

УДК 621.387.4.004.652: 504.054: 616.281:546.36:621.039.573

**В. В. Василенко¹, С. В. Масюк¹, О. М. Іванова¹✉, В. О. Пікта¹, З. Н. Бойко¹, М. І. Чепурний¹,
В. Б. Бударяцька¹, Г. М. Задорожна¹, Л. О. Литвинець¹, М. С. Крамаренко¹, Г. В. Федосенко¹,
О. Г. Кукуш², М. С. Куряга¹, Н. С. Жадан³, Т. Ф. Бабенко¹**

¹Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України», вул. Мельникова, 53, м. Київ, 04050, Україна

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 60, вул. Володимирська, м. Київ, 01033, Україна

³Науково-дослідний інститут радіаційного захисту Академії технологічних наук України, 53, вул. Мельникова, а/с 52, м. Київ, 04050, Україна

РЕЗУЛЬТАТИ ЛВЛ-ВИМІРЮВАНЬ, ПРОВЕДЕНИХ НА РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ УКРАЇНИ У 1986-2014 рр. (РЕВІЗІЯ ТА АНАЛІЗ)

Мета дослідження: ревізія, аналіз і суттєве поліпшення якості бази даних ЛВЛ-вимірювань, проведених у 1986–2014 рр. на радіоактивно забруднених територіях України за рахунок відновлення інформаційних прогалів та вдосконалення моделі розрахунку доз внутрішнього опромінення.

Матеріали та методи дослідження. У період з 1986 по 2014 рр. фахівцями лабораторії лічильників випромінювання людини ННЦРМ накопичено близько 1,5 млн результатів ЛВЛ-вимірювань вмісту інкорпорованого радіоцезію в організмі осіб, які проживають на радіоактивно забруднених внаслідок аварії на ЧАЕС територіях. Більшість вимірювань (64 %) було здійснено у перші 15 років після аварії. Переважна частина вимірювань була зроблена в Київській (~ 23 %), Житомирській (36 %), Рівненській (20 %) та Чернігівській (5 %) областях. Роботи з ревізії бази даних ЛВЛ-вимірювань включали: перенесення даних, які зберігаються на паперових носіях у електронну форму; перевірку коректності та відповідності інформації; відновлення відсутньої інформації у полях бази даних; вдосконалення моделі розрахунку доз внутрішнього опромінення за даними ЛВЛ-вимірювань. У моделі розрахунку ревізованих доз припускається рівноважний вміст радіоцезію впродовж року. Використовуються референтні значення параметрів метаболізму та антропометричні параметри людини, рекомендовані в публікаціях МКРЗ.

Результати. Ревізовані дози реконструйовано для 1 386 585 записів бази даних ЛВЛ-вимірювань, які задовольняють спеціально розробленим критеріям оцінки якості результатів ЛВЛ-вимірювань. Серед них 604 215 записів – це ЛВЛ-вимірювання у дітей і підлітків, молодших 18 років, а 782 370 записів – дорослих мешканців України, більшість з яких проживає у Житомирській, Київській, Рівненській та Чернігівській областях.

Висновки. Отримані результати є підґрунтям для подальших робіт з удосконалення моделей розрахунку паспортних доз та індивідуалізованих доз опромінення суб'єктів, зареєстрованих у Державному реєстрі України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи. Розраховані дози можуть бути використані для епідеміологічних, клінічних та інших досліджень.

Ключові слова: лічильник випромінювання людини, ЛВЛ-вимірювання, внутрішнє опромінення, база даних, радіоцезій, реконструкція доз опромінення, Чорнобильська катастрофа.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2018. Вип. 23. С. 120–138. doi: 10.33145/2304-8336-2018-23-120-138.

✉ Іванова Ольга Миколаївна, e-mail: iolgagm@gmail.com

V. V. Vasylenko¹, S. V. Masiuk¹, O. M. Ivanova¹✉, V. O. Pikta¹, Z. N. Boiko¹, M. I. Chepurny¹, V. B. Buderatska¹, G. M. Zadorozhna¹, L. O. Lytvynets¹, M. S. Kramarenko¹, G. V. Fedosenko¹, A. G. Kukush², M. S. Kuriata¹, N. S. Zhadan³, T. F. Babenko¹

¹State Institution «National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», 53 Melnykova str., Kyiv, 04050, Ukraine

²Taras Shevchenko National University of Kyiv, 60 Volodymyrska str., Kyiv, 01033, Ukraine

³Ukrainian Radiation Protection Institute of the Academy of Technological Sciences of Ukraine, 53 Melnykova str., PO Box 52, Kyiv, 04050, Ukraine

RESULTS OF WBC MEASUREMENTS WERE MADE AT RADIOACTIVELY CONTAMINATED TERRITORIES OF UKRAINE IN 1986–2014 (REVISION AND ANALYSIS)

Objective: revision, analysis, and significant improvement of quality of the database of WBC measurements made in 1986–2014 at radioactively contaminated territories of Ukraine by the use of renewal of informational gaps and improvement of the model for assessment of internal exposure doses.

Materials and methods. In the period from 1986 to 2014 experts of the Whole Body Counters Laboratory of NRCRM accumulated about 1.5 million results of WBC measurements of radio-cesium incorporated in the body of persons residing at the territories which are radioactively contaminated due to Chernobyl accident. Most of measurements (~64 %) were made during the first 15 years after the accident. The most of measurements were made in Kyiv (~23 %), Zhytomyr (~36 %), Rivne (~20 %) and Chernihiv (~5 %) Oblasts. Works on revision of database of WBC measurements included: transformation of data saved in paper format into electronic form, checking for correctness and correspondence of information, renewal of lacking information at the fields of database, improvement of the model for evaluation of internal exposure doses by the data of WBC measurements. In the model for evaluation of revised doses, it is assumed uniform content of radio-cesium during a year. Reference values are used of metabolism parameters and anthropometric human parameters recommended in publications of ICRP.

Results. Revised doses have been reconstructed for 1,386,585 records of data base of WBC measurements that fit specially elaborated criterions for estimation of quality of results. Among them 604,215 records are WBC measurements of children and adolescents younger than 18, and 782,370 records correspond to adult inhabitants of Ukraine, most of which reside in Zhytomyr, Kyiv, Rivne and Chenihiv Oblasts.

Conclusions. Obtained results serve as a ground for further works on improvement of models for evaluation of passport doses and individualized exposure doses of subjects registered in Ukrainian State Register – of persons that affected due to Chernobyl accident. Evaluated doses can be used for epidemiological, clinical and other research.

Key words: whole body counter, WBC measurements, internal exposure, database, radio-cesium, reconstruction of exposure doses, Chernobyl accident.

Problems of radiation medicine and radiobiology. 2018;23:120-138. doi: 10.33145/2304-8336-2018-23-120-138.

ВСТУП

Внаслідок Чорнобильської аварії понад 3 млн мешканців України опинились на радіоактивно забруднених територіях (РЗТ). Відразу після аварії, у травні 1986 р., розпочався еколого-дозиметричний моніторинг населених пунктів (НП) РЗТ, який включав визначення вмісту ¹³⁷Cs та ¹³⁴Cs в організмі мешканців цих територій за допомогою лічильників випромінювання людини (ЛВЛ). У подальшому масовий ЛВЛ-моніторинг проводився у рамках Державної програми «Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України», яка розпочалась з 1991 р. і продовжувалась близько 20 років [1]. На жаль, сьо-

INTRODUCTION

As a result of Chernobyl accident, more than 3 million residents of Ukraine appeared at radioactively contaminated territories (RCT). Just after the accident, in May 1986, the ecological and dosimetric monitoring of settlements at RCT was initiated through the determination of ¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs content in the body of residents of these territories by counters of human irradiation (WBC). Later on a mass WBC monitoring was held in frames of State program «Integrated dosimetric passportization of the settlements of Ukraine», launched in 1991 and continued about 20 years [1]. Unfortunately now due to

годні через відсутність фінансування ЛВЛ-вимірювання проводяться лише силами Державної установи «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України» (ННЦРМ) в окремих НП [2, 3]. Нині база даних результатів ЛВЛ-вимірювань (БД ЛВЛ), виконаних у період з 1986 по 2014 рр., містить близько 1,5 млн записів.

Враховуючи підвищення вимог до якості дозиметричної інформації та обслуговування персоналізованих реєстрів індивідуальних даних щодо стану здоров'я та дозових навантажень жителів України, посталала задача аналізу і ревізії бази даних ЛВЛ-вимірювань.

У 2013–2018 рр. силами лабораторії лічильників випромінювання людини та лабораторії радіологічного захисту проводились роботи, які включали:

- аналіз структури, повноти та достовірності інформації щодо ЛВЛ-вимірювань, яка міститься в БД ЛВЛ;
- аналіз і ревізію моделей та розрахункових програм, що використовувалися при переході від результатів вимірювань до доз опромінення на різних фазах аварії;
- розробку системи верифікації бази даних ЛВЛ-вимірювань.

Найбільш важливими і цінними для епідеміологічних та клінічних досліджень є результати вимірювань, виконаних у 1986 році та переданих до ННЦРМ Міністерством охорони здоров'я України на паперових носіях [2]. Саме ця інформація є найпроблемнішою, оскільки на той час ще не було спеціалізованого обладнання та єдиного методичного забезпечення вимірювань [4]. Кількість таких записів у БД ЛВЛ складає близько 30 тис. Пізніше фахівцями ННЦРМ результати ЛВЛ-вимірювань 1986 р. були перенесені на електронні носії. Зауважимо, що в лабораторії ЛВЛ ННЦРМ на паперових носіях зберігаються ще близько 100 тис. записів про вимірювання, виконаних у різні роки, які потребують обробки та внесення до електронної бази даних.

Результати ЛВЛ-вимірювань, виконаних у 1987–1994 рр., кількість яких у БД ЛВЛ досягає 187 тис., теж є надзвичайно важливою інформацією для відновлення індивідуальних доз внутрішнього опромінення мешканців РЗТ, сформованих головним чином за рахунок інкорпорації ^{137}Cs та ^{134}Cs . Ці дані були введені переважно з паперових звітів, інформація в яких була неповною, а іноді – некоректною.

the lack of financing WBC measurements are conducted only by forces of State Institution «National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» (NRCRM) in few settlements [2, 3]. Nowadays the database of the results of WBC measurements (DB WBC) performed since 1986 till 2014 contains around 1.5 million records.

Taking account for increasing of demands to the quality of dosimetric information and maintenance of personalized registers of individual data concerning the health state and dose load of residents of Ukraine, it raised the problem of analysis and revision of database of WBC measurements.

