

УДК: 614.876:613.648

Д. А. Бази́ка, В. О. Сушко, О. М. Іванова, В. В. Васи́ленко, А. Б. Білоник, Г. В. Федосенко, В. Б. Будерацька, З. Н. Бойко, М. І. Чепурний, М. С. Куря́та, В. В. Морозов, С. Г. Горбачов, С. В. Масюк✉

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

ЩОДО МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПАСПОРТНИХ ДОЗ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ УКРАЇНИ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ В РЕЗУЛЬТАТІ АВАРІЇ НА ЧАЕС

Мета дослідження: наукове обґрунтування нової методики оцінки паспортних доз населених пунктів зон безумовного (обов'язкового) відселення та гарантованого добровільного відселення для проведення дозиметричної паспортизації згідно із законодавством України.

Матеріали та методи дослідження. Через 37 років після аварії радіоактивне забруднення довкілля суттєво знизилось. Проте на окремих постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС територіях України все ще необхідно проводити еколого-дозиметричний моніторинг і застосовувати контрзаходи: обмежити споживання молока місцевого виробництва, продуктів лісу тощо. Методика, яка використовувалась для оцінки паспортних доз населених пунктів (НП) починаючи з 1996 р., вже не відповідає сучасному рівню наукових знань щодо радіоактивного забруднення довкілля. Представлена в роботі нова методика розрахунку паспортних доз передбачає використання моделі, параметри якої визначаються видами, якістю та повнотою радіоекологічного і дозиметричного моніторингу, що проводилися на радіоактивно забруднених територіях у 1986–2013 рр. Паспортна доза оцінюється з урахуванням специфіки радіоактивного забруднення об'єктів довкілля кожного окремого НП. Паспортна доза зовнішнього гамма-опромінення розраховується тільки від радіонуклідів ^{137}Cs , оскільки внесок інших радіонуклідів чорнобильського викиду впливав на величину дози мешканців радіоактивно забруднених територій тільки у перші роки після аварії. Паспортна доза внутрішнього опромінення, сформована внаслідок споживання продуктів харчування, забруднених ^{137}Cs , розраховується залежно від наявності у поточному році результатів вимірювань за допомогою лічильника випромінювання людини (ЛВЛ) активності інкорпорованого у тілі людини радіонукліда ^{137}Cs та об'ємної питомої активності ^{137}Cs у молоці приватних господарств НП. При цьому пріоритет надається саме результатам вимірювань радіоактивності ^{137}Cs на ЛВЛ.

Результати та висновки. Обґрунтовано нову методику (Методика-2023) розрахунку паспортних доз населених пунктів України, яка відповідає Закону України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання». Виконано порівняння паспортних доз, розрахованих за результатами радіоекологічного та дозиметричного моніторингу 2011 р. за Методикою-2023, та паспортних доз, розрахованих за Методикою-96. Паспортні дози розраховані за Методикою-2023, в середньому збільшилися на 40 % порівняно з дозами, розрахованими за Методикою-96. При цьому паспортні дози внутрішнього опромінення розраховані за новою методикою збільшилися у півтора раза, а дози зовнішнього опромінення – у 1,7 раза. Паспортна доза 2011 р., розрахована за Методикою-2023, перевищує встановлену законом норму 1 мЗв у 71 населеному пункті, більшість з яких розташована у Коростенському районі Житомирської області.

Ключові слова: внутрішнє опромінення, зовнішнє опромінення, лічильник випромінювання людини, паспортна доза, радіоактивно забруднені території, Чорнобильська катастрофа.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2023. Вип. 28. С. 110–142. doi: 10.33145/2304-8336-2023-28-110-142

✉ Масюк Сергій Володимирович, e-mail: masja1979@gmail.com

D. A. Bazyka, V. O. Sushko, O. M. Ivanova, V. V. Vasylenko, A. B. Bilonyk, G. V. Fedosenko, V. B. Buderatska, Z. N. Boiko, M. I. Chepurny, M. S. Kuriata, V. V. Morozov, S. G. Gorbachov, S. V. Masiuk✉

State Institution «National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», 53 Yurii Illienka Str., Kyiv, 04050, Ukraine

ON THE METHODOLOGY OF PASSPORT DOSES CALCULATION FOR UKRAINIAN SETTLEMENTS RADIOACTIVELY CONTAMINATED DUE TO THE CHORNOBYL NPP ACCIDENT

Objective: scientific substantiation of the new methodology for estimation of passport doses of the settlements which belong to Zone of Unconditional (obligatory) Resettlement, or 2nd zone and Zone of Granted Voluntary Resettlement, or 3rd zone in the framework of dosimetric passportization in accordance with the legislation of Ukraine.

Materials and methods. 37 years after the accident, radioactive contamination of the environment has significantly decreased. However, it is still necessary to carry out ecological and dosimetric monitoring and apply countermeasures in certain territories of Ukraine affected by the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant: restriction of the consumption of locally produced milk, forest products, etc. The methodology, which was since 1996 used to estimate the passport doses of Ukrainian settlements, no longer corresponds to the current level of scientific knowledge about radioactive contamination of environment. The new methods of passport doses calculating presented in the work involves the use of a model whose parameters are determined by the types, quality and completeness of radioecological and dosimetric monitoring carried out on the radioactively contaminated territories in 1986–2013. The methodology takes into account the specific of radioactive contamination of each settlement. The passport dose of external exposure is reconstructed only from ¹³⁷Cs radionuclide, because the contributions of other Chernobyl radionuclides influence the radiation dose only in the first years after the accident. The passport dose of internal exposure is formed as a result of the consumption of ¹³⁷Cs contaminated food products. It is calculated depending on the availability in the settlement in the current year of the results of measurements of the ¹³⁷Cs radionuclide activity incorporated in the human body using a whole body counter (WBC) and the activity of ¹³⁷Cs in the private milk. At the same time, priority is given precisely to the results of WBC measurements of ¹³⁷Cs.

Results and conclusions. A new methodology (Methodology-2023) for passport doses calculation of Ukrainian settlements was substantiated. A comparison of passport doses based on the results of radioecological and dosimetric monitoring in 2011 calculated by Methodology-2023 and passport doses calculated by Methodology-96 was made. Passport doses calculated by Methodology-2023 increased by 40 % on average compared to doses calculated by Methodology-96. At the same time, passport doses of internal radiation calculated by the new methodology increased by 1.5 times, and passport doses of external radiation increased by 1.7 times. The passport dose of 2011, calculated by Methodology-2023, exceeds the legally established limit of 1 mSv in 71 settlements, most of which are located in Korostenkyi raion of Zhytomyr Oblast.

Key words: internal radiation, external radiation, whole body counter, passport dose, radioactively contaminated territories, Chernobyl accident.

Problems of Radiation Medicine and Radiobiology. 2023;28:110-142. doi: 10.33145/2304-8336-2023-28-110-142

ВСТУП

Законом України «Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи» встановлено, що територія з рівнем радіоактивного забруднення, яке може призвести до доз опромінення населення понад 1 мЗв за рік, вважається радіоактивно забрудненою

INTRODUCTION

The Law of Ukraine «On legal status of the areas radioactively contaminated by the Chernobyl disaster» establishes that the territory with a level of radioactive contamination where radiation dose can exceed of 1 mSv per year is considered as radioactively contaminated due to the Chernobyl

✉ Sergii V. Masiuk, e-mail: masja1979@gmail.com

внаслідок Чорнобильської катастрофи і потребує вжиття заходів щодо захисту населення та обмеження додаткового опромінення [1]. Цим законом визначено: зону відчуження (ЗВ); зону безумовного (обов'язкового) відселення (ЗБ(О)В); зону гарантованого добровільного відселення (ЗГДВ). Закон також вимагає проведення регулярного контролю радіоактивного забруднення ґрунту та продуктів харчування, проведення радіоекологічного та інших видів моніторингу на радіоактивно забруднених територіях (РЗТ) з обов'язковим оприлюдненням один раз на три роки даних дозиметричних паспортизацій населених пунктів України із зазначенням очікуваних доз опромінення населення.

Реконструкція доз опромінення населення постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС територій розпочалась у 1991 р. в межах програми загальнодозиметричної паспортизації. У Постанові № 106, яка була прийнята 23.07.1991 Кабінетом міністрів колишньої УРСР [2], було затверджено перелік населених пунктів (НП), віднесених до зон радіоактивного забруднення (рис. 1). Серед них 76 НП було віднесено до зони відчуження (1 зона), 86 НП – до зони безумовного (обов'язкового) відселення (ЗБ(О)В, або 2-га зона) та 841 НП – до зони гарантованого добровільного відселення (ЗГДВ, або 3-тя зона).

У 1996 році з метою оцінки доз опромінення населення радіоактивно забруднених територій (РЗТ) у межах програми загальнодозиметричної паспортизації були розроблені інструктивно-методичні вказівки «Радіаційно-дозиметрична паспортизація населених пунктів території України, що зазнали радіоактивного забруднення в результаті аварії на ЧАЕС (Методика-96)» [3]. Методика-96 дозволяла оцінити середньорічні паспортні дози від таких шляхів опромінення:

- > зовнішнє гамма-опромінення від радіоактивних випадінь на ґрунті;
- > внутрішнє опромінення від радіонуклідів цезію (а також стронцію і трансуранових елементів), що надходять з раціоном;
- > індустріальне опромінення.

Розрахунок паспортної дози згідно з Методикою-96 базувався на результатах радіологічного моніторингу в конкретному НП:

- > щільності випадінь на ґрунті радіонуклідів чорнобильського аварійного викиду (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$) у 1986 р.;
- > концентрації ^{137}Cs та ^{90}Sr у молоці та картоплі місцевого виробництва у поточному році.

accident. It requires taking measures for protection population and limitation of additional exposure [1]. This law defines: Exclusion Zone (EZ), Zone of Unconditional (obligatory) Resettlement, or 2nd zone (ZU(O)R) and Zone of Granted Voluntary Resettlement, or 3rd zone (ZGVR). The law also requires regular monitoring of radioactive contamination of soil and food products, the implementation of radioecological and other types of monitoring on radioactively contaminated territories (RCT). The result of dosimetric passportization of Ukrainian settlements, including the annual expected effective doses, should be published once every three years.

The reconstruction of the radiation doses of the population affected by the accident at the Chornobyl Nuclear Power Plant began in 1991 within the framework of the integrated dosimetric passportization. In the Decree of the Cabinet Council of Ukraine # 106 dated by 23.07.1991 [2] were approved the list of settlements which were classified as radioactive contamination zones (Fig. 1). Among them, 76 settlements were classified as the Exclusion Zone, 86 settlements – as Zone of Unconditional (compulsory) Resettlement (2nd zone) and 841 settlements – as Zone of Guaranteed Voluntary Resettlement (3rd zone).

In 1996, with the aim of estimation radiation doses to the population of radioactively contaminated areas within the framework of the integrated dosimetric passportization, methodological instructions were developed «Radiation and dosimetric passportization of the settlements of Ukrainian territory which suffered from radioactive contamination as a consequence of the Chornobyl accident, including thyroid dosimetric passportization (Methodology-96)» [3]. Methodology-96 made it possible to calculate average annual passport doses from the following ways of exposure:

- > external gamma radiation from radioactive fallout on the ground;
- > internal irradiation from cesium radionuclides (as well as strontium and transuranium elements) supplied with the diet;
- > industrial radiation.

Calculation of the passport dose according to Methodology-96 was based on the results of radiological monitoring in certain settlement:

- > density of ground fallout of radionuclides from the Chornobyl emergency release (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$) in 1986;
- > radioactivity of ^{137}Cs and ^{90}Sr in locally produced milk and potatoes in the current year.

