднегодовых районно-специфических молочных эквивалентов рациона $ARME_r^T$, рассчитанные для жителей Козелецкого и Репкинского районов в период 1995–2011 гг., $N_{ad}^{T,СИЧ}$ – количество СИЧ-измерений у взрослых в T -й год, AM – среднее арифметическое, SD – стандартная ошибка, q5% – пятипроцентный квантиль, q95% – девяностопятипроцентный квантиль

Table 7

Numerical value of the average raion-specific milk equivalents of diet $ARME_r^T$ calculated for the inhabitants of Kozelets and Ripky raions over a period of 1995–2011, $N_{ad}^{T,WBC}$ is number of adult WBC measurements in year T ; AM is arithmetic mean, SD is standard deviation, and q5% and q95% are corresponding quantiles

Год Year	$N_{ad}^{T,СИЧ}$ $N_{ad}^{T,WBC}$	$ARME_r^T$				
		AM	SD	Медиана Median	q5%	q95%
Козелецкий район / Kozelets raion						
1995	80	0,27	0,13	0,25	0,10	0,52
1996	55	0,15	0,12	0,12	0,01	0,35
1997	499	0,13	0,44	0,06	0,01	0,40
1998	189	0,18	0,18	0,13	0,03	0,55
1999	132	0,26	0,16	0,23	0,06	0,51
2000	346	0,43	0,36	0,33	0,06	1,20
2001	255	0,37	0,29	0,31	0,05	0,91
2002	–	–	–	–	–	–
2003	61	0,40	0,21	0,40	0,15	0,69
2004	–	–	–	–	–	–
2005	94	0,76	0,24	0,80	0,40	1,17
2006	10	0,57	0,21	0,49	0,31	0,99
2007	29	0,25	0,11	0,22	0,13	0,52
2008	23	0,47	0,31	0,44	0,12	1,05
2011	–	–	–	–	–	–
Репкинский район / Ripky raion						
1995	191	0,97	1,04	0,66	0,05	2,67
1996	296	0,57	0,57	0,37	0,03	1,66
1997	1085	0,47	0,50	0,33	0,05	1,32
1998	622	0,60	0,63	0,42	0,09	1,74
1999	630	0,40	0,37	0,31	0,07	1,10
2000	358	0,58	0,43	0,44	0,12	1,40
2001	557	0,62	0,78	0,36	0,07	2,09
2002	–	–	–	–	–	–
2003	422	0,78	0,48	0,68	0,18	1,64
2004	264	0,73	0,39	0,65	0,17	1,44
2005	52	1,14	0,27	1,18	0,62	1,50
2006	140	1,63	1,04	1,42	0,58	3,40
2007	51	0,77	0,53	0,64	0,17	1,68
2008	–	–	–	–	–	–
2011	73	0,98	1,02	0,68	0,15	3,15

б) больше половины результатов СИЧ-измерений у взрослых ($Q_{i,j}^{ad,T}$) были достоверными. Для тех НП, где результаты измерений $Q_{i,j}^{ad,T}$ были ниже МДА, принималось, что соответствующая активность в организме $Q_{i,j}^{ad,T} = 0,5$ МДА.

В таблице 7 приведены значения районно-специфических молочных эквивалентов рациона ($ARME_r^T$) для интервала времени в 1995–2011 гг. для рассматриваемых районов.

Данные таблицы 7 визуализированы на рисунке 5, на котором показаны численные значения $ARME_r^T$, рассчитанные для разных лет для жителей Козелецкого и Репкинского районов.

Как видно из таблицы 7 и рисунка 5, как для Козелецкого, так и для Репкинского района, не наблюдается заметной динамики значений $ARME_r^T$ во времени. Поэтому, для периода 1987–2011 гг., в модели было принято значение $ARME_r^T$, которое составляет 0,3 л/сут для Козелецкого и 0,62 л/сут для Репкинского района.

b) more than half of the results of adult WBC measurements ($Q_{i,j}^{ad,T}$) were reliable. For the settlements where results $Q_{i,j}^{ad,T}$ of measurement were lower than MDA, the body burden $Q_{i,j}^{ad,T} = 0.5$ MDA were assumed.

The values of raion-specific milk equivalents of diet ($ARME_r^T$) for the raions under consideration for the period of 1995–2011 are presented in Table 7.