In 2013–2018 by forces of the laboratory of counters of human irradiation and the laboratory of radiological defense the works were conducted that included:

- analysis of the structure, completeness and reliability of information concerning WBC measurements that is contained in DB WBC,
- analysis and revision of models and computational programs that were used in transition from results of measurements to exposure doses at various phases of the accident,
- development of the system for verification of the database of WBC measurements.

The most important and valuable for epidemiological and clinical investigations are results of measurements made in 1986 and passed to NRCRM by Ministry of Health of Ukraine in paper format [2]. Namely this information is the most problematic, because at that time yet there was no specialized equipment and unified methodical supply of measurements [4]. The number of such records in DB WBC is about 30 thousand. Later on experts of NRCRM relocated the results of WBC measurements of 1986 to electronic media. Notice that at the WBC laboratory of NRCRM yet 100 thousand records have been saved about measurements made in different years that need processing and including to electronic database.

Results of WBC measurements made in 1987–1994, the number of which in DB WBC achieves 187 thousand, is extremely important information as well for renewal of individual doses of internal exposure of residents of RCT that were formed mainly by incorporation of ^{137}Cs та ^{134}Cs . Those data were taken mainly from paper reports, where information was incomplete and sometimes incor-

У процесі ревізії була проведена звірка паперових носіїв з електронною БД для виправлення помилок та відновлення недостатньої інформації.

База даних ЛВЛ-вимірювань 1995–2014 рр. – це найбільший за обсягом пласт найбільш якісної (у порівнянні з попередніми роками) інформації. Однак через зниження рівнів внутрішнього опромінення у цей період, постає завдання розробки методичних підходів щодо вирішення питання оцінки результатів ЛВЛ-вимірювань на рівні мінімальної детектованої активності приладу (МДА).

МЕТА

Ревізія, аналіз та суттєве поліпшення якості бази даних ЛВЛ-вимірювань, проведених у 1986–2014 рр. на радіоактивно забруднених територіях України за рахунок відновлення інформаційних прогалів та вдосконалення моделі розрахунку доз внутрішнього опромінення.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Обсяги ЛВЛ-вимірювань і структура бази даних

База даних ЛВЛ-вимірювань вмісту інкорпорованого ¹³⁷Cs у організмі людини містить 1 488 920 записів щодо вимірювань, які були проведені на території України у 1986–2014 рр. Найбільша кількість ЛВЛ-вимірювань за цей період була виконана у Житомирській (36 % від усіх вимірювань), Київській (23 %) та Рівненській (20 %) областях. У табл. 1 подано обсяги ЛВЛ-вимірювань, виконаних у

rect. In the revision process, verification of paper format was made with electronic DB for correction of mistakes and renewal lacking information.

Database of WBC measurements of 1995–2014 is the largest in volume layer of the most qualitative information (in comparison with previous years). Nevertheless due to decreasing of levels of internal exposure in that period, an assignment arises to elaborate methodical approaches to solve the problem of treating the results of WBC measurements at the level of minimal detected activity of device (MDA).

OBJECTIVE

Revision, analysis and significant improvement of quality of database of WBC measurements made in 1986–2014 at radioactively contaminated territories of Ukraine, at the expense of renewal of informational gaps and improvement of the model for evaluation internal exposure doses.

METHODS

Volumes of WBC measurements and structure of database

Database of WBC measurements of content of incorporated ¹³⁷Cs in human body contains 1,488,920 records concerning measurements made at the territory of Ukraine in 1986–2014. The largest number of WBC measurements during that period was in Zhytomyr (36 % of all measurements), Kyiv (23 %) and Rivne (20 %) Oblasts. Table 1 presents the volumes of WBC measure-

Таблиця 1

Обсяги ЛВЛ-вимірювань у 1986–2014 рр., що зберігаються у БД ЛВЛ ННЦРМ

Table 1

Volumes of WBC measurements in 1986–2014 saved in DB WBC of NRCRM

Область / oblast	Часові інтервали, роки / time intervals, years				
	1986	1987–1994	1995–2000	2001–2014	1986–2014
Кількість ЛВЛ-вимірювань / number of WBC measurements					
Вінницька / Vinnytsia	627	2 995	11 157	17 501	32 280
Волинська / Volyn	–	4 163	68 785	22 047	94 995
Житомирська / Zhytomyr	6 246	191 080	183 964	160 415	541 705
Івано-Франківська / Ivano-Frankivsk	–	76	694	3 285	4 055
Київська / Kyiv	19 490	55 146	144 475	124 886	343 997
Рівненська / Rivne	469	47 833	107 106	150 215	305 623
Сумська / Sumy	–	1 021	5 232	3 852	10 105
Тернопільська / Ternopil	–	119	5 272	2 271	7 662
Хмельницька / Khmelnytsk	–	133	3 264	4 341	7 738
Черкаська / Cherkasy	1	6 695	21 133	15 153	42 982
Чернігівська / Chernihiv	2 152	7 470	35 824	37 683	83 129
Інші області України / others oblasts of Ukraine	788	10 862	1 827	1 172	14 649
Інші країни / others countries	3	9 401	8	221	9 633
Усього / total	29 776	336 994	588 741	543 042	1 498 553

різних областях в різні часові періоди після аварії: 1986 р., 1987–1994 рр., 1995–2000 рр., 2001–2014 рр. Тут представлено області, де за весь період 1986–2014 рр. було виконано не менше 4 тис. вимірювань.

Більшість ЛВЛ-вимірювань (64 %) було виконано у перші 15 років після аварії (період 1986–2000 рр.). Населеними пунктами, в яких було проведено найбільшу кількість ЛВЛ-вимірювань, є міста: Київ (90 тис.), Коростень (51 тис.), Овруч (40 тис.), Боярка (18 тис.), Рівне (9,1 тис.), а також смт: Іванків (29 тис.) та Народичі (20 тис.). На рис. 1 представлено динаміку обсягів ЛВЛ-вимірювань, що проводились на території України у період 1986–2014 рр. Динаміка є дуже неоднорідною. Найбільшу кількість ЛВЛ-вимірювань (близько 160 тис.) було виконано у 1997 р., що становить ~ 11 % вимірювань, виконаних за всі післяаварійні роки. Значно меншою була кількість ЛВЛ-вимірювань у 1991–1994, 2009–2010 та 2014 рр.

ments made in different Oblasts in different time periods after the accident: year 1986, 1987–1994, 1995–2000, and 2001–2014. Here those Oblasts are presented where at least 4 thousand measurements have been made.

Most of WBC measurements (64 %) were made in the first 15 years after the accident (in 1986–2000). Settlements where the largest number of WBC measurements were made are the following cities: Kyiv (90,000), Korosten (51,000), Ovruch (40,000), Boyarka (18,000), Rivne (9,100), and also towns: Ivankiv (29,000) and Narodichi (20,000). Figure 1 presents the dynamics of volume of WBC measurements made at the territory of Ukraine in 1986–2014. The dynamics is very inhomogeneous. The largest number of WBC measurements (around 160 thousand) was made in 1997 that constitutes ~ 11 % of measurements made during all the post-accidental years. Significantly less was the number of WBC measurements in 1991–1994, 2009–2010 and 2014.

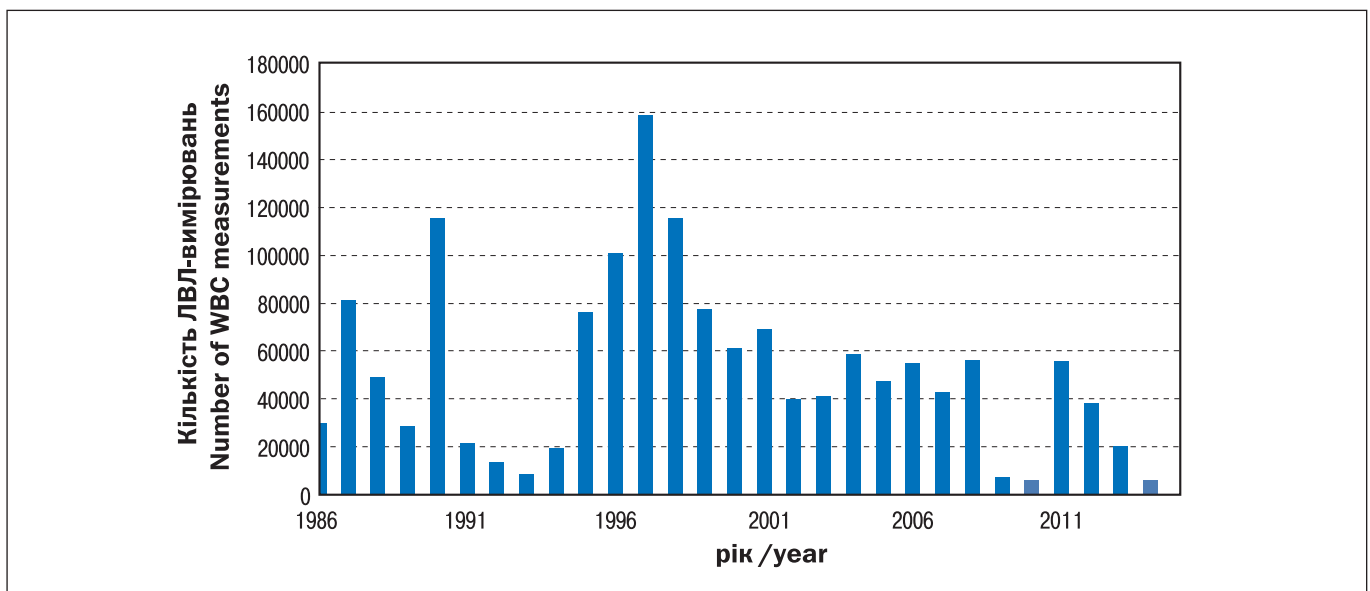


Рисунок 1. Динаміка ЛВЛ-вимірювань на території України у 1986–2014 рр.

Figure 1. Dynamics of WBC measurements at the territory of Ukraine in 1986–2014

У табл. 2 представлено розподіл осіб, які проходили ЛВЛ-вимірювання, за віком та часовими інтервалами. Зазначимо, що обсяг ЛВЛ-вимірювань для осіб молодше 18 років становить ~ 80 % від ЛВЛ-вимірювань дорослих осіб (≥ 18 років). При цьому серед дитячих вікових груп переважають записи з ЛВЛ-вимірюваннями у дітей 8–12 років і підлітків 13–17 років. Обсяги вимірювань у дітей в перші роки після аварії на ЧАЕС були більшими, ніж у наступні роки.