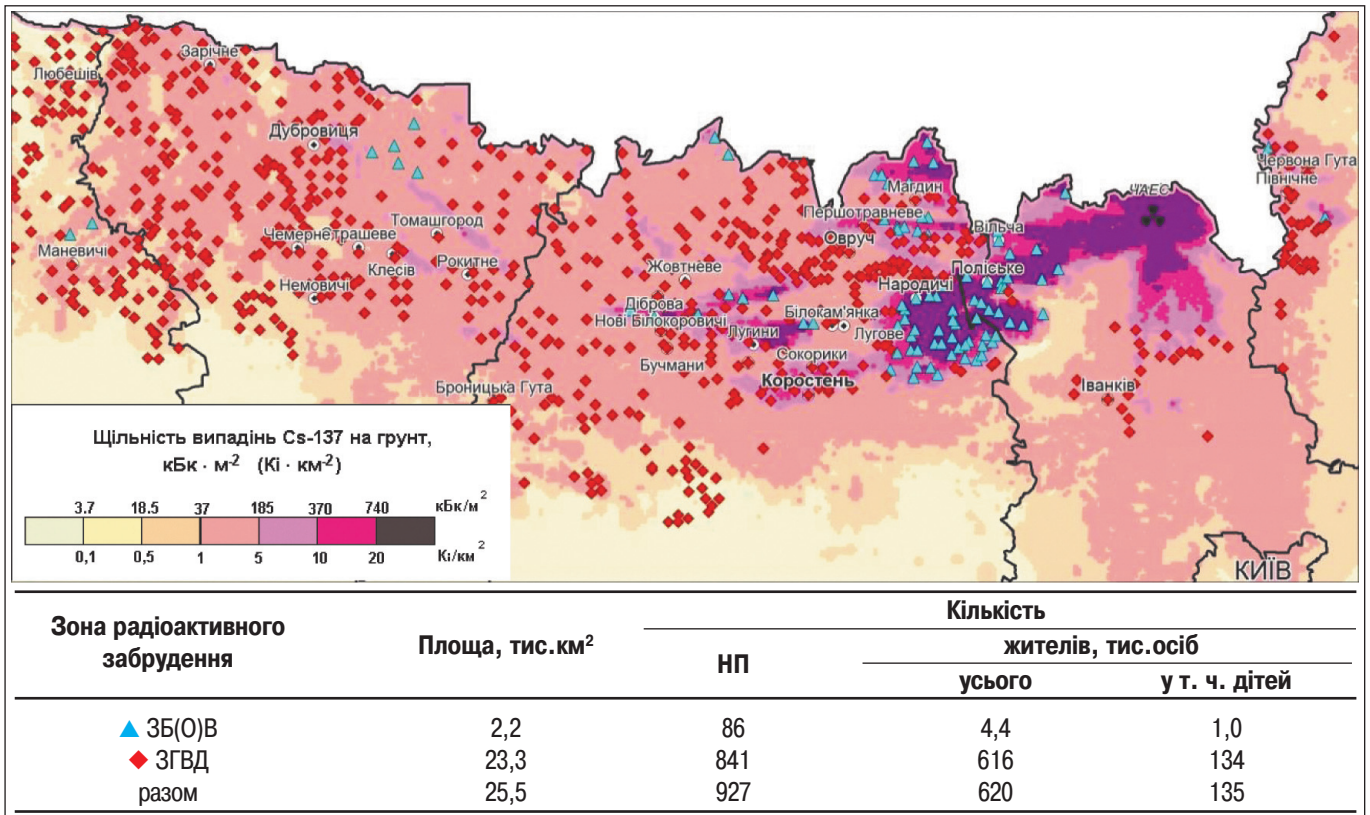


Рисунок 1. Населені пункти ЗБ(0)В та ЗГВД

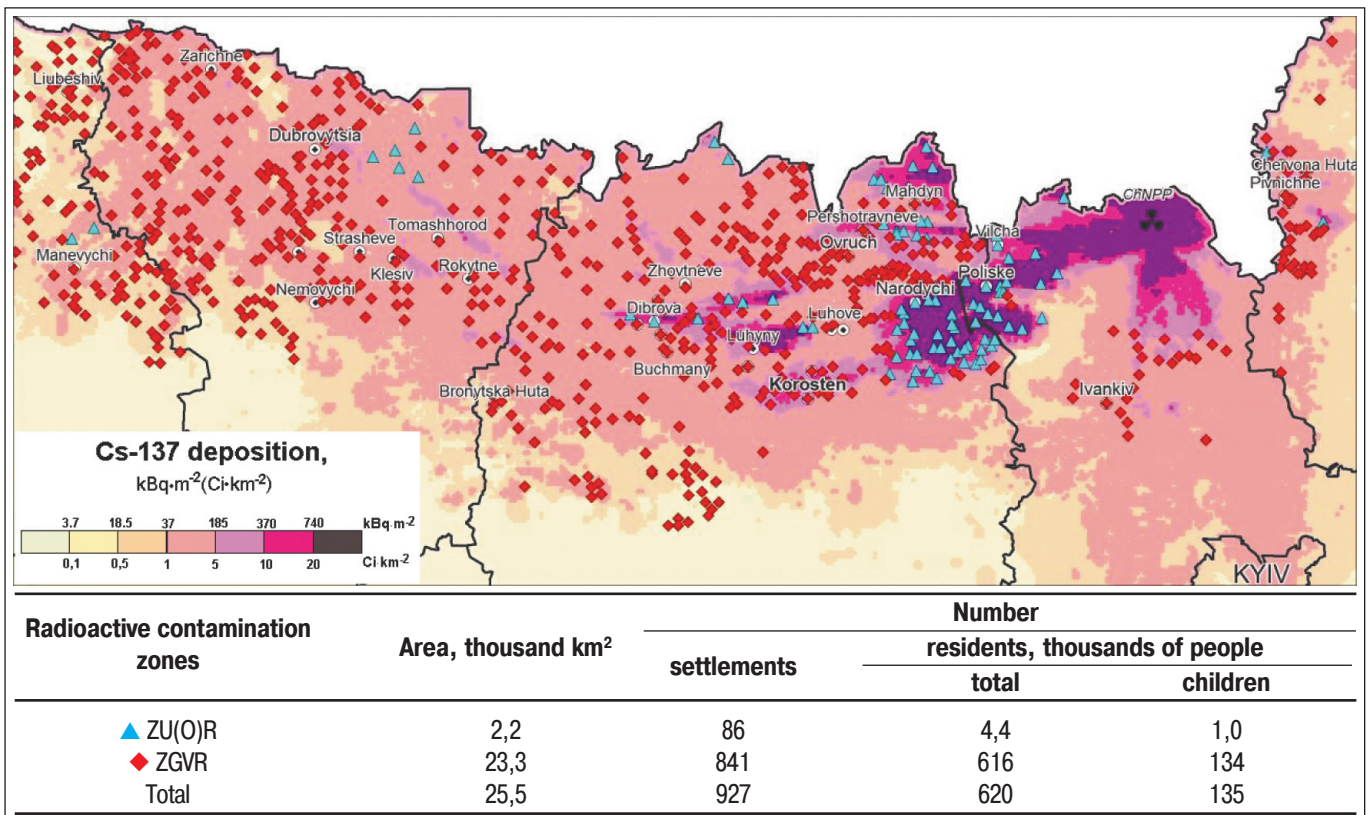


Figure 1. Settlements belonging to ZU(0)R and ZGVR

У 1991–1995 рр. паспортні дози розраховувались для близько 6 тис. НП [4]. З 1995 по 2008 рр. паспортні дози щорічно оцінювались приблизно для

In 1991–1995, passport doses were calculated for about 6,000 settlements [4]. From 1995 to 2008, passport doses were estimated annually for approx-

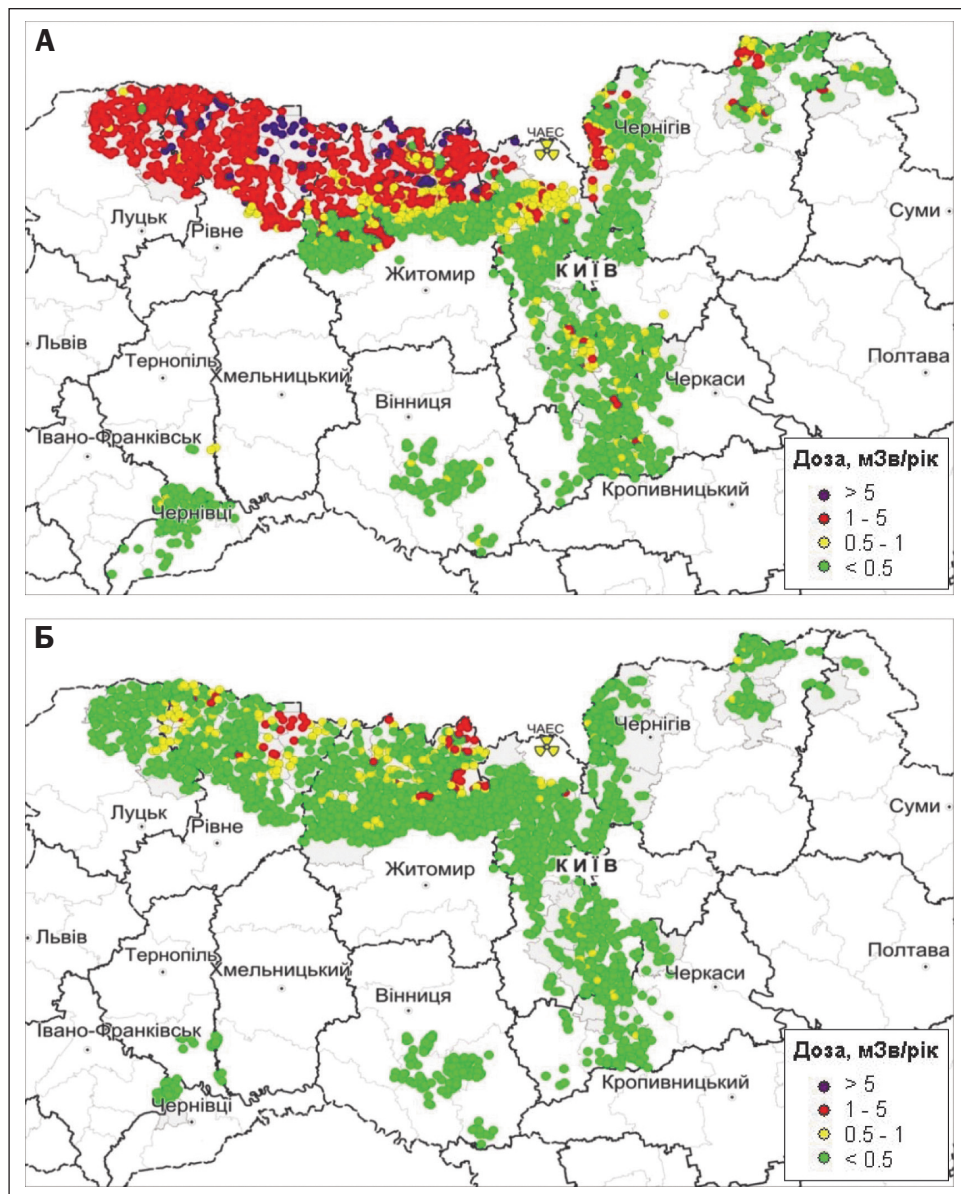


Рисунок 2. Паспортні дози НП України за результатами дозиметричних паспортизацій: А – 1991 р. Б – 2011 р.

2,2 тис. НП [5–12]. У 2011 р. паспортні дози були розраховані для 1977 НП [13], а в 2012 р. – лише для 186 НП [14]. Після 2013 р. дозиметрична паспортизація населених пунктів України не проводилася через відсутність фінансування.

Нині через 37 років після аварії внаслідок фізичного розпаду більшості радіонуклідів чорнобильського походження та процесів їх міграції у природньому середовищі радіоактивне забруднення довкілля суттєво знизилось. Проте на окремих радіоактивно забруднених територіях доза опромінення населення досі може перевищувати встановлений законодавством ліміт 1 мЗв за рік (рис. 2). У таких населених пунктах все ще необхідно проводити радіоекологічний і дозиметричний моніторинг та застосовувати контрзаходи, серед яких – обмеження споживання молока місцевого виробництва, лісових грибів, ягід тощо.

approximately 2,200 settlements [5–12]. In 2011, passport doses were calculated for 1,977 settlements [13], and in 2012 – only for 186 settlements [14]. After 2013, dosimetric passportization of Ukrainian settlements was not carried out due to lack of funding.

Today, 37 years after the accident, as a result of the physical decay of most radionuclides of Chernobyl origin and the processes of their migration in the environment, the radioactive contamination of the environment has significantly decreased. However, in some settlements on radioactively contaminated territory, the dose of exposure to members of the public still can exceed the legally established limit of 1 mSv per year (Fig. 2). In such settlements, it is still necessary to conduct radioecological and dosimetric monitoring and apply countermeasures, including limiting the consumption of locally produced milk, forest mushrooms, berries, etc.