The results of Table 7 are plotted for Kozelets raion and for Ripky raion in Figure 5. The numerical values $ARME_r^T$ are calculated for different years.

As it follows from Table 7 and Figure 5, there is no clear changing in time of $ARME_r^T$ values both for Kozelets and Ripky raions. Therefore, a single value of $ARME_r^T$ equal 0.3 L/day for Kozelets and 0.62 L/day for Ripky raion was accepted in the model for the period 1987–2011.

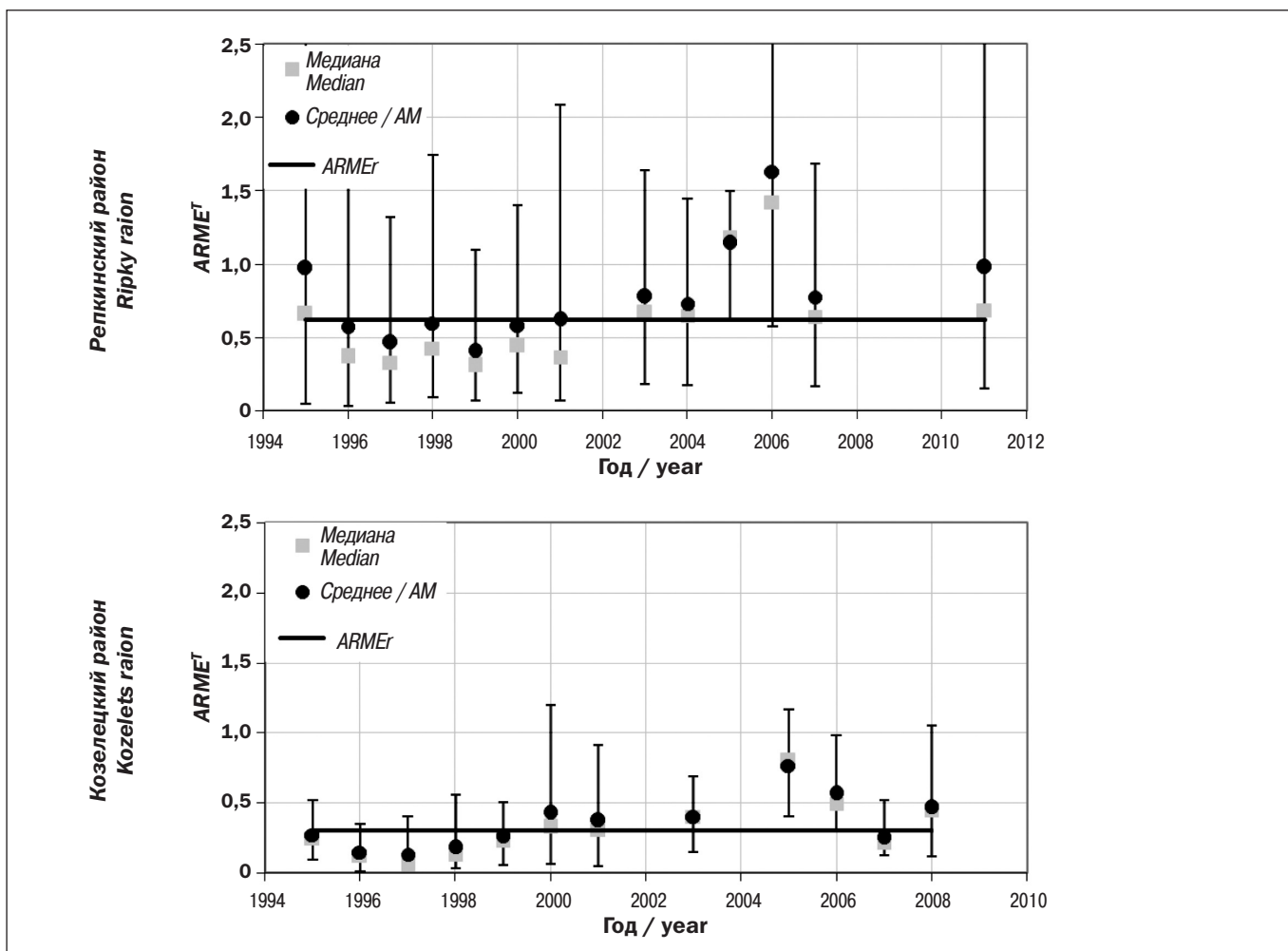


Рисунок 5. Численные значения $ARME_r^T$ для Козелецкого и Репкинского районов, а также принятые модельные значения $ARME_r$