Table 2 presents the distribution of persons that went through WBC measurements by age and time intervals. Notice that the volume of WBC measurements for persons younger than 18 constitutes ~ 80 % of WBC measurements of adults (≥ 18 years old). At that among children age groups, the records prevail with WBC measurements for children of 8–12 years old and adolescents of 13–17 years old. Volume of measurements for children in the first years after the accident at CNPP was larger than in subsequent years.

Таблиця 2

Динаміка розподілу обсягів ЛВЛ-вимірювань за віковими групами

Table 2

Dynamics of distribution of volume of WBC measurements by age groups

Вікова група, роки Age group, years	Рік вимірювання / years of measurements							
	1986		1987–1994		1995–2014		1986–2014	
	Кількість ЛВЛ-вимірювань / number of WBC measurements							
	загальна / total	%	загальна / total	%	загальна / total	%	загальна / total	%
≤ 2	1 177	4,0	6 035	2,0	4 809	0,4	12 021	0,8
3–7	3 673	12	33 979	10	67 095	5,6	104 747	7,2
8–12	5 716	19	53 357	16	202 682	18	261 755	18
13–17	3 861	13	40 648	13	225 904	20	270 413	18
≥ 18	15 346	52	193 573	59	631 066	56	839 985	56
Усього	29 773	100	327 592	100	1 131 556	100	1 488 921	100

Структура БД ЛВЛ-вимірювань складається з трьох окремих інформаційних блоків.

Блок 1. Паспортні та біометричні дані вимірюваної особи. Його поля містять дані про місце проживання особи, рік народження, стать, професійну групу, масу тіла та зріст. Кожному запису відповідає унікальний номер вимірювання, який ідентифікує рік проведення та порядковий номер у цьому році.

Блок 2. Засоби та умови проведення вимірювання. Він включає дані щодо організації, оператора, дати та місця проведення ЛВЛ-вимірювання, приладу та його характеристик.

Блок 3. Параметри та результати вимірювання. Цей блок окрім інформації про виміряну активність ¹³⁷Cs та ¹³⁴Cs, містить також інші характеристики вимірювання: мінімально-детектовану активність, похибку, швидкість лічби фону та річну дозу.

В середньому наповненість полів у зазначених блоках становить: 91 % – у блоці 1, 96,6 % – у блоці 2 та 87 % – у блоці 3.

ЛВЛ-вимірювання у 1986 р.

Обсяги ЛВЛ-вимірювань у 1986 році наведено у табл. 3. Переважна частина вимірювань була зроблена в Київській (65 %), Житомирській (21 %) та Чернігівській (7 %) областях і лише 7 % – в інших регіонах України. Вимірювання розпочались відразу після аварії, проте максимальну кількість було проведено з серпня по жовтень 1986 р. Кількість вимірювань за місяць, як правило, не перевищувала 1000 за винятком Київської та Житомирської областей.

Аналіз обсягів вимірювань (рис. 2, табл. 4) показав, що кількість ЛВЛ-вимірювань вмісту інкорпорованого ¹³⁷Cs в організмі дітей є вагомою лише у трьох областях: Київській, Житомирській та Чернігівській.

The structure of DB of WBC measurements comprises 3 separate informational blocks.

Block 1. Passport and biometrical data of a person under measurement. Its fields include data on place of residence, year of birth, sex, professional group, weight and height. A unique number of the measurement corresponds to each record that identifies the year of conducting and ordinal number in that year.

Block 2. Tools and conditions of measurement. It includes the data concerning organizing, operator, the date and place of conducting of the WBC measurement, and the device and its characteristics.

Block 3. Parameters and results of measurement. Besides information about the measured activity of ¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs, other characteristics of the measurement are included: minimal detected activity, error, speed of background counting and yearly dose.

In average the filling of the fields in above-mentioned blocks is: 91 % – in block 1, 96.6 % – in block 2 and 87 % – in block 3.

WBC measurements in 1986

Volumes of WBC measurements in 1986 are given in Table 3. The most of measurements were made in Kyiv (65 %), Zhytomyr (21 %) and Chernihiv (7 %) Oblasts, and only 7 % in other raions of Ukraine. Measurements started already after the accident, but maximal number of them was made from August to October 1986. The number of measurements during a month, as a rule, did not exceed 1,000 except Kyiv and Zhytomyr Oblasts.

Analysis of volumes of measurements (Fig. 2, Table 4) showed that the number of measurements of incorporated ¹³⁷Cs in children is solid only in three Oblasts: Kyiv, Zhytomyr and Chernihiv. For

Таблиця 3

Обсяги ЛВЛ-вимірювань 1986 р. у областях України залежно від часу проведення вимірювань

Table 3

Volumes of WBC measurements were made in 1986

Область / oblast	Кількість вимірювань / number of WBC measurements								
	за рік in a year	травень May	червень June	липень July	серпень August	вересень September	жовтень October	листопад November	грудень December
Київська / Kyiv	19 490	16	16	362	4 771	5 385	5 277	1 621	1 175
Житомирська / Zhytomyr	6 246	30	17	–	1 004	2 258	1 346	1 020	566
Чернігівська / Chernihiv	2 152	2	–	–	29	127	249	927	818
Кіровоградська / Kirovograd	638	–	–	–	1	–	163	474	–
Вінницька / Vinnytsia	627	–	–	–	1	33	105	255	233
Рівненська / Rivne	469	–	–	–	81	–	26	133	229
Інші / others	154	–	–	–	17	16	6	2	113
Всього / total	29 776	48	33	362	5 904	7 819	7 172	4 432	3 134

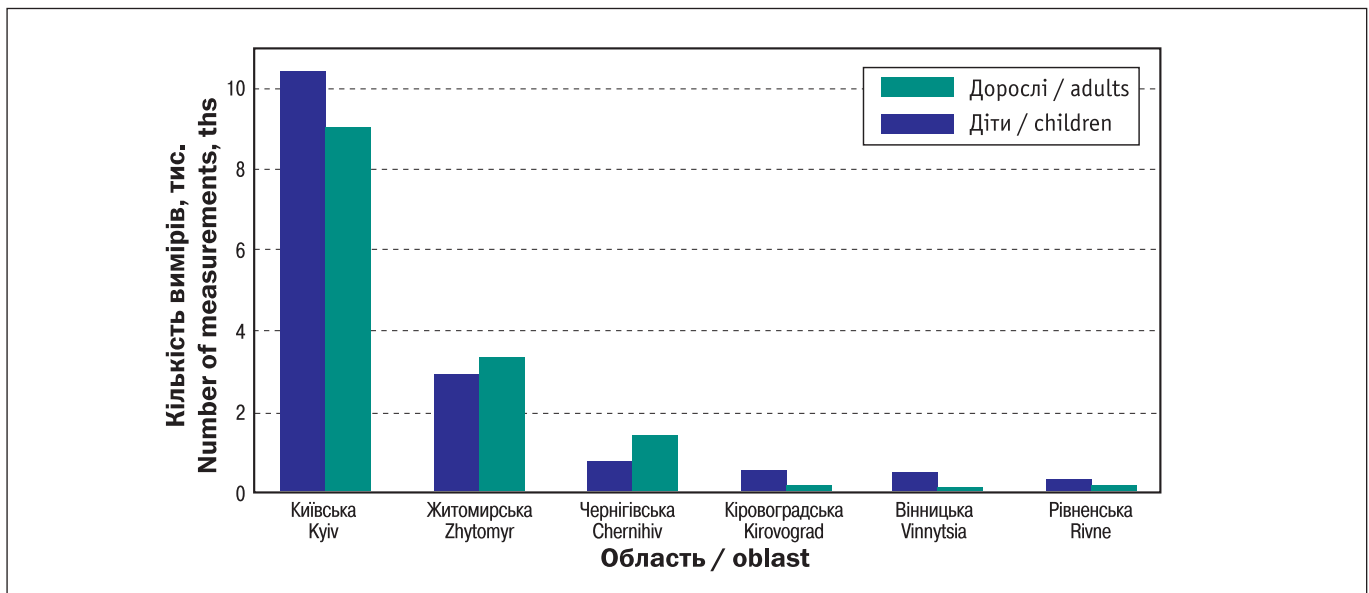


Рисунок 2. Розподіл обсягів ЛВЛ-вимірювань ¹³⁷Cs, виконаних у 1986 р.

Figure 2. Distribution of volumes of WBC measurements of ¹³⁷Cs were made in 1986

Таблиця 4

Результати ЛВЛ-вимірювань у 1986 р. інкорпорованого ¹³⁷Cs у дорослих (≥ 18 років) та дітей (< 18 років)

Table 4

Results of WBC measurements of incorporated ¹³⁷Cs for adults (≥ 18 years old) and children (< 18 years old) made in 1986

Області / oblasts	Кількість вимірювань Number of measurements		Вміст інкорпорованого ¹³⁷ Cs, кБк / incorporated ¹³⁷ Cs, kBq					
			середнє значення mean		90 % квантиль 90% quantile		максимальне значення maximal	
	дорослі adults	діти children	дорослі adults	діти children	дорослі adults	діти children	дорослі adults	діти children
Київська / Kyiv	10 428	9 062	14,3	6,9	33	15	1 438	569
Житомирська / Zhytomyr	2 912	3 334	70,5	27,0	131	79	1 637	943
Чернігівська / Chernihiv	701	1 451	7,5	4,6	–	–	143	94
Кіровоградська / Kirovograd	575	63	1,5	3,3	–	–	22	11
Вінницька / Vinnytsia	541	86	3,1	2,6	–	–	60	35
Рівненська / Rivne	397	122	17,1	8,9	–	–	186	51

Для решти областей частка таких вимірювань у дітей надзвичайно мала.

Максимальні значення вмісту інкорпорованого ¹³⁷Cs у дітей були у 1,5–3 рази меншими, ніж у дорослих. Найбільші рівні середнього вмісту ¹³⁷Cs – понад 70 кБк у дорослих і близько 27 кБк у дітей зареєстровано в Житомирській області, дещо нижчі – у Київській (14,3 кБк для дорослих та 6,9 кБк для дітей) і Рівненській (17,1 кБк для дорослих та 8,9 кБк для дітей) областях.

Найбільший обсяг ЛВЛ-вимірювань у Житомирській області виконано у Народицькому районі: 2 813 ЛВЛ-вимірювань – у дорослих, 3146 – у дітей. Середнє значення вмісту інкорпорованого ¹³⁷Cs у дорослих цього району становить 72,7 кБк, а у дітей – 28,1 кБк.

У Київській області більшість ЛВЛ-вимірювань виконано у Поліському, Чорнобильському Іванківському, Рокитнянському, Ставищенському і Києво-Святошинському районах – 73 % від усіх ЛВЛ-вимірювань в області (табл. 5).