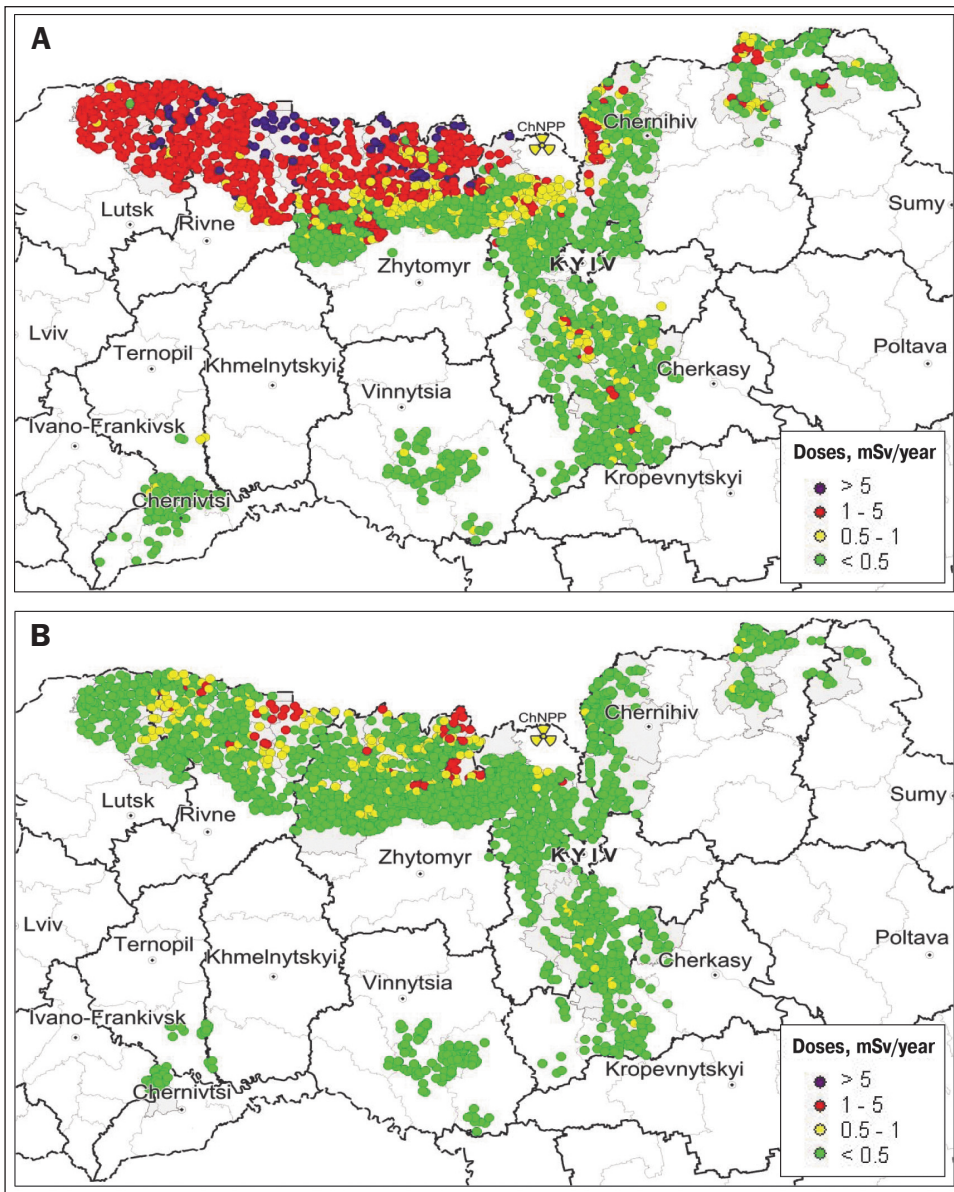


Figure 2. Passport doses of Ukrainian settlements according to the results of dosimetric passportization: A – 1991 B – 2011

Указ Президента № 196 від 05.07.2018 «Про додаткові заходи з відродження територій, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи, із соціального захисту постраждалих осіб, безпечного поводження з радіоактивними відходами», окрім іншого, передбачає: а) здійснення вибіркового обстеження і моніторингу земель зон радіоактивно забруднених територій та за результатами такого обстеження опрацювання питання щодо можливості та особливостей використання окремих земельних ділянок для ведення господарської діяльності; б) проведення щорічної дозиметричної паспортизації із зазначенням очікуваних доз опромінення населення, оновлення карт зон радіоактивного забруднення з визначенням і уточненням меж таких зон, забезпечивши належне фінансування цих заходів [15].

Дозиметрична паспортизація населених пунктів України в сучасних умовах потребує нових підходів

Presidential Decree No. 196 of 07/05/2018 «About additional measures for recovery of the territories which were radioactively contaminated due to Chernobyl catastrophe, for social protection of affected persons, safe management with radioactive waste», among other things, provides: a) carrying out a selective inspection and monitoring of land in radioactively contaminated areas and, based on the results of such inspection, working out the issue of the possibility and features of using certain land for economic activity; b) carrying out annual dosimetric passportization with an indication of the expected exposure doses to members of the public, updating maps of radioactive contamination zones with the definition and clarification of the boundaries of such zones, ensuring adequate financing of these measures [15].

Dosimetric passportization of Ukrainian settlements in modern conditions requires new approaches

до оцінки паспортних доз. В першу чергу постає необхідність у розробці нової методики розрахунку паспортних доз, яка враховувала б зміни у законодавстві України, нові наукові досягнення, сучасні вимірювальні можливості радіологічних лабораторій, а також досвід і результати дозиметричної паспортизації попередніх років [16–34]. Це пов'язано з тим, що згідно з правками, внесеними від 23.08.2023 у Статтю 18 Закону України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання», для цілей перевірки дотримання ліміту річної дози опромінення населення повинна використовуватись оцінка ефективної річної дози опромінення для репрезентативної особи [35], тоді як у Методиці-96, яка досі встановлювала процедури розрахунку паспортних доз НП України, у якості критерію використовувалась оцінка ефективної річної дози середньозважена за всіма віковими групами у населеному пункті. Крім того, покладені в основу Методики-96 дозиметричні моделі враховували радіаційну ситуацію, що мала місце у перші роки після аварії на ЧАЕС. Термін дії Методики-96 вже давно закінчився, оскільки у самому документі вказано, що вона є дійсною максимум 5 років, починаючи від дати затвердження МОЗ України, а потім має бути переглянута з урахуванням нових наукових даних щодо процесів міграції радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr ланками харчового ланцюжка.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Наукове обґрунтування нової методики (Методика-2023) оцінки паспортних доз населених пунктів зон безумовного (обов'язкового) відселення та гарантованого добровільного відселення для проведення дозиметричної паспортизації згідно із законодавством України.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Паспортною дозою НП D_p (мкЗв) вважається річна ефективна доза опромінення, яка потенційно може бути отримана репрезентативною особою даного НП від радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у поточному році [3]. У радіаційному захисті під репрезентативною особою мається на увазі особа, яка отримує дозу, що є репрезентативною для найбільш опромінюваних осіб з населення, за винятком осіб, які мають рідкісні звички [35, 36].

На сьогодні основними шляхами опромінення населення РЗТ є зовнішнє гамма-опромінення від забрудненого ґрунту та пероральне надходження

to the assessment of passport doses. First of all, there is a need to develop a new methodology for calculating passport doses, which would take into account changes in the legislation of Ukraine, new scientific achievements, modern measuring capabilities of radiological laboratories, as well as experience and results of dosimetric passportization in previous years [16–34]. This is connected with the fact that according to the amendments made on 23.08.2023 to Article 18 of the Law of Ukraine «On the Protection of Humans from the Effects of Ionizing Radiation», for the purposes of checking compliance with the limit of the exposure dose to members of the public, the effective annual exposure dose should be used for of a representative person [35], while in Methodology-96, which until now established the procedures for calculating passport doses of Ukrainian settlements, the effective annual dose weighted average for all age groups in the settlement was used as a criterion. In addition, the dosimetric models that were the basis of Methodology-96 took into account the radiation situation that occurred in the first years after the accident at the Chernobyl NPP. The term of validity of Methodology-96 has long expired, since the document itself states that it is valid for a maximum of 5 years, starting from the date of approval by the Ministry of Health of Ukraine, and then it must be revised taking into account new scientific data on the processes of migration of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr through the links of the food chain.

OBJECTIVE

Scientific substantiation of the new methodology (Methodology-2023) for calculation passport doses of the settlements belonging to Zone of Unconditional (mandatory) Resettlement and Zone of Guaranteed Voluntary Resettlement for conducting dosimetric passporting in accordance with the legislation of Ukraine.

MATERIALS AND METHODS

As the passport dose D_p (μSv) of some settlement is considered the annual effective radiation dose from radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr potentially received by a representative person was living in this settlement in current year [3]. In radiation protection, a person who receives a dose that is representative of more highly exposed individuals in the population, excluding persons with rare habits is meant representative [35, 36].

Today, the main ways of RCT population exposure are external gamma radiation from contaminated soil and oral intake of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr with

радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr із забрудненими продуктами харчування, виробленими на такому ґрунті [27]. Тому у новій методиці дозиметричної паспортизації паспортна доза НП (D_p) визначається співвідношенням:

$$D_p = D_{\gamma}^{ext} + D_{Cs}^{int} + D_{Sr}^{int} \quad (1)$$

де D_{γ}^{ext} – річна ефективна доза зовнішнього гамма-опромінення представника критичної групи даного НП, обумовлена аварійним радіоактивним забрудненням ґрунту радіонуклідом ^{137}Cs внаслідок аварії на ЧАЕС, мкЗв;

D_{Cs}^{int} – річна очікувана ефективна доза внутрішнього опромінення, отримана внаслідок споживання (протягом року) продуктів харчування, забруднених радіонуклідом ^{137}Cs , мкЗв;

D_{Sr}^{int} – річна очікувана ефективна доза внутрішнього опромінення, обумовлена споживанням (протягом року) продуктів харчування, забруднених радіонуклідом ^{90}Sr , мкЗв.

Паспортна доза D_p розраховується як усереднена річна ефективна доза опромінення представників критичних груп мешканців НП і може перевищувати середню дозу всіх мешканців НП у декілька разів. Під критичною групою мається на увазі вікова або професійна група осіб, яка у даному НП зазнає найбільшого ризику радіаційного впливу або за рахунок більш високих рівнів опромінення, або через підвищену радіочутливість, або першого і другого разом. У випадку зовнішнього опромінення до критичної групи належать особи, які зайняті у сільськогосподарських роботах і повний робочий день працюють на відкритій місцевості в околицях НП. У випадку внутрішнього опромінення критична група – це особи, доза яких відповідає 95 % квантилю розподілу доз опромінення дорослих мешканців даного НП. При розрахунку паспортної дози НП вважається, що будь-які захисні заходи (контрзаходи) в НП у поточному році не проводились.

Методика-2023 не враховує опромінення населення РЗТ від трансураничних радіонуклідів, оскільки поза зоною відчуження внесок опромінення від цих радіонуклідів у сумарну дозу є відносно незначним [23, 37].

Оцінка паспортної дози зовнішнього опромінення

Паспортна доза D_{γ}^{ext} (мкЗв) зовнішнього гамма-опромінення оцінюється тільки від радіонуклідів цезію ^{137}Cs , оскільки внесок інших радіонуклідів чорнобильського викиду впливав на величину дози тільки

contaminated food products produced on such soil [27]. So, the passport dose D_p of the settlement according to the new Methodology of dosimetric passportization is determined by equation:

where

D_{γ}^{ext} – annual effective dose due to external gamma irradiation from radionuclide ^{137}Cs deposited on the ground for representative of critical population group of the settlement, as a result of the accident at Chernobyl NPP, μSv ;

D_{Cs}^{int} – expected annual effective dose due to internal radiation from consumption (during the year) of food products contaminated with radionuclide ^{137}Cs , μSv ;

D_{Sr}^{int} – expected annual effective dose due to internal exposure from consumption (during the year) of food products contaminated with radionuclide ^{90}Sr , μSv .

The passport dose D_p is calculated as the average annual effective radiation dose of representatives of critical groups of the settlement's residents and may exceed the average dose of all residents of the settlement by several times. The critical group is an age or professional group of persons in the settlement, which is at the greatest risk of radiation exposure either due to higher levels of exposure, or due to increased radiosensitivity, or the first and second together. In case of external exposure, the critical group includes agricultural workers who working full-time an open area within the settlement. In case of internal exposure, the critical group is individuals whose dose corresponds to the 95% quantile of the dose distribution for adult residents of this settlement. The passport dose calculation does not provided implementation of any protective measures (countermeasures) in the settlement during current year.