Figure 5. Numerical values of the $ARME_r^T$ for Kozelets and Ripky raions and the model values of $ARME_r$ for different years (●) and solid line that corresponds to accepted model value of $ARME_r$

Референтные значения доз внутреннего облучения

В таблице 8 приведены усредненные отдельно по ТЗ-1 и ТЗ-2 Козелецкого и Репкинского районов концентрации ¹³⁷Cs в молоке, а также дозы внутреннего облучения, рассчитанные по результатам СИЧ-измерений в период 1991–2011 гг.

The reference value of internal doses

In Table 8, the average values of ¹³⁷Cs concentration in milk and internal radiation doses (WBC measurements) are provided for TZ-1 and TZ-2 of Kozelets and Ripky raions for the period of 1991–2011.

Таблица 8

Средние по ТЗ-1 и ТЗ-2 Козелецкого и Репкинского районов концентрации ¹³⁷Cs в молоке и дозы внутреннего облучения от радиоцезия, рассчитанные по результатам СИЧ-измерений в период 1991–2011 гг.

Table 8

Average ¹³⁷Cs concentration in milk and internal WBC doses calculated for TZ-1 and TZ-2 of Kozelets and Ripky raions for the period of 1991–2011

Год, Т Year, T	Козелецкий р-н / Kozelets raion				Репкинский р-н / Ripky raion			
	ТЗ-1 / TZ-1		ТЗ-2 / TZ-2		ТЗ-1 / TZ-1		ТЗ-2 / TZ-2	
	$\sigma_{Cs,j}^{86} \geq 37 \text{ кБк/м}^2$ $\geq 37 \text{ kBq/m}^2$		$\sigma_{Cs,j}^{86} < 37 \text{ кБк/м}^2$ $< 37 \text{ kBq/m}^2$		$\sigma_{Cs,j}^{86} \geq 37 \text{ кБк/м}^2$ $\geq 37 \text{ kBq/m}^2$		$\sigma_{Cs,j}^{86} < 37 \text{ кБк/м}^2$ $< 37 \text{ kBq/m}^2$	
	молоко, Бк/л milk, Bq/L	доза, мЗв/год dose, mSv/year	молоко, Бк/л milk, Bq/L	доза, мЗв/год dose, mSv/year	молоко, Бк/л milk, Bq/L	доза, мЗв/год dose, mSv/year	молоко, Бк/л milk, Bq/L	доза, мЗв/год dose, mSv/year
1991	69	0,12	10	–	110	–	33	–
1992	124	0,02	8	0,02	54	–	19	–
1993	113	–	20	–	59	–	19	–
1994	88	–	12	0,02	81	–	47	–
1995	85	0,19	37	–	59	0,38	47	–
1996	76	0,09	45	0,04	67	0,20	48	0,04
1997	90	0,04	54	0,02	41	0,08	16	0,03
1998	67	0,05	36	0,02	48	0,10	17	0,06
1999	47	0,06	30	0,03	41	0,08	19	0,03
2000	42	0,08	21	0,03	33	0,09	12	0,05
2001	30	0,07	19	0,02	19	0,08	9	0,04
2002	24	–	7	–	38	–	9	–
2003	15	0,15	5	0,08	18	0,12	8	0,03
2004	14	0,04	4	0,03	14	0,02	8	0,04
2005	15	0,08	4	0,07	18	–	6	0,07
2006	10	0,06	5	0,06	12	0,12	7	0,07
2007	11	0,06	2	0,06	17	0,10	9	0,06
2008	9	0,05	4	0,02	14	0,04	7	0,04
2011	4	0,02	2	0,02	6	0,05	4	–
<i>Среднее за выделенный период Average for highlighted period</i>	8,8	0,05	4,1	0,05	6	0,05	7,5	0,05

Как видно из таблицы 8, для ряда временных периодов усредненная по НП района концентрация ¹³⁷Cs в молоке не превышает 10 Бк/л (10% от установленного допустимого уровня 100 Бк/л [3]):

- в Козелецком районе:
 - для ТЗ-1 в период 2006–2011 гг.;
 - для ТЗ-2 в период 2002–2011 гг.
- в Репкинском районе:
 - для ТЗ-1 в период 2011 г.;
 - для ТЗ-2 в период 2001–2011 гг.