Таблиця 5

Обсяги ЛВЛ-вимірювань у 1986 р. та середні значення вмісту інкорпорованого ¹³⁷Cs у районах Київської області для дорослих (≥ 18 років) і дітей (< 18 років)

Table 5

Volumes of WBC measurements were made in 1986 and mean values of incorporated ¹³⁷Cs in raions of Kyiv Oblast for adults (≥ 18 years old) and children (< 18 years old)

Район / raion	Кількість вимірювань Number of measurements		Вміст інкорпорованого ¹³⁷ Cs, кБк / incorporated ¹³⁷ Cs, kBq			
	дорослі adults	діти children	середнє значення mean		максимальне значення maximal	
			дорослі adults	діти children	дорослі adults	діти children
Поліський / Poliske	3604	3264	25,9	10,1	1438	380
Чорнобильський / Chornobyl	317	1907	22,0	4,1	211	174
Іванківський / Ivankiv	906	575	10,7	5,6	536	107
Рокитнянський / Rokytne	570	684	20,8	13,7	1130	458
Ставищенський / Stavysche	1118	125	2,2	2,5	40	22
Києво-Святошинський / Kyiv-Sviatoshyn	–	1110	–	2,6	–	14
Таращанський / Tarascha	521	51	17,0	15,3	159	103
Миронівський / Myronivka	341	229	6,0	5,2	39	569
Бородянський / Borodianka	257	149	8,0	7,4	87	61

У Поліському, Іванківському, Рокитнянському, Миронівському і Бородянському районах добре представлені вимірювання різних вікових груп – як дорослих, так і дітей. У Таращанському і Ставищанському районах обсяги вимірювань у дітей значно менші, ніж у дорослих, а в Чорнобильському – кількість вимірювань у дітей перевищує кількість вимірювань у дорослих майже в 6 разів. Дані по Києво-Святошинському району представлені лише дитячою віковою групою.

the rest Oblasts, the part of measurements for children is extremely small.

Maximal values of incorporated ¹³⁷Cs for children were 1.5–3 less than for adults. Maximal levels of averaged ¹³⁷Cs content (over 70 kBq for adults and about 27 kBq for children), were registered in Zhytomyr Oblast, somewhat smaller in Kyiv Oblast (14.3 kBq for adults and 6.9 kBq for children) and Rivne Oblast (17.1 for adults and 8.9 for children).

The largest volume of WBC measurements in Zhytomyr Oblast was registered in Narodychy raion: 2,813 WBC measurements for adults and 3,146 ones for children. Mean value of contents of incorporated ¹³⁷Cs for adults of this raion constitutes 72.7 kBq, and for children 28.1 kBq.

In Kyiv Oblast the most of WBC measurements were made in Poliske, Chornobyl, Ivankiv, Rokytne, Stavysche and Kyiv-Sviatoshyn raions – 73 % of all WBC measurements in the Oblast (see Table 5).

In Poliske, Ivankiv, Rokytne, Myronivka and Borodianka raions, it is well represented measurements for various age groups, for adults as well as for children. In Tarascha and Stavysche raions, volume of measurements for children is significantly less than for adults, and in Chornobyl raion, the number of measurements for children 6 times exceeds the one for adults. Data in Kyiv-Sviatoshyn raion are represented only with children's age group.

Максимальний вміст ^{137}Cs в організмі дорослих мешканців Київської області у 1986 р. досягав таких значень: Поліський район – 1 438 кБк, Чорнобильський район – 211 кБк, Іванківський район – 536 кБк, Рокитнянський – 1 130 кБк. При цьому максимальні значення вмісту ^{137}Cs у дітей є суттєво нижчими, ніж у дорослих.

На жаль, тільки 3 999 з 29 776 записів 1986 року можна віднести до групи достатньої інформаційної наповненості. У цих записах заповнені практично всі поля, що характеризують результат вимірювання, а відносна похибка вимірювання не перевищує 30 %.

Ревізія та верифікація інформації про ЛВЛ-вимірювання

Роботи з ревізії наявної інформації про ЛВЛ-вимірювання, що виконувались спільними зусиллями лабораторій лічильників випромінювання людини та радіологічного захисту ННЦРМ у 2013–2018 рр., включали:

- > перенесення даних, які зберігаються на паперових носіях в електронну форму;
- > перевірку коректності та відповідності як новоюведеної інформації, так і даних, що вже зберігаються у БД ЛВЛ;
- > доповнення та, по можливості, відновлення відсутніх полів БД з метою покращення якісної характеристики кожного вимірювання;
- > удосконалення моделі розрахунку дози внутрішнього опромінення за даними ЛВЛ-вимірювань, базуючись на сучасних наукових даних.

У табл. 6 представлено хронологію формування ревізованої бази даних ЛВЛ-вимірювань.

Під час ревізії та верифікації даних найбільш ретельно перевірялась інформація у полях, що впливають на точність дозиметричних даних. Такими полями є: ADMIN_COD – ідентифікатор населеного пункту, де

Maximal ^{137}Cs content in the body of adult residents of Kyiv Oblast in 1986 achieved the following values: Poliske raion 1,438 kBq, Chornobyl raion 211 kBq, Ivankiv raion 536 kBq, Rokytna raion 1,130 kBq. At those maximal values of ^{137}Cs content for children are significantly less than for adults.

It is a pity that only 3,999 record out of 29,776 ones dated 1986 can be classified to the group of sufficient informational fullness. In these records practically all fields that characterize the result of measurement are completed, and relative measurement error does not exceed 30 %.

Revision and verification of information about WBC measurements

Works on revision of available information about WBC measurements, that were performed in 2013–2018 by joint efforts of the laboratories of Whole Body Counters and Radiological Protection of NRCRM, included:

- > transition of data saved in paper format into electronic form,
- > checking for correctness and correspondence of new inputted information, as well as of data that already have been saved in DB WBC,
- > completion and, if possible, renewal of absent fields of DB in order to improve the qualitative characteristic of each measurement,
- > improvement of the model for evaluation of internal exposure dose by the data of WBC measurements, based on modern scientific data.

Table 6 presents the chronology of forming the revised database of WBC measurements.

During revision and verification of data, the information in fields that affects the precision of dosimetric data was verified most accurately. Such fields are as follows: ADMIN_COD – identifier of the human settlement

Таблиця 6

Кількість записів БД ЛВЛ-вимірювань, які було ревізовано у 2013–2018 рр.

Table 6

Number of records of DB of WBC measurements that were revised in 2013–2018

Роки обробки даних Years of data processing	Роки виконання вимірювань Years of measurements	Кількість записів про виміри / number of records		
		Україна Ukraine	інші країни або країна невідома others countries	усього total
2013–2015	1986–2008	1 215 642	6 631	1 222 273
2016	1987, 1988	59 391	94	59 485
2017	1987–1990	50 516	701	51 217
2018	1987–1993, 2009–2014	163 371	2 207	165 578
Усі роки / all years		1 488 920	9 633	1 498 553

мешкає особа, у якої проводилися вимірювання; BERTH_YEAR – рік народження; DAT_MEASUR – дата проведення вимірювання; WEIGHT – маса тіла особи (кг); ACT_CS_137 та ACT_CS_134 – вимірний вміст інкорпорованого ^{137}Cs та ^{134}Cs , відповідно (Бк); MDA_CS_137 та MDA_CS_134 – мінімальна детектована активність вимірювання (МДА) по ^{137}Cs та ^{134}Cs (Бк); DOS_CS_137 і DOS_CS_134 – значення річної дози внутрішнього опромінення від ^{137}Cs та ^{134}Cs (мЗв); DOSE_SUM – значення сумарної річної дози внутрішнього опромінення від усіх зареєстрованих радіонуклідів (мЗв).

Поле ADMIN_COD заповнене для 99,9 % записів БД ЛВЛ, що дає змогу визначити НП проживання особи, у якої проводиться вимірювання, практично для всієї бази даних. Лише у 1 583 записах (0,1 %) можливо ідентифікувати тільки адміністративний район або область, де зареєстрована особа, яка вимірювалася.

Рік народження (поле BERTH_YEAR) не встановлено для 71 запису. Це поле визначає вік особи і є необхідною умовою для визначення дози внутрішнього опромінення. Його відсутність або неправильне значення автоматично робить запис про ЛВЛ-вимірювання непридатним для розрахунку.

Достовірність значень по полю WEIGHT визначається не лише належністю до допустимого діапазону, але й кореляцією з віком, тобто з полем BERTH_YEAR. Проте переважна більшість паперових носіїв не містила даних про масу тіла особи. У таких випадках під час ревізії поле WEIGHT заповнювалося на підставі статистичних даних про масу тіла осіб певного віку [5–7]. Для оптимального вибору параметру маси тіла враховувались результати вітчизняних і зарубіжних наукових досліджень [8–14]. Оскільки середні значення маси тіла осіб певного віку залежать від географії проживання, національних традицій харчування, способу життя, загального стану здоров'я нації тощо, для визначення залежності «маса тіла–вік» було використано переважно результати досліджень населення України. Відповідність маси тіла та віку представлено у табл. 7.

Для оцінки похибки теоретичної маси тіла, визначеної у табл. 7, з БД ЛВЛ було відібрано 6 504 записи з відомою реальною масою тіла осіб. Відносна похибка теоретичної маси тіла розраховується за формулою:

$$\Delta = \frac{M - M_{th}}{M} \quad (1)$$

де M – маса тіла людини, що була зазначена у паперових носіях; M_{th} – теоретична маса тіла людини з табл. 6.

where the measured person resides, BERTH_YEAR – year of birth, DAT_MEASUR – the date of conducting the measurement, WEIGHT – the weight of a person (kg), ACT_CS_137 and ACT_CS_134 – the measured content of incorporated ^{137}Cs and ^{134}Cs , respectively (Bq), MDA_CS_137 and MDA_CS_134 – minimal detected activity of measurement (MDA) for ^{137}Cs and ^{134}Cs (Bq), DOS_CS_137 and DOS_CS_134 – value of annual internal exposure dose from ^{137}Cs and ^{134}Cs (mSv), DOSE_SUM – value of total annual internal exposure dose from all registered radionuclides (mSv).

The field ADMIN_COD is filled for 99.9 % of records in DB of WBC that makes it possible to determine settlement of residence of a measured person practically for the whole database. Only in 1,583 records (0.1 %) it is possible to identify only the administrative raion or Oblast where the measured person was registered.

Year of birth (field BERTH_YEAR) is not identified for 71 records. This field determines the age of a person and it is a necessary condition for determination of internal exposure dose. Its absence or improper value automatically makes the record about WBC measurement unsuited for calculation.