Methodology-2023 does not take into account the RCT population exposure from transuranic radionuclides, because outside the exclusion zone, the contribution of exposure from these radionuclides to the total dose is relatively insignificant [23, 37].

Estimation of passport dose from external irradiation

The passport dose D_{γ}^{ext} (μSv) due to external gamma irradiation is estimated only from radionuclide ^{137}Cs , as the contribution of other Chernobyl emission radionuclides had an influence on the dose only

у перші роки після аварії [21]. Вираз для розрахунку цієї дози у поточному році T для НП, що належить до ЗБ(О)В та ЗДГВ має вигляд:

$$D_Y^{ext} = \sigma_{Cs}^{86} \cdot B_Y^T \quad (2)$$

де σ_{Cs}^{86} – щільність випадінь ^{137}Cs у 1986 р. на поверхні ґрунту НП, що паспортизується, $\text{кБк} \cdot \text{м}^{-2}$; B_Y^T – коефіцієнт переходу від щільності випадінь ^{137}Cs на ґрунті у 1986 р. до ефективної дози зовнішнього опромінення критичної групи мешканців НП у поточному році T , мкЗв на $\text{кБк} \cdot \text{м}^{-2}$ (табл. 1).

in the first years after the accident [21]. The expression for calculating of such dose in current year T for settlement situated on ZU(O)R and ZGVR has the form:

where σ_{Cs}^{86} – is the ^{137}Cs ground fallout density in 1986 in the settlement that is being passported, $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-2}$; B_Y^T – is conversion coefficient from the ^{137}Cs ground fallout density in 1986 to the effective external radiation dose for the critical resident group of the settlement in current year T , μSv per $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-2}$ (Table 1).

Таблиця 1

Динаміка коефіцієнта переходу B_Y^T від щільності випадінь ^{137}Cs на ґрунті у 1986 р. до ефективної дози зовнішнього опромінення

Table 1

Dynamics of conversion coefficient B_Y^T from the ^{137}Cs ground fallout density in 1986 to the effective external radiation dose

Рік / Year, T	B_Y^T , мкЗв на кБк · м ⁻² / μSv per kBq · м ⁻²
2023	1,43
2024	1,40
2025	1,37
2026	1,34
2027	1,31
2028	1,28
2029	1,25
2030	1,22

Коефіцієнт розраховується як:

The coefficient is calculated as:

$$B_Y^T = \tilde{d}_{Cs}^{ext}(t) \cdot F_\alpha \quad (3)$$

де $\tilde{d}_{Cs}^{ext}(t)$ – ефективна доза зовнішнього опромінення референтної дорослої людини, яка перебуває ззовні приміщення, розрахована на одиницю щільності забруднення ^{137}Cs поверхні ґрунту в 1986 р., мкЗв на $\text{кБк} \cdot \text{м}^{-2}$;

F_α – фактор зниження дози опромінення за рахунок особливостей режиму поведінки особи критичної групи мешканців НП, б/р; $F_\alpha = 0,43$ [27, 38].

Ефективна доза $\tilde{d}_{Cs}^{ext}(t)$ оцінюється від радіонукліда ^{137}Cs для дорослої референтної людини за умови, що така особа протягом 1 року постійно перебуває на відкритій радіоактивно забрудненій місцевості зі щільністю випадінь ^{137}Cs 1 $\text{кБк} \cdot \text{м}^{-2}$ на поверхні ґрунту у 1986 році:

where $\tilde{d}_{Cs}^{ext}(t)$ – is effective dose from external irradiation normalized to the ^{137}Cs ground fallout density in 1986 for reference adult person staying outdoors in time t , μSv per $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-2}$;

F_α – is the dose reduction factor that accounted the specific traits of critical residents group behavior in the settlement, unitless; $F_\alpha = 0,43$ [27, 38].

The effective dose $\tilde{d}_{Cs}^{ext}(t)$ is estimated for an adult reference person from radionuclide ^{137}Cs under the condition that such person is constantly staying on radioactively contaminated territory outside the building with ^{137}Cs ground fallout density in 1986 which equals 1 $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-2}$:

$$\tilde{d}_{Cs}^{ext}(t) = \tilde{E}_{Cs}^{ext} \cdot \int_{t_1}^{t_2} H_{Cs}(t) \cdot e^{-\lambda_r t} dt \quad (4)$$

де \tilde{E}_{Cs}^{ext} – дозовий коефіцієнт зовнішнього опромінення дорослої людини від радіонукліда ^{137}Cs на поверхні ґрунту, за даними [39] = $18,6 \text{ мкЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$ на $\text{кБк} \cdot \text{м}^{-2}$;

$H_{Cs}(t)$ – часова динаміка послаблення ефективної дози за рахунок вертикальної міграції ^{137}Cs з поверхні вглиб ґрунту [17, 40], б/р;

λ_{Cs} – стала радіоактивного розпаду ^{137}Cs , = $0,023 \text{ рік}^{-1}$;

$(t1; t2)$ – інтервал часу, за який оцінюється доза опромінення, роки.

Для періоду 1986–1999 рр. величина оцінюється за формулою:

$$H_{Cs}(t) = B \cdot (A \cdot e^{-L_1 \cdot t} + (1 - A) \cdot e^{-L_2 \cdot t}) \quad (5)$$

де $B = 0,82$, $A = 0,4$, $L_1 = 0,46 \text{ рік}^{-1}$ та $L_2 = 0,014 \text{ рік}^{-1}$ – параметри, оцінені у роботі [17]; t – час, роки.

Після 1999 року $H_{Cs}(t)$, тобто враховується тільки радіоактивний розпад.

Оцінка паспортної дози внутрішнього опромінення від ^{137}Cs

Доза внутрішнього опромінення у НП ЗБ(О)В та ЗДГВ формується головним чином від радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr . У більшості НП доза від ^{90}Sr незначна порівняно з дозою від ^{137}Cs , але у деяких НП, що знаходяться на територіях південного сліду чорнобильських радіоактивних випадіннь, доза від ^{90}Sr може давати вагомий внесок у загальну дозу внутрішнього опромінення [23–25].

Річна очікувана ефективна доза внутрішнього опромінення D_{Cs}^{int} (мкЗв), сформована внаслідок споживання продуктів харчування, забруднених ^{137}Cs , розраховується на основі таких результатів вимірювань:

- вмісту ^{137}Cs у тілі мешканців НП, або
- об'ємної питомої активності ^{137}Cs у молоці приватних господарств НП, або
- щільності забруднення ґрунту НП радіонуклідом ^{137}Cs у 1986 р.

Пріоритет результатів вимірювань, що використовуються для розрахунку дози внутрішнього опромінення від ^{137}Cs , визначається порядком у вищезазначеному переліку (від найвищого до найнижчого).

Якщо в поточному році у НП проведено визначення радіоактивності ^{137}Cs у тілі мешканців з використанням ЛВЛ, то доза внутрішнього опромінення від радіонукліда ^{137}Cs визначається як 95 % квантиль розподілу індивідуальних доз внутрішнього опромінен-

where

\tilde{E}_{Cs}^{ext} – is the external exposure dose rate per unit activity of radionuclide ^{137}Cs in soil for adult individual according to [39] = $18,6 \text{ } \mu\text{Sv} \cdot \text{yr}^{-1}$ per $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-2}$;

$H_{Cs}(t)$ – is attenuation function that reflects the decreasing dose rate due to radionuclide ^{137}Cs migration in soil [17, 40], unitless;

λ_{Cs} – the radioactive decay rate of radionuclide ^{137}Cs , = $0,023 \text{ year}^{-1}$;

$(t1; t2)$ – is a time interval for which the radiation dose is estimated, years.

For the period of 1986–1999, the value is estimated by equation:

where $B = 0,82$, $A = 0,4$, $L_1 = 0,46 \text{ year}^{-1}$ and $L_2 = 0,014 \text{ year}^{-1}$ are parameters evaluated in the work [17]; t – time, years.

After 1999, $H_{Cs}(t)$, it means only radioactive decay is taken into account.

Estimation of passport dose from internal exposure from ^{137}Cs

The internal exposure dose in settlements of ZU(O)R and ZGVR is mainly formed from radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr . In most settlements, the dose from ^{90}Sr is insignificant compared to the dose from ^{137}Cs , but in some settlements located on territories of the southern Chernobyl radioactive fallout footprint, the dose from ^{90}Sr can make a significant contribution to the total internal radiation dose [23–25].

The calculation of annual expected effective dose due to internal radiation formed as a result of consumption of food products contaminated with ^{137}Cs D_{Cs}^{int} (μSv) took into consideration following measurement results:

- content of ^{137}Cs in the body of settlement's residents, or
- specific volume activity of ^{137}Cs in milk from private farms in the settlement, or
- ^{137}Cs ground fallout density in the settlement in 1986.

The priority of measurement results used to calculate the internal exposure dose from ^{137}Cs is determined by the order in the list above (from the highest to the lowest).

If measurements of ^{137}Cs content in the body of the settlement's residents were conducted using WBC, the internal exposure dose from radionuclide ^{137}Cs is determined as the 95% quantile of the individual internal exposure doses distribution for

ня дорослих мешканців даного НП. Індивідуальна доза внутрішнього опромінення i -го дорослого мешканця НП D_i^{WBC} (мкЗв) розраховується за формулою:

$$D_i^{WBC} = Q_i^{WBC} \cdot E^{WBC} \cdot K_{s,a} \cdot M_i^{-1} \cdot M_B \quad (6)$$

де Q_i^{WBC} – виміряний за допомогою ЛВЛ вміст ^{137}Cs в організмі людини, Бк;
 M – маса тіла людини, що вимірюється на ЛВЛ, кг;
 M_B – середня маса тіла людини, яка приймається рівною 70 кг;
 E^{WBC} – дозовий коефіцієнт внутрішнього опромінення від ^{137}Cs для дорослих осіб, нормований на одиницю радіоактивності інкорпорованого ^{137}Cs у тілі людини; $E^{WBC} = 3.2 \cdot 10^{-2}$ мкЗв \cdot Бк $^{-1}$ [41, 42];
 $K_{s,a}$ – коефіцієнт перерахунку дози представника статеві-вікової групи (s,a) у дозу дорослого мешканця (табл. 2) [43].

adult residents of this settlement. The individual internal exposure dose for i -th adult resident of the settlement D_i^{WBC} (μSv) is calculated by equation:

where Q_i^{WBC} – the content of ^{137}Cs in the person's body measured using WBC, Bq;
 M – body weight of person which measured by WBC, kg;
 M_B – the average human body weight, which is taken as 70 kg;
 E^{WBC} – the internal exposure dose rate per unit activity of incorporated ^{137}Cs in the human body for adults; $E^{WBC} = 3.2 \cdot 10^{-2}$ $\mu\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ [41, 42];
 $K_{s,a}$ – the correction factor of internal dose for representative of sex-age group (s,a) in comparison with adult (Table 2).

Таблиця 2

Коефіцієнт перерахунку дози внутрішнього опромінення від ^{137}Cs представників різних статеві-вікових груп у дозу дорослого мешканця

Table 2

The correction factor of internal dose from ^{137}Cs for representatives of different sex and age groups in comparison with adult

Вікова група, роки Age group, years	$K_{s,a}$, б/р // unitless	
	чоловіки / men	жінки / women
0–2	1,0	1,0
3–7	1,7	1,7
8–17	1,3	1,5
≥ 18	1,0	1,3

Використання коефіцієнта $K_{s,a}$ у формулі (6) пов'язано з тим, що за даними ЛВЛ-моніторингу в 2001–2013 рр. [43] доза внутрішнього опромінення мешканців одного й того ж НП може відрізнятись до 1,3–1,7 раза залежно від віку та статі особи (табл. 2).

За відсутності або недостатній кількості ЛВЛ-вимірювань у НП, що паспортизується, для розрахунку паспортної дози внутрішнього опромінення від ^{137}Cs допускається використання результатів вимірювань концентрації ^{137}Cs в молоці приватних господарств цього НП. Кількість проб молока має бути не менше 5, але якщо у НП недостатньо корів, кількість проб може бути зменшена до 4 [44].

Доза за результатами вимірювань концентрації ^{137}Cs у пробах молока розраховується за формулою [18, 27]:

$$D_{Cs}^{int} = 365 \cdot E_{Cs}^{int} \cdot c_{Cs}^m \cdot ME_{Cs} \quad (7)$$

The use of coefficient $K_{s,a}$ into eq. (6) related to the fact that according to WBC monitoring data in 2001–2013 [43], the internal radiation dose among residents of single settlement can differ by 1.3–1.7 times depending on the age and gender of the person (Table 2).