As it follows from Table 8 the settlement-averaged ¹³⁷Cs concentration in milk does not exceed 10 Bq/L for a number of time periods (10% of the permissible activity level of 100 Bq/L [3]):

- in Kozelets raion:
 - for TZ-1 over a period of 2006–2011,
 - for TZ-2 over a period of 2002–2011;
- in Ripky raion:
 - for TZ-1 for 2011,
 - for TZ-2 over a period of 2001–2011.

Для временных периодов, в которых уровни концентрации ^{137}Cs в молоке не превышают 10 Бк/л, средние (по соответствующих ТЗ района) дозы внутреннего облучения по результатам СИЧ-измерений у взрослого населения находятся в интервале 0,02–0,08 мЗв/год. Усредненные за эти периоды значения доз внутреннего облучения составляют 0,05 мЗв/год.

Учитывая данные таблицы 8, в модели реконструкции доз внутреннего облучения численное значение D_r^{ref} было принято равным 0,05 мЗв/год (50 мкЗв/год) для жителей как Козелецкого, так и Репкинского районов.

Относительное районно-специфическое поступление радиоцезия с рационом RRI_a^r для детских возрастных групп

Методика параметризации RRI_a^r для Козелецкого и Репкинского районов совпадает с методикой параметризации RRI_a^r для Рокитновского, Овручского и Иванковского районов, описанных в Сообщении 1. Среднегодовое поступление радиоцезия с рационом $f_a^{Cs,T}$ для четырех детских возрастных групп (≤ 2 , 3–7, 8–12 и 13–17 лет) для периода 1995–2011 гг. рассчитывалось по результатам СИЧ-измерений в тех j -х НП, где в T -м году одновременно проводились СИЧ-измерения у взрослых и хотя бы в одной из четырех указанных выше детских групп.

При расчете $f_a^{Cs,T}$ учитывались только НП с высокодостоверными (превышающими на $\sim 30\%$ МДА) СИЧ-измерениями активности радиоцезия в организме жителей.

Статистические характеристики параметра RRI_a для разных возрастных групп Козелецкого и Репкинского районов приведены в таблице 9.

For the time periods where ^{137}Cs concentration values in milk do not exceed 10 Bq/L, the settlement-average internal radiation doses (WBC measurements) for adults in corresponding TZ are in the range of 0.02–0.08 mSv/year, so that over the mentioned periods value of internal radiation dose is 0.05 mSv/year.

Taking into account the data of Table 8 internal dose 0.05 mSv/year (50 $\mu\text{Sv}/\text{year}$) was accepted as a numerical value of reference dose D_r^{ref} for the residents of Kozelets and Ripky raions within model of internal dose reconstruction.

Relative raion-specific intake of radiocesium with diet RRI_a^r for children's age groups

Methodology of RRI_a^r estimation for Kozelets and Ripky raions is similar to parameterization approach RRI_a^r used for Rokytne, Ovruch and Ivankiv raions (see Report 1). Annual average radiocesium intake with diet $f_a^{Cs,T}$ for the four children's age groups (≤ 2 , 3–7, 8–12 and 13–17 years old) for the period of 1995–2011 were calculated according to the results of WBC measurements for the settlement where those WBC measurements in year T were taken both for adults and at least one children's age group.

In $f_a^{Cs,T}$ calculation just only settlements where WBC measurements were reliable (measurement values exceed MDA by $\sim 30\%$) are taken into account.

Statistical characteristic of RRI_a parameters for different age groups of Kozelets and Ripky raions are presented in Table 9.