Adequacy of values in the field WEIGHT is determined not only by belonging to admissible range, but also by correlation with age, i.e. with the field BERTH_YEAR. But overwhelming majority of hard copies contained no data on the weight of a person. In such cases during the revision the field WEIGHT was filled based on statistical data on the weight of persons of certain age [5–7]. For optimal choice of the weight parameter, results of domestic and foreign scientific research were taken into account [8–14]. Since mean values of weight for persons of certain age depend on geography of residence, national nourishment traditions, lifestyle, general level of health of a nation, etc., in order to determine the dependence «weight–age» it was used mainly the results of investigation of the population of Ukraine. The correspondence between weight and age is presented in Table 7.

For estimation the error of theoretical weight determined in Table 7, from DB of WBC it was selected 6,504 records with known real weight of persons. Relative error of theoretical weight is evaluated by the formula

where M is the weight of a person stated in paper format, and M_{th} is theoretical weight of a person from Table 6.

Таблиця 7

Відповідність середньої маси тіла та віку для осіб, що мешкають у сільських і міських населених пунктах

Table 7

Correspondence between mean weight and age for persons residing in rural and urban settlements

Вік, роки Age, years	Маса тіла, кг / weight, kg			
	чоловіки / males		жінки / females	
	село / rural	місто / urban	село / rural	місто / urban
0	9	9	8	8
1	12	12	11	11
2	14	14	14	14
3	16	16	15	15
4	18	18	17	17
5	21	21	20	20
6	23	24	23	23
7	27	27	25	25
8	29	29	28	29
9	32	32	31	31
10	35	36	34	35
11	38	40	39	41
12	42	44	44	46
13	48	50	49	50
14	54	56	52	51
15	59	59	54	54
16	63	61	55	55
17	64	63	57	55
18	63	63	57	57
19	63	63	57	57
20–29	75	75	62	62
30–39	80	80	67	67
40–49	82	82	72	72
50–59	82	82	76	76
60–69	81	81	75	75
≥ 70	77	77	71	71

Розподіл відносної похибки теоретичної маси тіла особи представлено на рис. 3.

Від’ємним значенням похибки відповідає завищене теоретичне значення маси тіла, а додатнім — зани-

The distribution of relative error of theoretical weight of a person is presented in Fig. 3.

To negative values of the error it corresponds the overrated theoretical value of weight, and to nega-

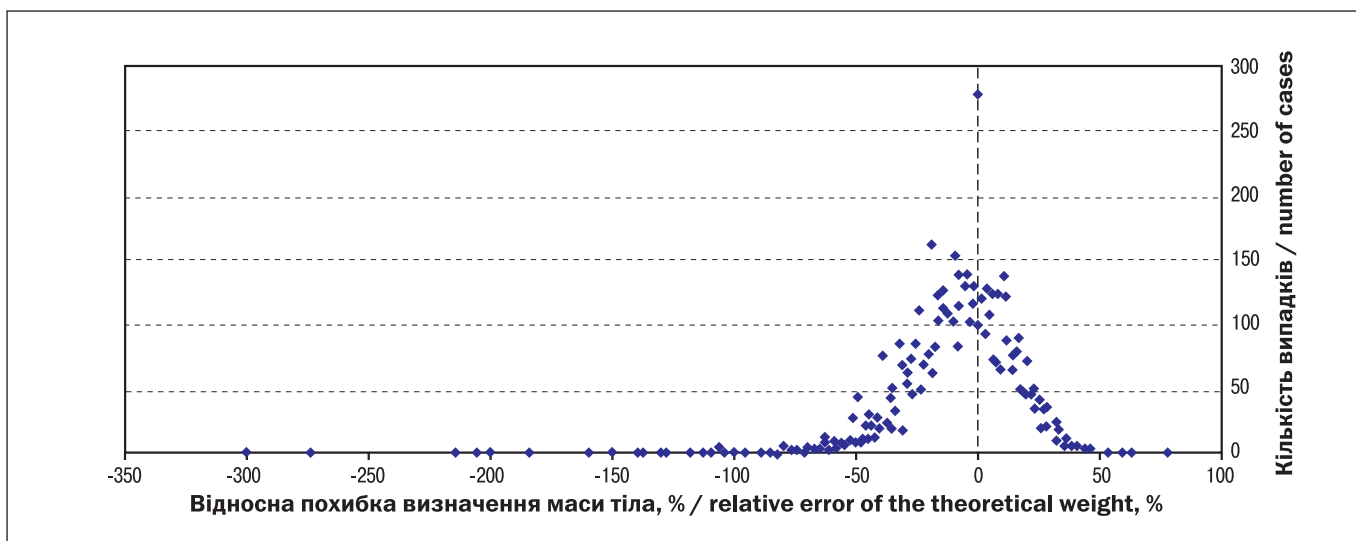


Рисунок 3. Розподіл відносної похибки теоретичного значення маси тіла

Figure 3. Distribution of relative error of theoretical value of weight

жене. Переоцінка реальної маси тіла відбувається переважно у дітей, оскільки при ЛВЛ-вимірюваннях фіксується лише рік народження.

Наповненість полів, які відображають вміст інкорпорованого радіоцезію, МДА вимірювань і сумарну дозу представлено у табл. 8.

Таблиця 8

Ступінь наповненості (%) основних полів бази даних ЛВЛ-вимірювань, пов'язаних з розрахунком індивідуальної дози внутрішнього опромінення

Table 8

Rate of fullness (%) of main fields of database of WBC measurements related to evaluation of individual doses of internal exposure

Часовий період, роки Time interval, years	Кількість ЛВЛ-вимірювань (записів) Number of WBC measurements (records)	% ненульових записів (у полях) / % of informative records (in fields)		
		вміст радіоцезію radiocesium content (ACT_CS_137 та / and ACT_CS_134)	доза внутрішнього опромінення internal dose (DOSE_SUM)	МДА ЛВЛ-вимірювання MDA (MDA_CS_137)
1986	29 776	92	92	13
1987–1994	336 994	93	77	82
1995–2000	588 741	95	95	80
2001–2014	543 042	93	93	100

Розподіл даних за групами якості

У роботі було розроблено критерії оцінки якості результатів вимірювання (записів) БД ЛВЛ так, що кожному запису було присвоєно одну з трьох груп якості.

До першої групи – «високоякісні» віднесено найбільш інформаційно насичені дані. Такі дані можуть бути використані при проведенні робіт з відновлення індивідуальних доз опромінення.

До другої групи – «якісні», було віднесено всі записи, для яких:

- а) не був ідентифікований тип приладу;
- б) не вказано ім'я та по-батькові;
- в) не визначена стать людини.

Записи з групи «якісні» хоча й мають прогалини в окремих полях, але вони можуть бути відновлені за першоджерелами – паперовими носіями, з яких інформацію було внесено до електронного файлу БД. Дані цієї групи можуть бути використані у роботах з відновлення індивідуалізованих доз опромінення. Дози, розраховані за даними першої і другої груп, можуть бути використані для епідеміологічних та інших наукових досліджень.

До третьої групи – «малоякісні» – було віднесено записи, для яких:

- а) невизначений НП проживання;
- б) відсутній рік народження та дані про масу тіла (в цьому випадку не можна оцінити масу тіла особи навіть приблизно, а отже й МДА);

tive – underrated one. Overestimation of real weight happens mainly for children, because under WBC measurements it is fixed only the year of birth.

Fullness of fields that reflect the content of incorporated radio-caesium, MDA of measurements and total dose is presented in Table 8.

Distribution of data by groups of quality

In the work it was elaborated a criterion for estimation of the quality of measurement results (records) of DB of WBC such that to each record it was assigned one of three quality groups.

The most informatively saturated data were assigned to the first group, «of high quality». Such data can be used to conduct works on renewal individual exposure doses.

To the second group, «qualitative», it was assigned all the records for which:

- (a) a type of device was not identified;
- (b) the name and surname were not indicated;
- (c) the sex of a person was not determined.

Records from the group «qualitative» though have gaps in certain fields, but they can be renewed by original sources, hard copies from which the information was introduced into the electronic file of DB. Data from the second group can be used in works on renewal of individualized exposure doses. Doses evaluated by data of the first and second groups can be used for epidemiological and other scientific investigations.

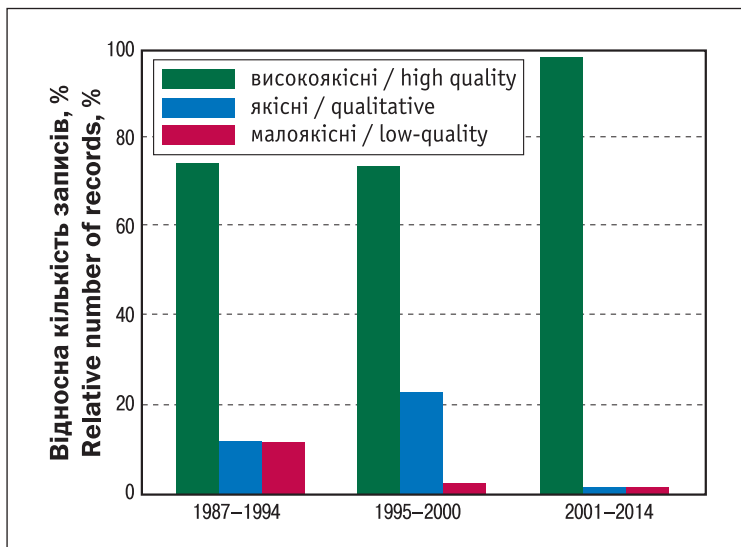
To the third group, «small-qualitative», it was assigned the records for which:

- (a) settlements of residence is not determined;
- (b) the birth year and weight are missing (in this case it is impossible to estimate the weight, even approximately, and therefore, MDA as well);

в) не вказано активність радіоцезію і її неможливо відновити на підставі інших наявних даних.

Дані третьої групи можуть бути використані для оцінки усереднених (за районом проживання, віковими групами тощо) показників.

На рис. 4 представлено розподіл записів БД ЛВЛ за групами якості.



(с) the activity of radio-cesium is not stated, and it is impossible to renew it based on other available data.

Data of the third group can be used for estimation averaged (by raion of residence, age groups, etc.) characteristics.

The diagram in Fig. 4 presents the distribution of records of DB of WBC by the groups of quality.