In the absence or insufficient number of WBC measurements in the passported settlement, it is allowed to use the results of ^{137}Cs concentration measuring in private farms milk of the same settlement for internal radiation passport dose calculation. The number of milk samples should be at least 5, but if there are not enough cows in the settlement, the number of samples can be reduced to 4 [44].

The dose based on the results of ^{137}Cs concentration measurements in milk samples is calculated according to the formula [18, 27]:

де E_{Cs}^{int} – дозовий коефіцієнт МКРЗ внутрішнього опромінення від ^{137}Cs для дорослих осіб, визначається як ефективна доза на одиницю перорального надходження радіоактивності, $= 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ мкЗв} \cdot \text{Бк}^{-1}$ [28]; c_{Cs}^m – середня концентрація ^{137}Cs , виміряна у пробах молока в НП, що паспортизується, у поточному році, $\text{Бк} \cdot \text{л}^{-1}$; (рис. 3); ME_{Cs} – цезієвий молочний еквівалент для представників критичної групи, який визначається за результатами радіоекологічного та дозиметричного моніторингу, що проводились під час дозиметричної паспортизації попередніх років, $\text{л} \cdot \text{доба}^{-1}$.

where E_{Cs}^{int} – is ICRP dose factor of internal ingestion exposure from ^{137}Cs for adults, defined as the effective dose per unit of oral intake of radioactivity, $= 1,3 \cdot 10^{-2} \mu\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ [28]; c_{Cs}^m – is the average concentration of ^{137}Cs , measured in milk samples in the passported settlements in the current year, $\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$; (Fig. 3); ME_{Cs} – is cesium milk equivalent for representatives of the critical group, determined based on the results of radioecological and dosimetric monitoring carried out during dosimetric passportization in previous years, $\text{L} \cdot \text{day}^{-1}$.

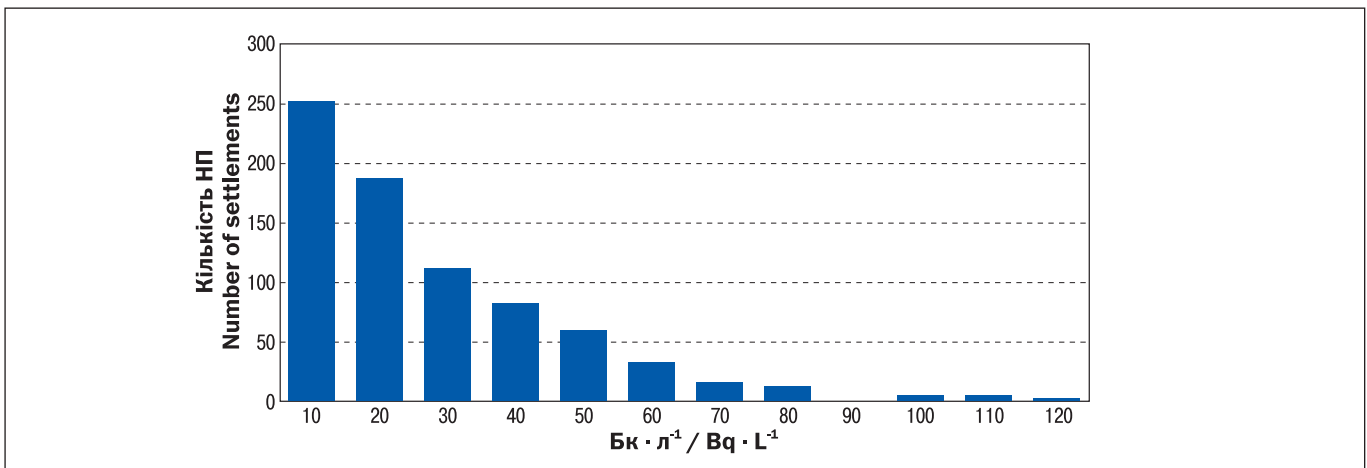


Рисунок 3. Розподіл концентрації радіонукліда ^{137}Cs у молоці приватних господарств у НП ЗГДВ та ЗГДВ за результатами дозиметричної паспортизації 2011 р.

Figure 3. Distribution of ^{137}Cs concentration in private farms milk from the settlements of ZU(0)R and ZGVR according to the results of dosimetric passportization in 2011

Під молочним еквівалентом мають на увазі гіпотетичне добове споживання молока, виробленого у приватних господарствах населеного пункту (літрів на добу), яке могло б забезпечити надходження в організм точно такої ж кількості радіонукліда ^{137}Cs (цезієвий молочний еквівалент) або ^{90}Sr (стронцієвий молочний еквівалент), як і весь раціон людини.

Цезієвий молочний еквівалент ME_{Cs} було розраховано за даними молочного та ЛВЛ-моніторингу, що проводились під час дозиметричної паспортизації НП України 2005–2013 років (рис. 4). Він обчислювався як 95 % квантиль розподілу індивідуальних молочних еквівалентів $ME_{Cs,i}^{T,j}$ мешканців регіону¹ старших 8 років, у яких проводились ЛВЛ-вимірювання в зазначений період:

The milk equivalent refers to the hypothetical daily consumption of milk produced in private farms of the settlement (liters per day), which could ensure the entry into the body of exactly the same amount of radionuclide ^{137}Cs (cesium milk equivalent) or ^{90}Sr (strontium milk equivalent), as the entire human diet.

The cesium milk equivalent ME_{Cs} was calculated based on the data of milk and WBC monitoring conducted during the dosimetric passportization of Ukrainian settlements in 2005–2013 (Fig. 4). It was calculated as the 95% quantile of the individual milk equivalents $ME_{Cs,i}^{T,j}$ distribution among the residents of some region¹ older than 8 years who had WBC measurements during the time period is specified above:

$$ME_{Cs,i}^{T,j} = \frac{Q_i^{WBC,T,j} \cdot \lambda_{Cs}^a}{c_{Cs}^{m,T,j}} \quad (8)$$

¹Під регіоном мають на увазі або безпосередньо населений пункт (у разі наявності у ньому не менше 20 ЛВЛ-вимірювань у 2005–2013 роках) або адміністративний район до 2020 р.

¹By region is meant either the settlement (if it has at least 20 WBC measurements in 2005–2013) or the administrative district before 2020

де
 $Q_i^{WBC,T,j}$ – активність інкорпорованого ^{137}Cs в організмі i -го мешканця j -го НП у році T , Бк;
 $c_{Cs}^{m,T,j}$ – середньорічна концентрація радіонукліда ^{137}Cs , виміряна у пробах молока в j -му НП у році T , Бк · л⁻¹;
 λ_{Cs}^a – стала напіввиведення цезію з організму особи віку a , доба⁻¹ (для осіб старших 18 років $\lambda_{Cs}^{18} = 0,0063$, для підлітків 13–17 років $\lambda_{Cs}^{13-17} = 0,0075$, для дітей 8–12 років $\lambda_{Cs}^{8-12} = 0,014$).

Якщо кількість вимірювань концентрації ^{137}Cs у пробах молока у поточному році T недостатня для застосування формули (7), доза внутрішнього опромінення від ^{137}Cs може бути розрахована з використанням коефіцієнтів переходу «грунт–молоко» [18] за формулою:

$$D_{Cs}^{int} = 365 \cdot E_{Cs}^{int} \cdot TF_{Cs} \cdot ME_{Cs} \cdot \sigma_{Cs}^{86} \cdot k_{Cs} \quad (9)$$

де
 TF_{Cs} – коефіцієнт переходу «грунт–молоко» для цезію у відповідному НП, Бк · л⁻¹ на кБк · м⁻² (рис. 5);
 k_{Cs} – коригуючий коефіцієнт, який враховує радіоактивний розпад ^{137}Cs після 1986 р., б/р (табл. 3).

У формулі (9) застосовуються консервативні оцінки коефіцієнта TF_{Cs} . Він дорівнює відношенню середньої концентрації радіонукліда ^{137}Cs у пробах молока, відібраних в даному НП, до щільності забруд-

where
 $Q_i^{WBC,T,j}$ – is activity of incorporated ^{137}Cs in the body of the resident i of settlement j in year T , Bq;
 $c_{Cs}^{m,T,j}$ – is average annual concentration of radionuclide ^{137}Cs , measured in milk samples in settlement j in year T , Bq · L⁻¹;
 λ_{Cs}^a – is biological half-life of cesium in the human body for person at the age a , day⁻¹ ($\lambda_{Cs}^{18} = 0.0063$ for adults, $\lambda_{Cs}^{13-17} = 0.0075$ for teenagers at the age of 13–17, $\lambda_{Cs}^{8-12} = 0.014$ for children at the age of 8–12).

If the number of measurements of ^{137}Cs concentration in milk samples in the current year T is not sufficient to apply formula (7), the internal radiation dose from ^{137}Cs can be calculated using the «soil–milk» transfer factor [18] according to the equation:

where
 TF_{Cs} – is cesium «soil–milk» transfer factor in the settlement, Bq · L⁻¹ per kBq · m⁻² (Fig. 5);
 k_{Cs} – is correction factor, which takes into account the ^{137}Cs radioactive decay after 1986, unitless (Table 3).

The conservative estimates of the coefficient TF_{Cs} are used in equation (9). It is equal to the ratio of the average ^{137}Cs concentration in milk samples taken in the passported settlement to the ^{137}Cs

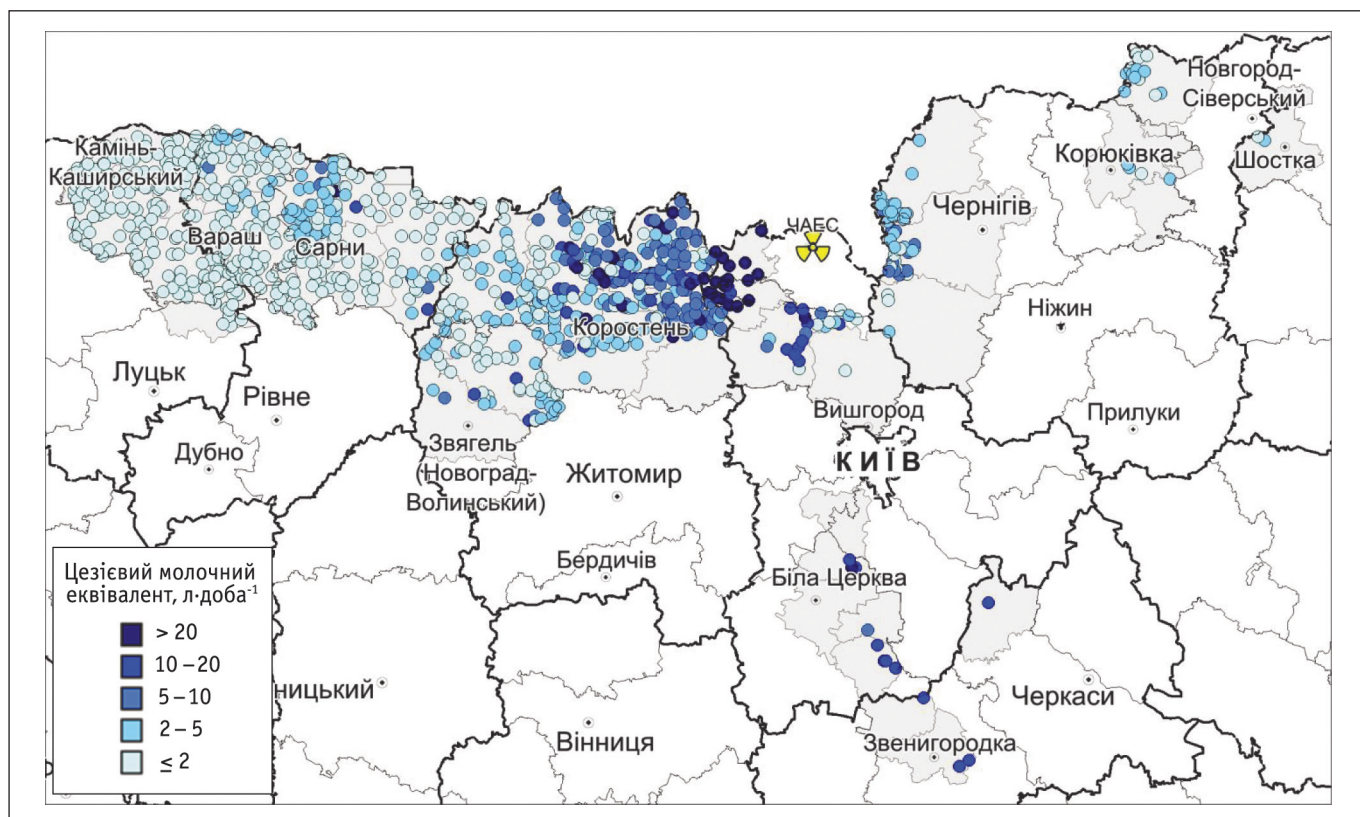


Рисунок 4. Розподіл середніх значень молочного еквівалента ME_{Cs} за регіонами, де розташовані НП ЗБ(0)В та ЗГВД