Таблица 9

Численные характеристики районного относительного поступления RRI_a^r для различных детских групп Козелецкого и Репкинского районов, AM – среднее арифметическое, SD – стандартная ошибка, GM – среднее геометрическое, GSD – геометрическое стандартное отклонение

Table 9

Raion relative intake RRI_a^r for different children's groups of Kozelets and Ripky raions, AM is arithmetic mean, SD is standard deviation, GM is geometric mean, GSD is geometric standard deviation

Возрастная группа a , лет Age group a , year	RRI_a^r б/п // unitless				
	AM	SD	GM	GSD	Медиана / median
≤ 2	1,4	0,4	1,4	1,3	1,4
3–7	1,4	0,5	1,3	1,4	1,2
8–12	1,1	0,3	1,0	1,4	1,1
13–17	0,9	0,2	0,9	1,3	0,9
≥ 18	1	–	1	–	1

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Описанные в Сообщении 2 модели были использованы для реконструкции индивидуализированных доз облучения субъектов ГРУ Козелецкого и Репкинско-го районов Черниговской области. При реконструкции индивидуализированных доз субъектов ГРУ учитывалось время (год) постановки того или иного субъекта на учет ГРУ, возможные его перемещения по НП района, периодичность медицинских обследований, а также длительность пребывания субъекта на учете в ГРУ#. В таблице 10 указано общее количество субъектов каждого района, находящихся на учете в ГРУ, а также число субъектов, для которых удалось индивидуализировать дозы облучения.

Таблица 10

Общее число субъектов, находящихся на учете в ГРУ в Козелецком и Репкинском районах и число субъектов, для которых индивидуализированы дозы облучения

Table 10

Total number of the SRU subjects of Kozelets and Ripky raions and a number of subjects with individualized doses

Район, область Raion, oblast	Количество субъектов ГРУ / number of SRU subjects		
	все субъекты ГРУ all SRU subjects	с индивидуализированными дозами which have individualized doses	
		количество / number	%
Козелецкий р-н, Черниговская обл. Kozelets raion, Chernihiv oblast	36 374	21 811	60
Репкинский р-н, Черниговская обл. Ripky raion, Chernihiv oblast	28 856	14 553	50

В таблице 11 приведены средние значения индивидуализированных доз субъектов ГРУ Козелецкого и Репкинско-го районов в период 1986-2013 гг. Указаны значения как доз внутреннего облучения, так и суммарных (в результате внутреннего и внешнего облучения) доз облучения в этот период##.

В таблице 12 приведены распределения субъектов ГРУ рассматриваемых районов по интервалам реконструированных индивидуализированных доз, накопленных за период наблюдения субъектов в ГРУ.

ВЫВОДЫ

В работе приведено описание эколого-дозиметрических моделей реконструкции доз внутреннего облучения от потребления загрязнённых радиоцезием продуктов питания, разработанных для индивиду-

RESULTS AND DISCUSSION

Models described in Report 2 were used for reconstruction of the individualized internal ingestion doses of SRU subjects of Kozelets and Ripky raions of Chernihiv oblast. At the doses reconstruction the time (year) of registration of SRU subject, his/her possible moving in other settlements of the raion, periodicity of medical examination, and duration of observation in SRU were taken into account#. In Table 10 the total amount of persons from raions that have the record in SRU and also number of persons with successfully individualized internal doses are shown.

Table 11 presents the average values of individualized doses of SRU subjects of Kozelets and Ripky raions for the period of 1986-2013. Both the internal doses as well as total (internal and external) doses for that period## are shown in Table 11.

Table 12 presents the distribution of SRU subjects of two raions by the intervals of reconstructed individualized doses that were accumulated for the period of SRU subject observation.

CONCLUSIONS

Present paper contains a detailed description of ecological-dosimetric models for reconstruction of internal exposure doses from consuming of radiocesium contaminated food, that have been

Субъект может быть снят с учета в ГРУ по причине его переезда в другой район (область) или по причине его смерти

Дозы внешнего облучения для субъектов ГРУ Козелецкого и Репкинско-го районов были индивидуализированы в соответствии с методикой, описанной в [4-6] на основании [7,8]

A person can be removed from registration in the SRU by reason of his/her resettlement to another raion (oblast) or as a result of his/her death

External radiation doses of SRU subjects of Kozelets and Ripky raions were individualized in accordance with methodic described in [4-6] according to [7,8]

Таблица 11

Средние годовые индивидуализированные дозы внутреннего и суммарного (внутреннее и внешнее) облучения для субъектов ГРУ Козелецкого и Репкинского районов в период 1986–2011 гг.