Рисунок 4. Розподіл записів БД ЛВЛ за групами якості

Figure 4. Distribution of records of DB of WBC by the groups of quality

Основні співвідношення для розрахунку ревізованих доз внутрішнього опромінення

База даних ЛВЛ-вимірювань містить поля, де зберігаються величини доз внутрішнього опромінення (індивідуальні річні дози від ^{137}Cs та ^{134}Cs та сумарна доза D_{Σ}^{DB}). Ці дози розраховувались з використанням дозових коефіцієнтів на одиницю вмісту активності радіонуклідів цезію, але ця методика наразі застаріла. Тому було розраховано ревізовані дози, які використовують референтні значення параметрів метаболізму та антропометричні параметри людини, рекомендовані у публікаціях МКРЗ [15–16]. Річна сумарна доза внутрішнього опромінення D_{Σ}^{ICRP} (мЗв·рік⁻¹) від ^{137}Cs та ^{134}Cs , розраховується за результатами ЛВЛ-вимірювань вмісту зазначених радіонуклідів – $Q_{\text{Cs}7}$ та $Q_{\text{Cs}4}$ (Бк) у припущенні рівноважного вмісту радіоцезію впродовж року:

Main relations for evaluation of revised internal exposure doses

Database of WBC measurements contains the fields where it is saved the values of internal exposure doses (individual annual doses from ^{137}Cs and ^{134}Cs and total dose D_{Σ}^{DB}). These doses were evaluated using the dose coefficients per unit of content of cesium radionuclides, but now that methodology went out of date. That is why it was evaluated the revised doses that used reference values of metabolism parameters and anthropometric human parameters recommended in publications of ICRP [15–16]. Annual total internal exposure dose D_{Σ}^{ICRP} (mSv · year⁻¹) from ^{137}Cs and ^{134}Cs is evaluated by results of WBC measurements of content of above-mentioned radio-nuclides, $Q_{\text{Cs}7}$ and $Q_{\text{Cs}4}$ (Bq) under the assumption about uniform content of radio-cesium during a year:

$$D_{\Sigma}^{ICRP} = Q_{\text{Cs}7} + Q_{\text{Cs}4} \tag{2}$$

$$D_{\text{Cs}7}^{ICRP} = Q_{\text{Cs}7} \cdot e_{\text{Cs}7}^{age} \cdot (\lambda_{\text{Cs}}^{age} + \lambda_{r,\text{Cs}7}) \cdot \frac{M_{ICRP}^{age}}{M_{DB}^{age}} \tag{3}$$

$$D_{\text{Cs}4}^{ICRP} = Q_{\text{Cs}4} \cdot e_{\text{Cs}4}^{age} \cdot (\lambda_{\text{Cs}}^{age} + \lambda_{r,\text{Cs}4}) \cdot \frac{M_{ICRP}^{age}}{M_{DB}^{age}} \tag{4}$$

де $e_{\text{Cs}7}^{age}$ та $e_{\text{Cs}4}^{age}$ – доза внутрішнього опромінення на одиницю надходження для вікової групи age від ^{137}Cs та ^{134}Cs , відповідно, Зв на 1 Бк надходження [16];

where $e_{\text{Cs}7}^{age}$ and $e_{\text{Cs}4}^{age}$ is internal exposure dose per unit of intake for the age group age from ^{137}Cs and ^{134}Cs , respectively, Sv per 1 Bq of intake [16];

λ_{Cs}^{age} – константа біологічного напіввиведення цезію з організму людини, доба⁻¹ (табл. 9); $\lambda_{r,Cs7} = 6,30E-05$ та $\lambda_{r,Cs4} = 9,20E-05$ – константи радіоактивного розпаду ¹³⁷Cs та ¹³⁴Cs, відповідно, доба⁻¹. M_{ICRP}^{age} – референтна маса тіла людини віку *age*, рекомендована МКРЗ, кг (табл. 9); M_{DB}^{age} – маса тіла особи з бази даних ЛВЛ-вимірювань, кг.

λ_{Cs}^{age} is the constant of biological half-life of cesium excretion from the body, day⁻¹ (see Table 9); $\lambda_{r,Cs7} = 6,30E-05$ and $\lambda_{r,Cs4} = 9,20E-05$ are constants of radioactive decay of ¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs, respectively, year⁻¹; M_{ICRP}^{age} is reference weight of a person from the age group *age*, which is recommended by ICRP, kg (see Table 9); M_{DB}^{age} is the weight of a person from database of WBC measurements, kg.

Таблиця 9

Вік-залежні параметри метаболізму цезію в організмі людини, рекомендовані МКРЗ

Table 9

Age-dependent parameters of cesium metabolism in human body recommended by ICRP

Віковий інтервал, роки Age, years	Константа біологічного напіввиведення цезію з організму Constant of biological half-life of cesium excretion from the body λ_{Cs}^{age} доба ⁻¹ / day ⁻¹	Маса тіла, кг Weight, kg M_{ICRP}^{age} [15]		Дозовий коефіцієнт на одиницю надходження, нЗв/Бк [16] Ingestion Dose Coefficients nSv/Bq [16] for/для ¹³⁷ Cs, for/для ¹³⁴ Cs, e_{Cs7}^{age} e_{Cs4}^{age}	
		чоловіки males	жінки females		
0	0,043	6,0	5,6	21	26
1–2	0,053	10	10	12	16
3–7	0,023	19	19	9,6	13
8–12	0,014	32	32	10	14
13–17	0,0075	56	53	13	19
18+	0,0063	73	60	13	19

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

З використанням моделі (2)–(4) за даними ЛВЛ-вимірювань було розраховано ревізовані дози внутрішнього опромінення. Дози розраховувались для кожного ЛВЛ-вимірювання, інформація про яке після проведення ревізії задовольняла наступним умовам:

- > НП проживання особи, район чи область знаходяться на території України;
- > значення у полі ACT_CS_137 (величина вмісту інкорпорованого ¹³⁷Cs) більше нуля;
- > встановлено вік особи, у якої проводилися вимірювання;
- > особа народилась до, або у рік проведення вимірювання;
- > маса тіла особи відповідає її віку.

Таким критеріям задовольняють всі записи, які віднесені до 1-ї та 2-ї груп якості, а також окремі записи 3-ї групи якості. Розрахована за моделлю (2)–(4) внутрішня сумарна від радіоізоотопів ¹³⁷Cs та ¹³⁴Cs доза (D_{Σ}^{ICRP}) записувалась у новостворене поле DSM_MSV_RV. Було проведене порівняння дози, яка знаходиться у базі даних (D_{Σ}^{DB}) та розрахованої у процесі ревізії (D_{Σ}^{ICRP}). Для кожного запису розраховувалось відношення $D_{\Sigma}^{DB} / D_{\Sigma}^{ICRP}$, яке усереднювалось за територією тієї чи іншої області, часовим інтервалом і віком особи (табл. 10).

RESULTS AND DISCUSSION

Using the model (2)–(4), by the data of WBC measurements it was evaluated the revised internal exposure doses. The doses were evaluated for each WBC measurements, information about which after conducting the revision satisfied the following conditions:

- > settlement of residence of a person, raion or Oblast are located at the territory of Ukraine,
- > the value in the field ACT_CS_137 (the value of content of incorporated ¹³⁷Cs) is greater than zero,
- > it is determined the age of a measured person,
- > a person was born either before or in the year of conducting a measurement,
- > the weight of a person corresponds to his/her age.

All the records assigned to the 1st and 2nd groups of quality, and also separate records of the 3rd group of quality, satisfy such criteria. Evaluated by the model (2)–(4) total internal doses from isotopes ¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs (D_{Σ}^{ICRP}) were written to the newly created field DSM_MSV_RV. It was made a comparison of the dose from the database (D_{Σ}^{DB}) and the one evaluated as a result of revision (D_{Σ}^{ICRP}). For each record, the ratio $D_{\Sigma}^{DB} / D_{\Sigma}^{ICRP}$ was computed, which was averaged by the territory of this or that Oblast, time interval and the age of a person (see Table 10).

Таблиця 10

Усереднені за часовими інтервалами відношення значень індивідуальної дози, що міститься у базі даних ЛВЛ-вимірювань (D_{Σ}^{DB}) до розрахованої дози (D_{Σ}^{ICRP}) в окремих областях України

Table 10

Averaged by time intervals, ratio of individual dose contained in the database of WBC measurements (D_{Σ}^{DB}) to evaluated dose (D_{Σ}^{ICRP}) in separate Oblasts of Ukraine

Часовий період, роки Time interval, years	Діти (< 18 років) / children (< 18 years)			Дорослі (≥ 18 років) / adults (≥ 18 years)		
	Кількість ЛВЛ-вимірювань Number of WBC measurements	$\frac{D_{\Sigma}^{DB}}{D_{\Sigma}^{ICRP}}$		Кількість ЛВЛ-вимірювань Number of WBC	$\frac{D_{\Sigma}^{DB}}{D_{\Sigma}^{ICRP}}$	
		середнє/mean	STD		середнє/mean	STD
Житомирська обл. / Zhytomyr Oblast						
1987–1990	63 550	0,81	0,9	106 299	0,90	0,9
1991–1994	4 087	1,41	0,64	9 870	1,24	0,42
1995–2014	112 474	1,37	0,33	215 120	1,14	0,07
Київська обл. / Kyiv Oblast						
1987–1990	10 328	1,09	0,87	16 176	1,07	0,93
1991–1994	12 209	1,64	0,75	13 885	1,39	0,47
1995–2014	122 559	1,37	0,49	133 643	1,12	0,09
Рівненська обл. / Rivne Oblast						
1987–1990	22 750	0,78	0,59	19 116	0,89	0,63
1991–1994	2 808	1,65	0,53	1 751	1,32	0,59
1995–2014	148 993	1,34	0,32	100 120	1,13	0,05
Чернігівська обл. / Chernihiv Oblast						
1987–1990	2 524	0,68	0,69	3 560	1,60	1,9
1991–1994	6	1,45	0,18	77	1,54	0,32
1995–2014	21 005	1,35	0,33	42 940	1,13	0,08
Інші обл. / Others Oblast						
1987–1990	2 460	2,22	2,41	5 612	0,75	1,42
1991–1994	8 855	1,83	0,88	5 612	2,38	1,72
1995–2014	69 607	1,35	0,32	108 707	1,13	0,05
Всі області України / All Oblast of Ukraine						
1987–1990	101 612	0,86	0,94	150 645	0,93	1,1
1991–1994	27 965	1,67	0,82	31 195	1,52	1,04
1995–2014	474 638	1,35	0,37	600 530	1,12	0,08

У перші чотири роки (1987–1990 рр.) після аварії на ЧАЕС у Житомирській і Рівненській областях та в цілому по Україні індивідуальна доза внутрішнього опромінення, що міститься у БД ЛВЛ, в середньому є на 7–22 % нижчою ревізованої дози як для дітей та підлітків молодших 18 років, так і для дорослих. У Київській області, навпаки, ревізована доза є меншою на 7–8 % від дози, що міститься у БД ЛВЛ. У Чернігівській області у зазначений період для осіб молодших 18 років ревізована доза є в середньому на 32 % більшою від дози БД ЛВЛ, а для дорослих – на 60 % меншою. Для дітей та підлітків інших областей доза БД ЛВЛ в середньому майже у 2 рази більша ревізованої.