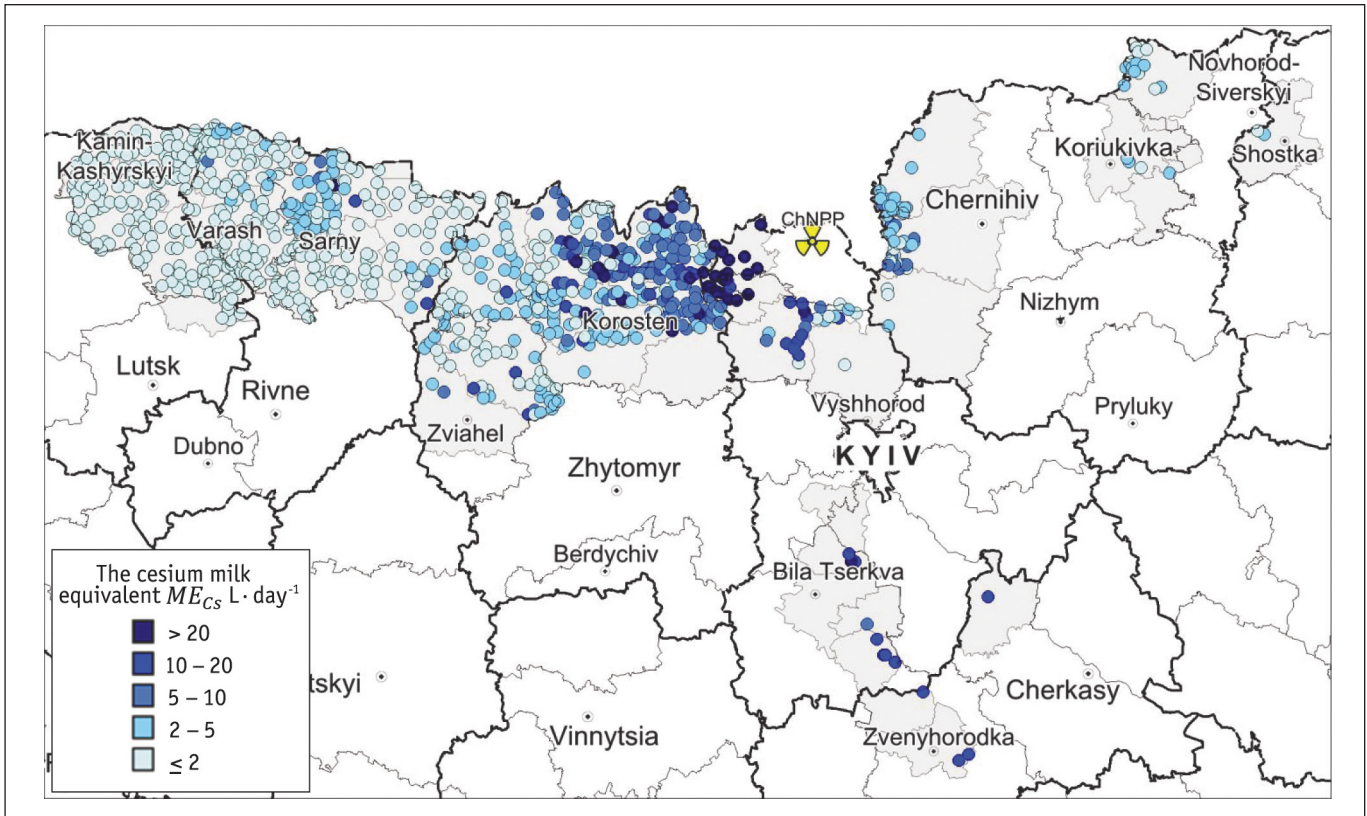


Figure 4. Distribution of milk equivalent values (ME_{Cs}) by regions where the settlements of ZU(0)R and ZGVR are located

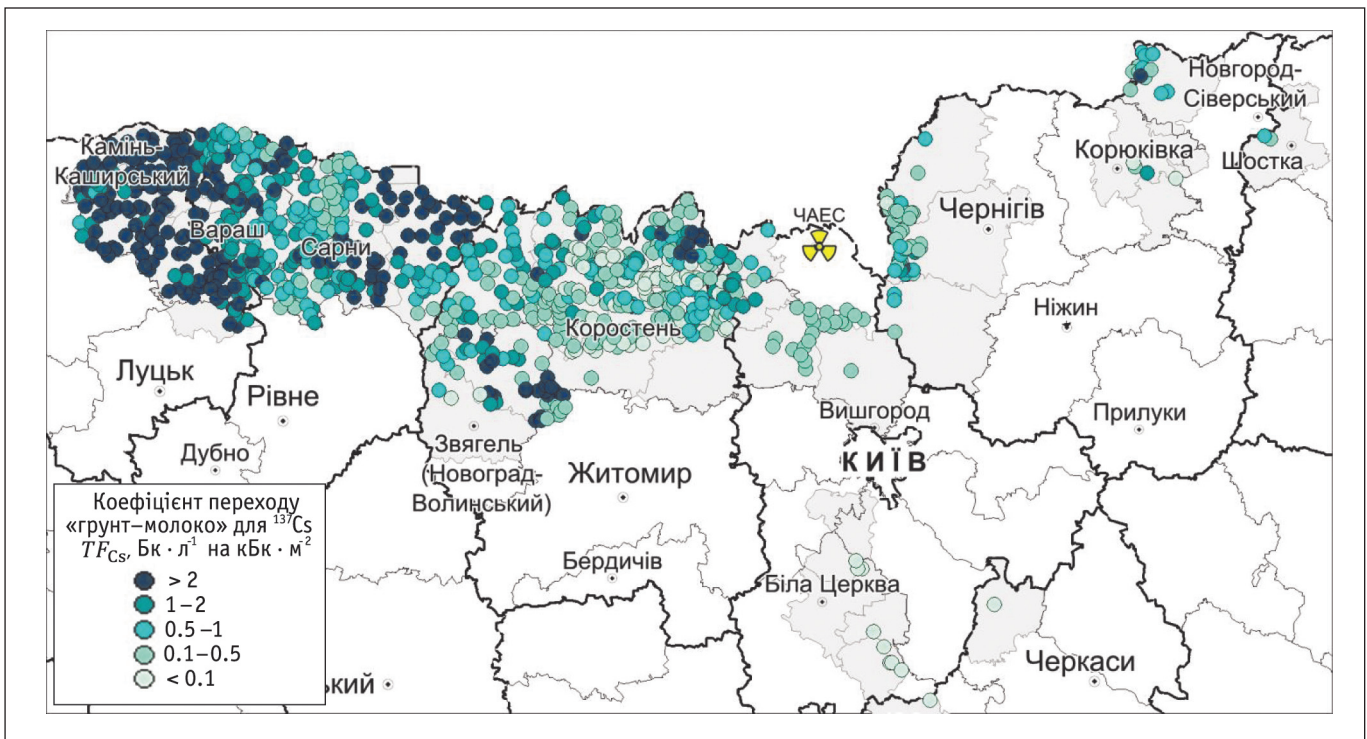


Рисунок 5. Карта розподілу коефіцієнта переходу радіонукліда ^{137}Cs з ґрунту в молоко у 2005–2013 рр. у НП ЗБ(0)В та ЗГВД

нення ґрунту цього ж НП радіонуклідом ^{137}Cs у 1986 р. При розрахунку TF_{Cs} використовувався усереднена концентрація радіонукліда ^{137}Cs у пробах молока, отриманих за результатами радіоекологічного моніто-

ground fallout density in 1986 at some settlement. For calculating TF_{Cs} the average ^{137}Cs concentration in milk samples obtained from the results of radioecological monitoring of previous years

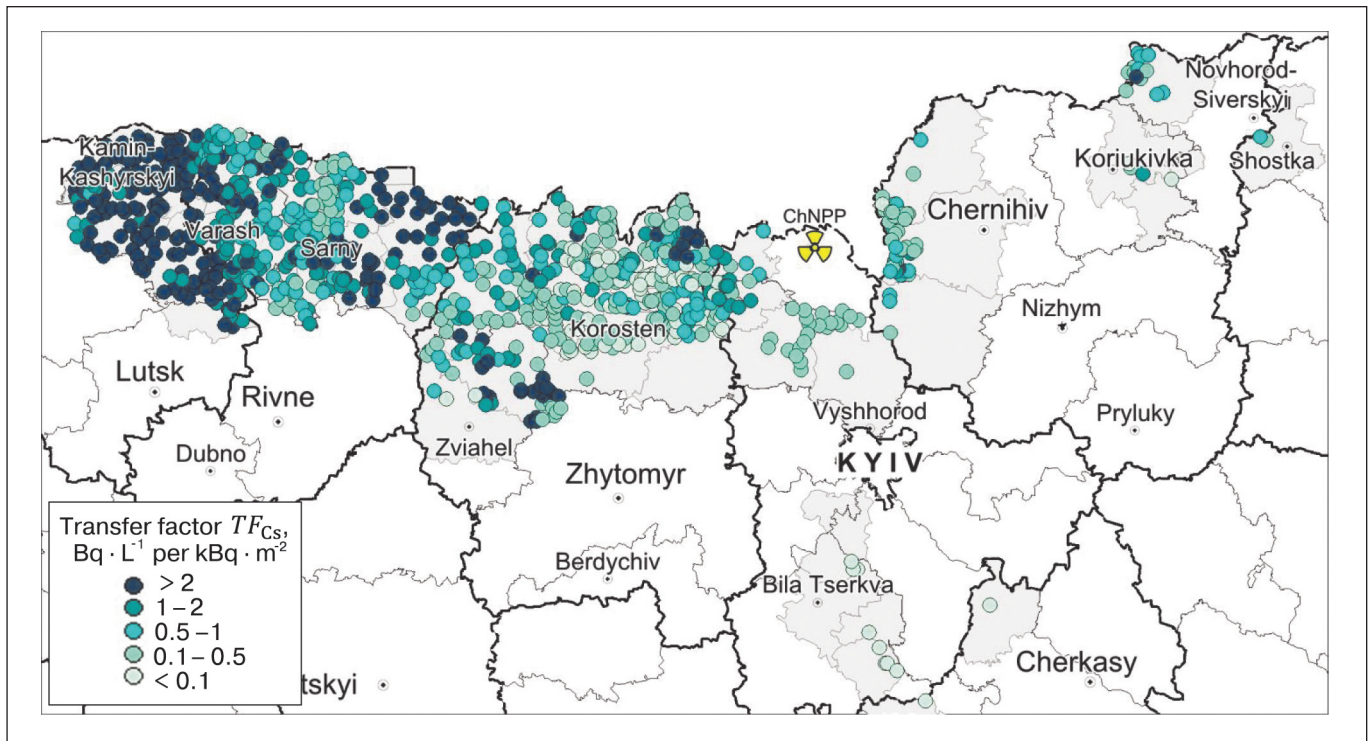


Figure 5. Distribution of ^{137}Cs «soil–milk» transfer factor for the settlements of ZU(0)R and ZGVR in 2005–2013

Таблиця 3

Значення коефіцієнта k_{Cs} для різних років після аварії на ЧАЕС

Table 3

Values of correction factor k_{Cs} for different years after the accident at the Chernobyl nuclear power plant

Рік / Year	k_{Cs}
2023	0,43
2024	0,42
2025	0,41
2026	0,40
2027	0,39
2028	0,38
2029	0,37
2030	0,36

рингу попередніх років (2005, 2006, 2007, 2008, 2011, 2012 та 2013) у даному НП [10–14].