Table 11

Average annual internal and total (internal and external) doses for SRU subjects of Kozelets and Ripky raions in 1986–2011

Год / year	Козелецкий р-н / Kozelets raion		Репкинский р-н / Ripky raion	
	Средняя доза, мЗв/год // average dose, mSv/year			
	внутреннее облучение internal exposure	суммарное облучение total exposure	внутреннее облучение internal exposure	суммарное облучение total exposure
1986	0,65	1,74	0,69	2,02
1987	0,31	0,64	0,22	0,61
1988	0,23	0,45	0,15	0,40
1989	0,18	0,34	0,12	0,31
1990	0,14	0,27	0,10	0,25
1991	0,05	0,16	0,05	0,17
1992	0,08	0,18	0,08	0,18
1993	0,12	0,20	0,03	0,12
1994	0,12	0,20	0,05	0,13
1995	0,21	0,29	0,09	0,16
1996	0,16	0,23	0,08	0,15
1997	0,17	0,23	0,02	0,09
1998	0,14	0,20	0,03	0,09
1999	0,11	0,16	0,04	0,10
2000	0,11	0,16	0,02	0,07
2001	0,09	0,14	0,05	0,10
2002	0,06	0,10	0,05	0,10
2003	0,04	0,09	0,05	0,09
2004	0,04	0,08	0,05	0,09
2005	0,04	0,08	0,05	0,09
2006	0,05	0,09	0,05	0,09
2007	0,05	0,09	0,05	0,09
2008	0,05	0,09	0,05	0,09
2009	0,05	0,09	0,05	0,09
2010	0,05	0,09	0,05	0,09
2011	0,05	0,08	0,05	0,09
2012	–	–	–	–
2013	–	–	–	–

Таблица 12

Распределение субъектов ГРУ Козелецкого и Репкинского районов по интервалам доз, накопленных за время наблюдения в ГРУ в период 1986–2013 гг.

Table 12

Distribution of the SRU subjects of Kozelets and Ripky raions by intervals of doses accumulated during the SRU observation period in 1986–2013

Накопленная доза, мЗв Accumulated dose, mSv	Козелецкий р-н / Kozelets raion		Репкинский р-н / Ripky raion	
	Количество субъектов (% от когорты) // number of subjects (% from all subjects)			
	внутренняя internal	суммарная total	внутренняя internal	суммарная total
<1	6,5	2,3	17	0,8
1 – 2	19	6,4	68	11,4
2 – 5	61	50	9,4	50,3
5 – 10	13	25	5,0	30
10 – 20	–	16	0,46	2,8
20 – 50	–	–	–	4,6
> 50	–	–	–	0,1

лизации доз внутреннего облучения субъектов ГРУ Козелецкого и Репкинского районов Черниговской области.

Из-за относительно невысоких уровней выпадений ^{137}Cs на почву на территории этих районов, дозы внутреннего облучения жителей этих районов после 2000 г. были ниже 10 мкЗв/год. Уровни концентрации ^{137}Cs в молоке и содержания ^{137}Cs в организме жителей также находились на уровне или ниже минимально-детектируемой активности. Поэтому Козелецкий и Репкинский районы были разделены на две “территориальные зоны”: ТЗ-1 – территория, где плотность выпадения ^{137}Cs на почву в 1986 г. превышала 37 кБк/м² и ТЗ-2 – территория, где этот показатель не превышал 37 кБк/м². Для каждой территориальной зоны каждого из рассматриваемых районов в модели реконструкции был определен момент времени (год), начиная с которого использовалось понятие так называемой “референтной дозы” (D_r^{ref}), значение которой приписывалось всем субъектам, независимо от результатов и наличия мониторингов. Значения D_r^{ref} установлено на уровне 50 мкЗв/год.

Результаты радиоэкологического и дозиметрического мониторингов, проводимые на территории Козелецкого и Репкинского районов, использовались исключительно для параметризации районно-специфичных функций, таких как годовая средняя концентрация ^{137}Cs в молоке на единицу выпадений ^{137}Cs на почву ($\bar{c}_r^{milk,T}$) для Козелецкого района и функция временной динамики концентрации ^{137}Cs в молоке ($\tilde{c}_r^{milk}(t)$) для Репкинского района. Такой подход существенным образом отличается от НП-специфического подхода реконструкции доз, использованного для субъектов ГРУ Рокитновского, Овручского и Иванковского районов (Сообщение 1). Также как и для субъектов ГРУ районов, представленных в Сообщении 1, для Козелецкого и Репкинского районов Черниговской области были определены: молочный эквивалент рациона $ARME_r$, который составил 0,3 л/сут для Козелецкого района и 0,62 л/сут для Репкинского района, а также относительное районное возраст-зависимое поступление радиоцезия с рационом RRI'_a .