У подальші періоди у всіх областях України доза БД ЛВЛ перевищувала ревізовану на 12–55 % для дорослих та на 45–85 % для дітей та підлітків молодших 18 років. При цьому в 1991–1994 рр. ця різниця була

In first four years (1987–1990) after the accident at CNPP, in Zhytomyr and Rivne Oblasts and in the whole in Ukraine individual internal exposure dose, that is contained in DB of WBC, in average is 7–22 % lower than the revised dose, for children and adolescents younger than 18, as well as for adults. Contrarily, in Kyiv Oblast the revised dose is 7–8 % smaller than the dose contained in DB of WBC. In Chernihiv Oblast, during the above-mentioned period for persons younger than 18 the revised dose is in average 32 % larger than the dose of DB of WBC, and for adults it is 60 % smaller. For children and adolescents of other Oblasts, the dose of DB of WBC is in average almost 2 times larger than the revised one.

In subsequent periods in all the Oblasts of Ukraine the dose of DB of WBC exceeded the revised one at 12–55 % for adults and at 45–85 % for children and adolescents younger than 18.

найбільшою, а в подальшому (1995–2014 рр.) вона зменшилась.

У табл. 11 представлено усереднені за часовими інтервалами ревізовані дози внутрішнього опромінення, розраховані за даними ЛВЛ-вимірювань для осіб молодших 18 років та дорослих.

At that in 1991–1994 this difference was the largest, and then in 1995–2014 it decreased.

Table 11 presents averaged by time intervals revised internal exposure doses that are calculated by the data of WBC measurements for persons younger than 18 and for adults.

Таблиця 11

Усереднені за часовими інтервалами та віком осіб ревізовані дози внутрішнього опромінення D_{Σ}^{ICRP} , розраховані із застосуванням коефіцієнтів МКРЗ [16]

Table 11

Averaged by time intervals and persons' age revised internal exposure doses D_{Σ}^{ICRP} evaluated using coefficients of ICRP [16]

Часовий період, роки Time interval, years	Доза, мЗв/рік / dose, mSv/year			
	Діти (< 18 років) / children (< 18 years)		Дорослі (≥ 18 років) / adults (≥ 18 years)	
	середня / mean	STD	середня / mean	STD
Житомирська обл. / Zhytomyr Oblast				
1986 ¹	2,86	6,1	3,70	6,3
1987–1990	0,42	0,87	0,47	1,08
1991–1994	0,19	0,34	0,25	0,44
1995–2014	0,09	0,29	0,14	0,27
Київська обл. / Kyiv Oblast				
1986 ¹	0,73	1,9	0,76	1,9
1987–1990	0,22	0,39	0,38	0,96
1991–1994	0,04	0,08	0,11	0,33
1995–2014	0,07	0,17	0,76	0,26
Рівненська обл. / Rivne Oblast				
1986 ¹	2,08	3,2	0,96	1,08
1987–1990	1,18	2,04	0,90	1,55
1991–1994	1,12	1,14	1,11	1,32
1995–2014	0,14	0,24	0,22	0,33
Чернігівська обл. / Chernihiv Oblast				
1986 ¹	1,11	1,9	0,46	0,87
1987–1990	0,45	1,6	0,50	0,89
1991–1994	0,02	0,009	0,04	0,07
1995–2014	0,04	0,04	0,05	0,11
Інші обл. / Others Oblast				
1986 ¹	0,80	1,52	0,29	0,41
1987–1990	0,12	0,34	0,17	0,68
1991–1994	0,04	0,06	0,04	0,08
1995–2014	0,06	0,06	0,08	0,09

Примітка. ¹Величина дози потребує подальшого уточнення.
Note. ¹Dose should be improved.

За результатами ЛВЛ-вимірювань у 1986 р. найбільші дози внутрішнього опромінення отримали мешканці Житомирської області. Дози 1986 р. у осіб, які мешкали на території інших областей України, в середньому не перевищували 1 мЗв.

У наступні роки після 1986 р. доза внутрішнього опромінення значно (у 2–7 разів) зменшилась. У період 1995–2014 рр. усереднена доза практично не перевищувала 0,1 мЗв для всіх вікових груп населення радіоактивно забруднених областей України. На рис. 5 представлено динаміка доз внутрішнього опромінення за даними

By results of WBC measurements in 1986, the largest internal exposure doses were obtained by residents of Zhytomyr Oblast. The doses of 1986 for persons residing at the territory of other Oblasts of Ukraine in average did not exceed 1 mSv.

In subsequent years after 1986, internal exposure dose significantly (in 2–7 times) decreased. In the period of 1995–2014 the average dose practically did not exceed 0.1 mSv for all the age groups of population of radioactively contaminated Oblasts of Ukraine. Figure 5 presents the dynamics of internal

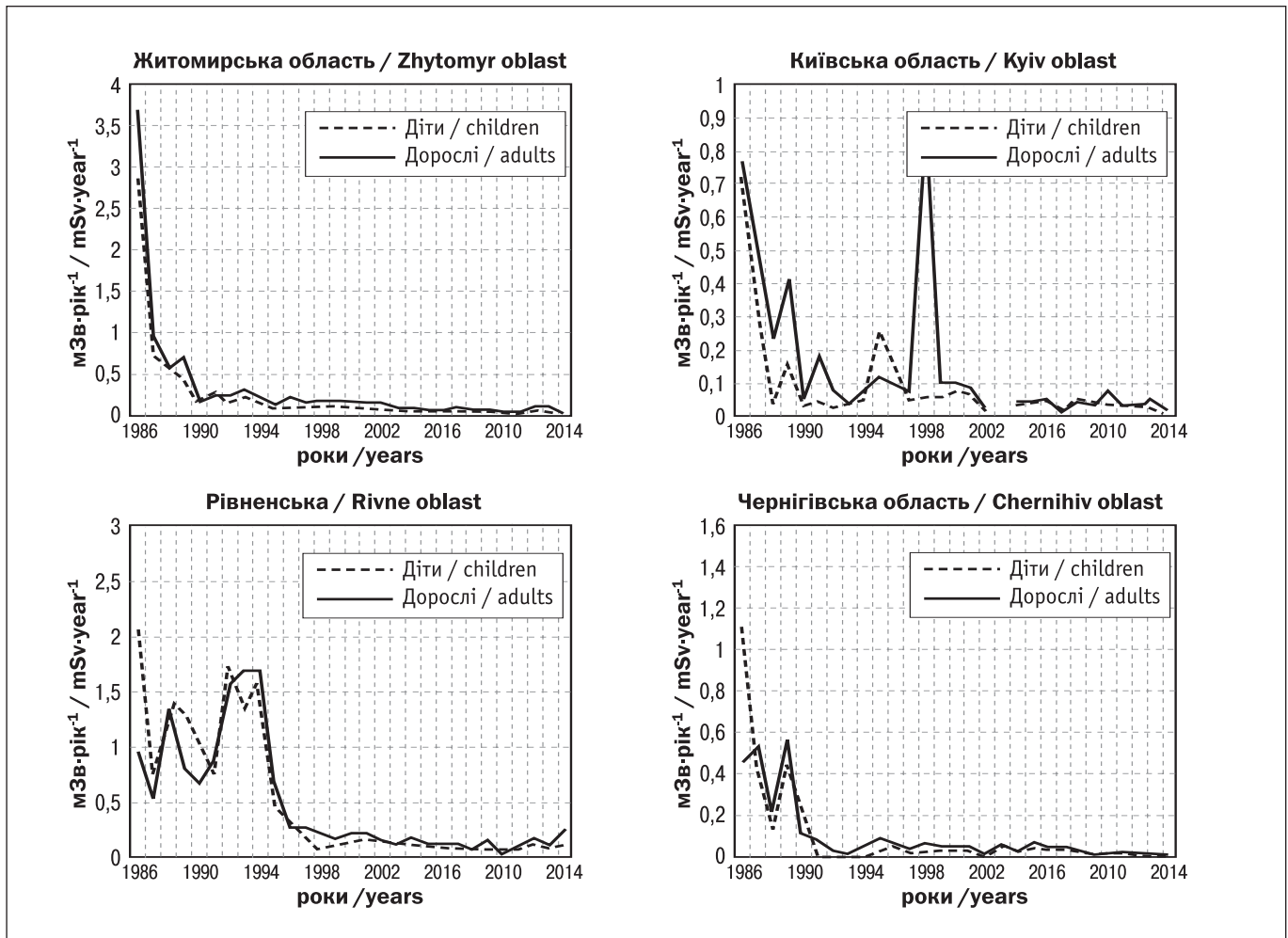


Рисунок 5. Часова динаміка усереднених ревізованих доз внутрішнього опромінення, розрахованої за результатами ЛВЛ-вимірювань, які зберігаються у базі даних ННЦРМ

Figure 5. Time dynamics of average revised internal exposure doses evaluated by results of WBC measurements that are saved in the database of NRCRM

ЛВЛ-вимірювань для мешканців Житомирської, Київської, Рівненської і Чернігівської областей.

Пікові підвищення величини дози внутрішнього опромінення практично до величини 1986 р., які спостерігаються в окремих областях, на нашу думку, пов'язані з припиненням застосування контрзаходів і самообмежень мешканців радіоактивно забруднених територій при вживанні продуктів харчування місцевого виробництва, лісових ягід та грибів.

ВИСНОВКИ

У роботі було проведено ревізію БД ЛВЛ, а саме:

- дані, які зберігаються на паперових носіях було перенесено в електронну форму;
- виконано перевірку коректності, відповідності та, по можливості, відновлення відсутніх полів БД;
- на основі сучасних наукових даних удосконалено модель дози внутрішнього опромінення, яка оцінюється за результатами ЛВЛ-вимірювань.

exposure doses by WBC measurements for residents of Zhytomyr, Kyiv, Rivne and Chernihiv Oblasts.

Peak increasing of the value of internal exposure dose practically to the value of 1986 year, which are observed in separate Oblasts, in our opinion are related to stopping of usage countermeasures and self-restrictions of residents of radioactively contaminated territories in consuming of meal of local production, wild berries and mushrooms.