Рисунки 4 та 5 демонструють, що цезієвий молочний еквівалент обернено пропорційний до коефіцієнта переходу «грунт–молоко» у відповідному НП. В населених пунктах з високим коефіцієнтом переходу радіонуклідів ^{137}Cs з ґрунту в молоко (північні регіони Волинської та Рівненської областей) спостерігається як правило відносно низький молочний еквівалент і, навпаки, – відносно високому молочному еквіваленту (південні регіони Київської області) відповідають НП з низьким коефіцієнтом переходу «грунт–молоко». Чим вищий молочний еквівалент, тим менше радіонуклідів ^{137}Cs потрапляє до організму людини власне з молоком і тим меншим є внесок мо-

(2005, 2006, 2007, 2008, 2011, 2012 and 2013) in this settlement is used [10–14].

Figures 4 and 5 demonstrates inverse proportionality of cesium milk equivalent to the «soil–milk» transfer factor in the same settlement. In the settlements with a high value of «soil–milk» transfer factor (for example, northern regions of Volyn and Rivne Oblasts), a relatively low milk equivalent is observed as a rule, and backwards – a relatively high milk equivalent (for example, southern regions of Kyiv Oblast) corresponds the settlements with a low values of transfer factor. The higher milk equivalent value, the less ^{137}Cs intake is to human body in fact with milk and the smaller contribution of milk exposure path to the

лочного шляху у дозу внутрішнього опромінення. Оскільки за статистичними даними останніх років переважна більшість населення споживає в середньому не більше 1 літра молока та молочних продуктів на день [45], то для НП, у яких цезієвий молочний еквівалент перевищує 2 л на добу, молочний шлях опромінення не є основним. Тобто у НП з високим молочним еквівалентом більшість радіонуклідів ^{137}Cs надходить не з молоком (яке є відносно чистим), а з іншими продуктами харчування, наприклад, з лісовими грибами, ягодами або дичиною тощо.

Оцінка паспортної дози внутрішнього опромінення від ^{90}Sr

Особливість формування дози внутрішнього опромінення $D_{\text{Sr}}^{\text{int}}$ (мкЗв) за рахунок споживання забруднених радіонуклідом ^{90}Sr продуктів харчування полягає в тому, що реалізація повної дози, навіть після одноразового надходження даного радіонукліда, відбувається протягом десятків років. Тобто, протягом даного року реалізується тільки відносно невелика частина дози, обумовлена надходженням до організму ^{90}Sr , тоді як значна частина цієї дози формується протягом решти життя. Фактично йдеться про очікувану ефективну дозу внутрішнього опромінення. Згідно з рекомендаціями та практикою МКРЗ [28] річна очікувана ефективна доза від ^{90}Sr вважається отриманою в тому році, в якому відбулось надходження стронцію.

За наявності у поточному році результатів вимірювань концентрації радіонукліда ^{90}Sr у пробах молока в НП, що паспортизується (не менше 2 об'єднаних проб), річна очікувана ефективна доза внутрішнього опромінення від ^{90}Sr розраховується за формулою:

$$D_{\text{Sr}}^{\text{int}} = 365 \cdot E_{\text{Sr}}^{\text{int}} \cdot c_{\text{Sr}}^m \cdot ME_{\text{Sr}} \quad (10)$$

де $E_{\text{Sr}}^{\text{int}}$ — дозовий коефіцієнт МКРЗ внутрішнього опромінення від ^{90}Sr для дорослих осіб, визначається як ефективна доза на одиницю перорального надходження радіоактивності, $E_{\text{Sr}}^{\text{int}} = 2,8 \cdot 10^{-2}$ мкЗв \cdot Бк $^{-1}$ [28]; c_{Sr}^m — середня концентрація ^{90}Sr у пробах молока НП, що паспортизується, Бк \cdot л $^{-1}$ (рис. 6); ME_{Sr} — стронцієвий молочний еквівалент для представників критичної групи, значення якого оцінюється як 1,6 л \cdot доба $^{-1}$ для всіх населених пунктів ЗБ(О)В та ЗДГВ [3].

За відсутності або недостатньої для застосування формули (10) кількості вимірювань концентрації ^{90}Sr у пробах молока у поточному році, доза внутрішнього опромінення від ^{90}Sr може бути розрахована з ви-

internal radiation dose. According to statistic data of recent years, the vast majority of population consumes on average less than 1 liter of milk and dairy products per day [45], so for settlements where the cesium milk equivalent exceeds 2 liters per day, the milk exposure path is not principal. It means in the settlements with a high milk equivalent, most of ^{137}Cs radionuclides do not come with milk (which is rather pure), but with other food products, for example, with wild mushrooms, berries or game, etc.

Estimation of passport dose from internal exposure from ^{90}Sr

Formation of internal radiation dose $D_{\text{Sr}}^{\text{int}}$ (μSv) due to the consumption of foods contaminated with radionuclide ^{90}Sr have a feature, that the full dose realization even after a single intake of this radionuclide, takes place over tens of years. It means during first year after ^{90}Sr intake into body, only a relatively small part of the dose is realized, while a significant part of this dose is formed during the rest of life. In fact, the expected effective dose of internal exposure is meant. According to the recommendations and practice of ICRP [28], it is considered that annual expected effective internal dose from ^{90}Sr received in the year of strontium radionuclide intake.

If the results of radionuclide ^{90}Sr concentration in milk samples measurements in the passported settlements are available in the current year (at least 2 combined samples), the annual expected effective dose of internal radiation from ^{90}Sr is calculated according to the formula:

where $E_{\text{Sr}}^{\text{int}}$ — is dose coefficient of ICRP of internal exposure from ^{90}Sr for adults, defined as the effective dose per unit of oral radioactivity intake, $E_{\text{Sr}}^{\text{int}} = 2,8 \cdot 10^{-2}$ $\mu\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ [28]; c_{Sr}^m — is the average concentration of ^{90}Sr in milk samples in the passported settlements, $\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ (Fig. 6); ME_{Sr} — is strontium milk equivalent for representatives of the critical group, which value is estimated as 1.6 L \cdot day $^{-1}$ for all settlements of ZU(O)R and ZGVR [3].

When the number of ^{90}Sr concentration measurements in milk samples in current year is absent or insufficient for formula (10) application, the internal radiation dose from ^{90}Sr can be calculated

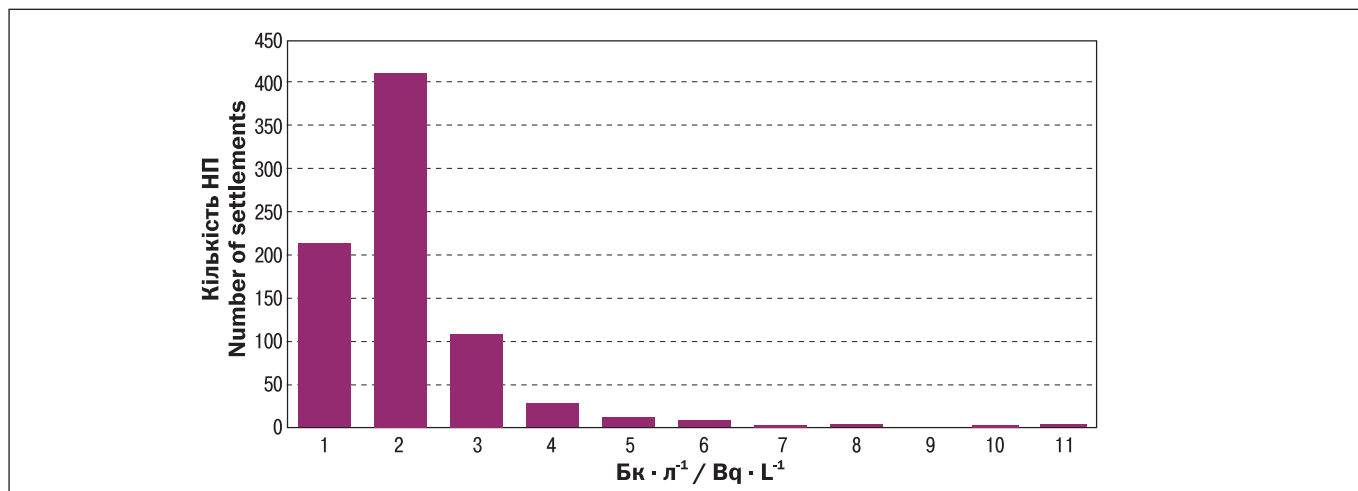


Рисунок 6. Розподіл концентрації радіонукліда ⁹⁰Sr у молоці приватних господарств у НП ЗБ(0)В та ЗГДВ за результатами дозиметричної паспортизації 2011 р.

Figure 6. Distribution of ⁹⁰Sr concentration in private farms milk from the settlements of ZU(0)R and ZGVR according to the results of dosimetric passportization in 2011

користанням коефіцієнтів переходу «грунт–молоко» за формулою:

using the «soil–milk» transfer factors according to the formula:

$$D_{Sr}^{int} = 365 \cdot E_{Sr}^{int} \cdot TF_{Sr} \cdot ME_{Sr} \cdot \sigma_{Sr}^{86} \cdot k_{Sr} \quad (11)$$

де TF_{Sr} – коефіцієнт переходу «грунт–молоко» стронцію у даному НП, Bq · l⁻¹ на kBq · м⁻² (рис. 7); σ_{Sr}^{86} – щільність випадень ⁹⁰Sr на ґрунті НП, що паспортизується, у 1986 р., kBq · м⁻²; k_{Sr} – коригуючий коефіцієнт, який враховує радіоактивний розпад ⁹⁰Sr після 1986 р., б/р (табл. 4).

where TF_{Sr} – is strontium «soil–to–milk» transfer factor in the settlement, Bq · L⁻¹ per kBq · m⁻² (Fig. 7); σ_{Sr}^{86} – is ⁹⁰Sr ground fallout density in the settlement passported in 1986, kBq · m⁻²; k_{Sr} – is correction factor, which takes into account the ⁹⁰Sr radioactive decay after 1986, unitless (Table 4).

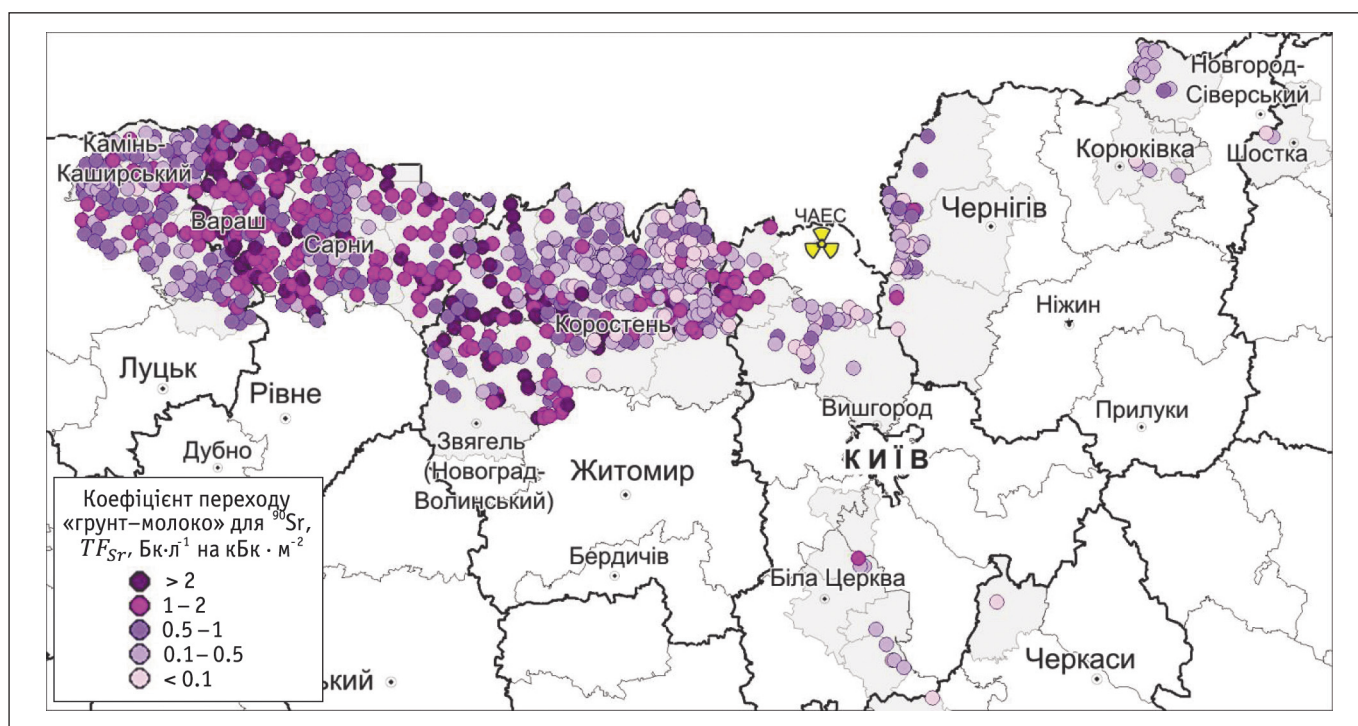


Рисунок 7. Карта розподілу коефіцієнта переходу радіонукліда ⁹⁰Sr з ґрунту в молоко у 2005–2013 рр. у НП ЗБ(0)В та ЗГДВ