Разрабатываемая модель позволила реконструировать индивидуализированные дозы внутреннего облучения для:

- 27 811 субъектов Козелецкого района (60% всех субъектов ГРУ в этом районе);
- 14 553 субъектов Репкинского района (50% всех субъектов ГРУ в этом районе).

developed for internal doses individualization of SRU subjects from Kozelets and Ripky raions of Chernihiv oblast.

Due to relatively low level of ^{137}Cs ground depositions at the territory of these raions, internal radiation doses of its inhabitants after 2000 were at levels below 10 mSv/year. Levels of ^{137}Cs concentrations in milk and ^{137}Cs concentration in residents' body were also at the level or below the minimum-detectable activity. Therefore, the territory of Kozelets and Ripky raions was divided into two “territorial zone”: TZ-1, an area where ^{137}Cs ground depositions density in 1986 was greater than 37 kBq/m², and TZ-2, an area where this rate is not greater than kBq/m². For each of the territorial areas of considered raions, the initial time moment (year) was introduced in the reconstruction model, starting from which the term “reference dose” was used (D_r^{ref}). Its value was attributed to all subjects, regardless of the results and the availability of monitoring. The value of D_r^{ref} is fixed at the level of 50 mSv / year.

Results of radioecological and dosimetric monitorings carried out at the territory of Kozelets and Ripky raions were used exclusively for parameterization of the raion-specific functions, such as the annual average concentration of ^{137}Cs in milk per unit of ^{137}Cs ground depositions ($\bar{c}_r^{milk,T}$) for Kozelets raion and function of temporal dynamics of ^{137}Cs concentration in milk ($\tilde{c}_r^{milk}(t)$) for Ripky raion. Such approach differs substantially from the settlement specific approach of doses reconstruction used for SRU subjects from Rokytno, Ovruch, and Ivankiv raions (see Report 1). As well as for the SRU subjects from raions presented in Report 1, for Kozelets and Ripky raions of Chernihiv oblast the following quantities were identified: milk equivalent of the food ration $ARME_r$, which amounted to 0.3 L/day for Kozelets raion and 0.62 L/day for Ripky raion, as well as the relative for the raion age dependent intake of radiocesium with the diet RRI'_a .

The developed model allowed to restore individualized internal doses for:

- 27811 subjects from Kozelets raion (60% of the SRU subjects in this raion),
- 14553 subjects from Ripky raion (50% of the SRU subjects in this raion).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон України від 27 лютого 1991 р. N 791а-ХІІ "Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи" // Ядерное законодательство : сборник нормативно-правовых актов (состоянием на 1 января 1998 г.). – К. : Ин Юре, 1998. – С. 425–435.
2. Закон України від 28 лютого 1991 р. N 796-ХІІ "Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи" // Ядерное законодательство : сборник нормативно-правовых актов (состоянием на 1 января 1998 г.). – К. : Ин Юре, 1998. – С. 435–479.
3. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді: гігієнічний норматив ГН 6.6.1.1-130-2006 / МОЗ України, Державна санітарно-епідеміологічна служба. – К. : [б. в.], 2006. – 22 с.
4. Реконструкція та прогноз доз опромінення населення, яке мешкає на територіях України, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС (Методика-97) : інструктивно-методичні вказівки / ред. І. А. Ліхтарьов. – К. : [б. в.], 1998. – 76 с.
5. Реконструкція індивідуалізованих доз опромінення суб'єктів Державного реєстру України (ДРУ) осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської аварії і проживають на радіоактивно-забруднених територіях (Іванківський район Київської області та Овруцький район Житомирської області) : методичні рекомендації / І.А. Ліхтарьов, Л.М. Ковган, Г. В. Федосенко [та ін.] ; МОЗ України, НАМН України, ДУ "УЦІТ та НР МОЗ України", ДУ "НЦРМ АМН України", ІРЗ АТН України. – К. : [б. в.], 2010. – 37 с.
6. Реконструкція індивідуалізованих доз опромінення суб'єктів Державного реєстру України осіб (ДРУ) Рокитнівського району Рівненської області та Козелецького і Ріпкинського районів в Чернігівській області, які постраждали внаслідок Чорнобильської аварії і проживають на радіоактивно-забруднених територіях : методичні рекомендації / І.А. Ліхтарьов, Л.М. Ковган, Г. В. Федосенко [та ін.] ; МОЗ України, НАМН України, ДУ "УЦІТ та НР МОЗ України", ДУ "НЦРМ АМН України", ІРЗ АТН України. – К. : [б. в.], 2012. – 66 с.
7. Effective doses due to external irradiation from the Chernobyl accident for different population groups of Ukraine / I. Likhariov, L. Kovgan, D. Novak [et al.] // Health Physics. – 1996. – Vol. 70, No. 1. – P. 87–98.
8. Chernobyl accident: Retrospective and prospective estimates of external dose of the population of Ukraine / I. Likharev, L. Kovgan, P. Jacob [et al.] // Health Physics. – 2002. – Vol. 82, No. 3. – P. 290–303.