CONCLUSIONS

A revision of DB of WBC was made, namely:

- data saved in paper format were transferred into electronic form,
- it was checked the correctness, correspondence and, if possible, missing fields of DB were renewed,
- based on modern scientific data, the model for internal exposure dose, which is estimated by results of WBC measurements, was improved.

Ревізовані дози реконструйовано для 1 386 585 записів БД ЛВЛ-вимірювань, інформація у яких задовольняє спеціально розробленим критеріям оцінки якості результатів ЛВЛ-вимірювань. Серед них 604 215 записів відповідають ЛВЛ-вимірюванням, проведеним серед дітей та підлітків молодших 18 років, а 782 370 записів стосуються дорослих мешканців України, більшість з яких проживає у Житомирській, Київській, Рівненській та Чернігівській областях.

Отримані результати є важливими для подальших робіт з удосконалення моделей розрахунку паспортних [1] доз та індивідуалізованих доз опромінення суб'єктів, зареєстрованих у Державному реєстрі України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи [17–19]. Дозові оцінки можуть бути використані для епідеміологічних, клінічних та інших досліджень.

Вдячність

Робота виконана за фінансової підтримки Національної академії медичних наук України, державний реєстраційний № НДР 0116U002475.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основні принципи та досвід проведення комплексної дозиметричної паспортизації населених пунктів України / І. А. Ліхтарьов, Л. М. Ковган, С. В. Масюк, О. М. Іванова, М. І. Чепурний, З. Н. Бойко, В. Б. Герасименко. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2015. Вип. 20. С. 75–103.
2. Дози опромінення / І. А. Ліхтарьов, Л. М. Ковган, В. В. Чумак, В. В. Василенко, М. Я. Циганков та ін. *Медичні наслідки Чорнобильської катастрофи: 1986-2011 : монографія / за ред. А. М. Сердюка, В. Г. Бебешка, Д. А. Базики*. Тернопіль : ТДМУ, 2011. С. 35–64.
3. Радіологічні та медичні наслідки Чорнобильської катастрофи. Дози опромінення населення / І. А. Ліхтарьов, Л. М. Ковган, В. В. Чумак, В. В. Василенко, М. Я. Циганков та ін. *25 років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього*. К. : КІМ, 2011. С. 116–125.
4. Перевозников О. Н., Ключников А. А., Канченко В. А. Индивидуальная дозиметрия при радиационных авариях. Чернобыль : Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2007. 199 с.
5. Педиатрия: ученик для медицинских ВУЗов / под ред. Н. П. Шабалова. Спб. : СпецЛит, 2003. 893 с. ISBN 5-299-00261-0.
6. Польша Н. С., Платонова А. Г. Физическое развитие школьников Украины. Пространственно-временные и морфофункциональные особенности. Киев : Генеза, 2015. 272 с. ISBN 978-966-11-0554-5.
7. Госкомстат взвесил украинцев: вес мужчин и женщин существенно отличается от нормы. URL: <http://www.aif.ua/health/life/991966>. (дата обращения 15.09.2018)
8. Anthropometric reference data for children and adults: United States, 2003-2006 / Margaret A. McDowell, Cheryl D. Fryar, Cynthia L. Ogden,

The revised doses have been reconstructed for 1,386,585 records of DB of WBC measurements, information about which satisfies especially elaborated criteria for estimation of quality of WBC measurements. Among them 604,215 records correspond to WBC measurements conducted for children and adolescents younger than 18, and 782 370 records relate to adult residents of Ukraine, most of who resides in Zhytomyr, Kyiv, Rivne and Chernihiv Oblasts.

Obtained results are important for subsequent works on improving the models for evaluation of passport doses [1] and individualized exposure doses of subjects registered in Ukrainian State Register – of persons that affected due to Chernobyl accident [17–19]. The dose estimates can be used for epidemiological, clinical and other investigations.

Acknowledgement

The work was implemented with the financial support of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine. State registration # 0116U002475.

REFERENCES

1. Likhtarov IA, Kovgan LM, Masiuk SV, Ivanova OM, Chepurny MI, Boyko ZN, Gerasymenko VB. Basic principles and practices of integrated dosimetric passportization of the settlements in Ukraine. *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2015;20:75-103.
2. Likhtarov IA, Kovgan LM, Chumak WV, Vasylenko W, NechaevSYu. Doses of exposure. In: Serdiuk A, Bebesheko V, Basyka D, Yamashita S, editors. *Health effects of the Chernobyl accident*. Kyiv: DIA; 2011.p. 21-50.
3. Likhtarov IA, Kovgan LM, Masiuk SV, Chepurny MI, Vasylenko W. Population irradiation doses. In: *Twenty-five years after Chernobyl accident.: Safety for the future*. National Report of Ukraine. Kyiv: KIM; 2011. p. 102-9.
4. Perevoznikov ON, Kliuchnikov AA, Kanchenko VA. [Individual dosimetry at radiation accidents]. *Chernobyl: Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2007. 199 p. Russian.
5. Shabalova NP, editor. [Pediatrics]: a textbook for medical high schools. St. Petersburg: Spetslit; 2003. 893 p. ISBN 5-299-00261-0. Russian.
6. Polka NS, Platonova AG. [Physical development of schoolchildren in Ukraine. Spatio-temporal and morphofunctional features]. Kyiv: Geneza; 2015. 272p. ISBN 978-966-11-0554-5. Russian.
7. [The State Statistics Committee has weighed the Ukrainians: the weight of men and women differs significantly from the norm]. [Internet]. Available at: <http://www.aif.ua/health/life/991966> (last accessed 15.09.2018). Russian.

- Katherine M. Flegal. National Health Statistics Reports. 2008. No 10. P. 1–48.
9. Нормы роста детей: данные ВОЗ. URL: http://www.who.int/child-growth/standards/weight_for_age/ru/ (last accessed 15.09.2018).
10. Шамсиев С. Ш., Шабалов Н. П., Эрман Л. В. Руководство для участкового педиатра. Томск : Медицина, 1989. 587 с. ISBN 5-638-00087-9.
11. Мазурин, А. В., Воронцов И. М. Пропедевтика детских болезней. М. : Медицина, 1985. 432 с.
12. Педиатрия / под ред. Дж. Грефа. М. : Практика, 1997. 912 с. ISBN 5-89816-007-8.
13. Тонкова-Ямпольская Р. В., Черток Т. Я. Ради здоровья детей: пособие для воспитателя детского сада. М. : Просвещение, 1985. 128 с.
14. Таблицы роста и веса девочек и мальчиков от 2 лет до 20 лет. URL: <http://www.tomall.ru/paper.php?cod=22> (дата обращения 15.09.2018).
15. ICRP Publication 89. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values. *Annals of the ICRP*. 2002. Vol. 32, no. 3–4. 182 p.
16. ICRP Publication 119. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. *Annals of the ICRP*. 2012. Vol. 41. 212 p.
17. Реконструкція індивідуалізованих доз внутрішнього облучення суб'єктів Государственного регистра України: Сообщение 1. Локально-специфические модели и дозы облучения жителей Рокитновского района Ровенской области, Овручского района Житомирской области и Иванковского района Киевской области / И. А. Лихтарев, Л. Н. Ковган, С. В. Масюк та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2014. Вип. 19. С. 80–101.
18. Реконструкція індивідуалізованих доз внутрішнього облучення суб'єктів Государственного регистра України: Сообщение 2. Локально-специфические модели и дозы облучения жителей Козелецкого и Репкинских районов Черниговской области / И. А. Лихтарев, Л. Н. Ковган, С. В. Масюк та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2014. Вип. 19. С. 102–125.
19. Реконструкція індивідуалізованих доз суб'єктів Державного реєстру України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи, що проживають в Коростенському районі Житомирської області / О. М. Іванова, С. В. Масюк, З. Н. Бойко та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2017. Вип. 22. С. 126–146.
8. McDowell MA, Fryar CD, Ogden CL, Flegal KM. Anthropometric reference data for children and adults: United States, 2003-2006. National Health Statistics Reports. 2008;10:1-48.
9. Child growth standards: WHO data. [Internet]. Available at: http://www.who.int/childgrowth/standards/weight_for_age/en/ (last accessed 15.09.2018).
10. Shamiev SSH, Shabalov NP, Erman LV. [Guide for the district pediatrician]. Tomsk: Meditsina; 1989. 587 p. ISBN 5-638-00087-9. Russian.
11. Mazurin AV, Vorontsov IM. [Propedeutics of childhood diseases]. Moscow: Meditsina; 1985. 432 p. Russian.
12. Gref J, editor. [Pediatrics]. Moscow: Praktika; 1997. 912 p. ISBN 5-89816-007-8. Russian.
13. Tonkova-Yampolska RV, Chertok TYa. [For the sake of children's health]: a guide for a kindergarten teacher. Moscow: Prosveschenie; 1985. 128 p. Russian.
14. [Tables of height and weight of girls and boys from 2 years to 20 years]. [Internet]. Available at: <http://www.tomall.ru/paper.php?cod=22> (last accessed 15.09.2018). Russian.
15. ICRP Publication 89. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values. *Ann. ICRP*. 2002;32(3/4).182 p.
16. ICRP Publication 119. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. *Ann ICRP*. 2012;41.212 p.
17. Likhtarov IA, Kovgan LN, Masiuk SV, Ivanova ON, Chepurny MI, Boyko ZN, Gerasymenko VB, Tereshchenko SA, Kravchenko IG, Kortushin GI, Marcenjuk OD. Individualized internal exposure doses reconstruction for the persons of Ukraine State Register: Report 1. Locally, specific models and doses of persons living in Rokytny raion of Rivne oblast, Ovruch raion of Zhytomyr oblast and Ivankiv raion of Kyiv oblast. *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2014;19:80-101.
18. Likhtarov IA, Kovgan LN, Masiuk SV, Ivanova ON, Chepurny MI, Boyko ZN, Gerasymenko VB, Tereshchenko SA, Kravchenko IG, Kortushin GI, Marcenjuk OD. 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. *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2014;19:102-25.
19. Ivanova OM, Masiuk SV, Boiko ZN, Chepurny MI, Gerasymenko VB, Fedosenko GV, Vasylenko WV, Lytvynets LO, Pikta VO, Kovgan LM, Zhadan NS, Tereshchenko SO, Kravchenko IG, Kortushin GI, Marcenjuk OD, Kukush AG. Reconstruction of individualized doses of subjects from the Ukrainian State Register of Persons that Affected due to Chornobyl accident and reside in Korosten raion of Zhytomyr oblast. *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2017;22:126-46.

Стаття надійшла до редакції 17.09.2018

Received: 17.09.2018