REFERENCES

1. [On legal status of the areas radioactively contaminated by the Chernobyl disaster. The Law of Ukraine No. 791a-XII (February 27, 1991)]. In: Nuclear legislation. Collection of normative-legal acts (status on January 1, 1998). Kyiv: In Yure; 1998. p. 425-35. Ukrainian.
2. [About the status and social protection of citizens affected due to the Chernobyl disaster. The Law of Ukraine No. 796-XII (February 28, 1991)]. In: Nuclear legislation. Collection of normative-legal acts (status on January 1, 1998). Kyiv: In Yure; 1998. p. 435-79. Ukrainian.
3. Ministry of Health of Ukraine, State Sanitary and Epidemiological Service. [Accepted levels of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr content in food and drinking water: hygienic standards HS 6.6.1.1-130-2006]. Kyiv: [s. n.]; 2006. 22 p. Ukrainian.
4. Likharev IA, editor. [Reconstruction and prognosis of exposure doses for population who are living in Ukrainian territories radioactively contaminated due to Chernobyl accident (Methodic 97): instructions and guidelines]. Kyiv: [s. n.]; 1998. 76 p. Ukrainian.
5. Lihtarov IA, Kovgan LM, Fedosenko GV, et al.; Ministry of Health of Ukraine, NAMS of Ukraine, State Institution "USIT HP and the Ministry of Health of Ukraine", State Institution "NRCRM, NAMS of Ukraine", Ukrainian RPI ATS. [Reconstruction of individualized doses for subjects of State Register of Ukraine (SRU) persons affected by the Chernobyl accident and living in radiation-contaminated areas (Ivankov raion of Kyiv oblast and Ovruch raion of Zhitomir oblast): methodical guidelines]. Kyiv: [s. n.]; 2010. 37 p. Ukrainian.
6. Lihtarov IA, Kovgan LM, Fedosenko GV, et al.; Ministry of Health of Ukraine, NAMS of Ukraine, State Institution "USIT HP and the Ministry of Health of Ukraine", State Institution "NRCRM, NAMS of Ukraine", Ukrainian RPI ATS. [Reconstruction of individualized doses for subjects of State Register of Ukraine (SRU) from Rokytne raion of Rivne oblast and Kozeletskyi and Ripky raions of Chernihiv oblast affected by the Chernobyl accident and living on the radioactively contaminated areas: methodical guidelines]. Kyiv: [s. n.]; 2012. 66 p. Ukrainian.
7. Likhariov I, Kovgan L, Novak D, Vavilov S, Jacob P, Paretzke HG. Effective doses due to external irradiation from the Chernobyl accident for different population groups of Ukraine. Health Phys. 1996 Jan;70(1):87-98.
8. Likharev IA, Kovgan LN, Jacob P, Anspaugh LR. Chernobyl accident: retrospective and prospective estimates of external dose of the population of Ukraine. Health Phys. 2002 Mar;82(3):290-303.

Стаття надійшла до редакції 1.08.2014

Received: 1.08.2014