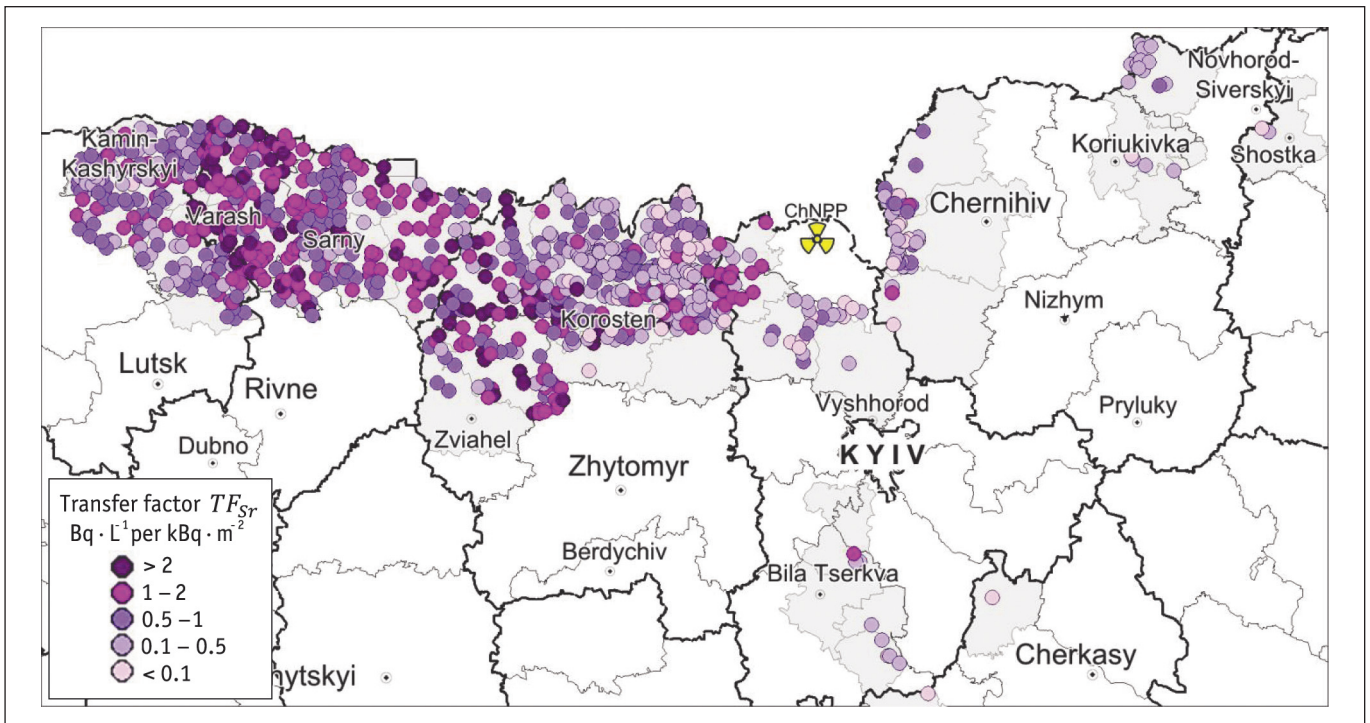


Figure 7. Distribution map of the ^{90}Sr «soil–milk» transfer factor for the settlements of ZU(0)R and ZGVR in 2005–2013

Таблиця 4

Значення коефіцієнта k_{Sr} для різних років після аварії на ЧАЕС

Table 4

Values of correction factor k_{Sr} for different years after the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant

Рік / Year	k_{Sr}
2023	0,41
2024	0,40
2025	0,39
2026	0,38
2027	0,37
2028	0,36
2029	0,36
2030	0,35

Коефіцієнт переходу TF_{Sr} у формулі (11) визначається як відношення середньої концентрації ^{90}Sr у пробах молока, відібраних в даному НП, до щільності забруднення ґрунту цього ж НП ^{90}Sr у 1986 р., При розрахунку TF_{Sr} використовувалась максимальна середньорічна концентрація радіонукліда ^{90}Sr у пробах молока, отриманих за результатами радіоекологічного моніторингу попередніх років (2005, 2006, 2007, 2008, 2011, 2012 та 2013) у даному НП [10–14].

Transfer factor TF_{Sr} in formula (11) is defined as the ratio of average ^{90}Sr concentration in milk samples taken in the settlement to the ^{90}Sr ground fall-out density in 1986 at some settlement. For calculating TF_{Sr} , the maximum annual ^{90}Sr concentration in milk samples obtained from the results of radioecological monitoring of previous years (2005, 2006, 2007, 2008, 2011, 2012 and 2013) in this settlement is used [10–14].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Нова методика, або Методика-2023 дозиметричної паспортизації НП України описує алгоритм розрахунку паспортної дози НП. Вона враховує сучасну радіоекологічну ситуацію на РЗТ та накопичений за останні десятиріччя науковий досвід у сфері дози-

RESULTS AND DISCUSSION

The new methodology, or Methodology-2023, of dosimetric passporting of settlements of Ukraine describes the algorithm for calculating the passport dose of settlements. It takes into account the current radioecological situation at the RCT and the

метрії та радіологічного захисту. Основні відмінності розробленої нової методики порівняно з розробленою майже 30 років тому Методикою-96 [3] полягають у наступному.

По-перше, Методика-2023 ґрунтується на результатах радіоекологічного і дозиметричного моніторингу, що проводилися на РЗТ у період 2005–2013 рр., тоді як за Методикою-96 паспортні дози оцінювались, виходячи з радіоекологічного стану постраждалих територій першого десятиріччя після аварії на ЧАЕС. Це, зрештою, призвело до того, що з часом у НП з відносно високим коефіцієнтом переходу радіонукліда ^{137}Cs з ґрунту в молоко (в основному це НП Волинської та Рівненської областей, див. рис. 5) Методика-96 завищувала паспортні дози, а у регіонах з відносно низьким коефіцієнтом переходу, навпаки – занижувала (табл. 5).

По-друге, у Методиці-2023 при розрахунку паспортної дози внутрішнього опромінення від ^{137}Cs пріоритет надається безпосередньо результатам ЛВЛ-вимірювань. У Методиці-96 результати ЛВЛ-вимірювань використовувались лише для контролю якості дозових оцінок. Це зумовило зміщення паспортних доз внутрішнього опромінення, розрахованих за Методикою-96 по відношенню до доз опромінення, обчислених за даними ЛВЛ-вимірювань, які наразі є найбільш достовірними. Наприклад, за даними загальнодозиметричної паспортизації 2011 р. [13], паспортні дози внутрішнього опромінення від ^{137}Cs у Волинській та Рівненській областях в середньому вдвічі перевищували дози, отримані за допомогою ЛВЛ-вимірювань у цих областях, а паспортні дози внутрішнього опромінення у Житомирській та Київській областях, навпаки, були в середньому у 1,6 раза менші за ЛВЛ-дози у цих регіонах (рис. 8).

Хоча у Методиці-2023 цезієві молочні еквіваленти (рис. 4) визначені таким чином, що дози внутрішнього опромінення від інкорпорованого ^{137}Cs , розраховані за даними ЛВЛ-вимірювань (6) та за даними молочного моніторингу (7), для більшості НП майже співпадають (рис. 9), у частині НП ці дози все ж таки суттєво відрізняються. Це пов'язано з тим, що у НП з високим цезієвим молочним еквівалентом більшість радіонуклідів ^{137}Cs надходять до організму людини не з молоком (яке є відносно чистим), а з іншими продуктами харчування, наприклад, з лісовими грибами та ягодами. Очевидно, що для таких НП формула розрахунку паспортної дози внутрішнього опромінення (7),

scientific experience accumulated over the past decades in the field of dosimetry and radiological protection. The main differences of the developed new methodology compared to the Methodology-96 [3] developed almost 30 years ago are as follows.

First, Methodology-2023 is based on the results of radioecological and dosimetric monitoring carried out at the RCT in the period 2005–2013, while passport doses according to Methodology-96 were estimated based on the radioecological condition of the affected areas in the first decade after the Chernobyl NPP accident. This ultimately led to the fact that, over time, Methodology-96 overestimated the passport doses in settlements with a relatively high rate of transfer coefficient of the ^{137}Cs radionuclide from soil to milk (mainly settlements of the Volyn and Rivne Oblasts, see Fig. 5), and in the regions with a relatively low rate of transfer coefficient, on the contrary, it was underestimated (Table 5).

Secondly, in Methodology-2023, when calculating the passport dose of internal exposure from ^{137}Cs , priority is given to direct results of WBC measurements. In Methodology-96, the results of WBC measurements were used only for quality control of dose estimates. This led to a shift in the passport doses of internal radiation, calculated according to Methodology-96, in relation to the radiation doses calculated according to WBC measurements, which are currently the most reliable. For example, according to general dosimetric passportisation data of 2011 [13], the passport doses of internal radiation from ^{137}Cs in Volyn and Rivne Oblasts on average twice exceeded the doses obtained using WBC measurements in these regions, and the passport doses of internal radiation in Zhytomyr and Kyiv Oblasts, on the contrary, were on average 1.6 times lower than WBC doses in these oblasts (Fig. 8).

Although cesium milk equivalents (Fig. 4) are defined in the Methodology-2023 in such a way that the passport doses of internal exposure from incorporated ^{137}Cs , calculated on the basis of WBC measurements (6) and on the basis of milk monitoring data (7), on average, coincide for all regions (Fig. 9), in the part of the settlements, these doses differ significantly. This is due to the fact that in settlements with a high rate of cesium milk equivalent, most of the ^{137}Cs radionuclides enter the human body with non-milk food products, for example, with wild mushrooms and berries, rather than with milk (which is relatively clean). It is obvious that the formulas for calculating the passport dose of internal exposure (7)–(9), which

Таблиця 5

Порівняння середніх паспортних доз внутрішнього ($D^{int,M2023}$, $D^{int,M96}$) та сумарного (D^{M2023} , D^{M96}) опромінення, розрахованих за даними моніторингу 2011 р. за Методикою-2023 та Методикою-96 відповідно

Район	Територіальна громада	Кількість паспорт. НП	^{137}Cs на ґрунті 1986 р., $\text{кБк} \cdot \text{м}^{-2}$	^{137}Cs в молоці 2011 р., $\text{Бк} \cdot \text{л}^{-1}$	$D^{int,M2023}$ мЗв	D^{M2023} мЗв	$D^{int,M2023}$ $D^{int,M96}$	D^{M2023} D^{M96}	
Волинська область (165 НП)									
Камінь-Каширський	Камінь-Каширська	54	25	30	0,18	0,22	0,77	0,86	
	Любешівська	41	20	24	0,12	0,16	0,67	0,79	
	Маневицька	35	27	38	0,19	0,24	0,56	0,65	
	Прилісненська	11	26	52	0,19	0,23	0,48	0,55	
	Сошиченська	12	34	28	0,17	0,24	0,79	0,92	
Луцький	Колківська	12	32	21	0,11	0,17	0,50	0,65	
Житомирська область (290 НП)									
Коростенський	Білокоровицька	3	129	7,4	0,12	0,36	1,48	1,64	
	Гладковицька	5	176	20	0,49	0,82	2,23	2,04	
	Горщиківська	4	155	2,5	0,10	0,39	2,01	1,77	
	Коростенська	17	257	21	0,17	0,65	1,52	1,59	
	Лугинська	35	190	15	0,21	0,56	2,23	1,83	
	Малинська	1	550	2,3	0,10	1,13	2,67	1,79	
	Народицька	36	239	15	0,28	0,72	2,79	1,94	
	Овруцька	60	141	18	0,34	0,60	2,17	1,91	
	Олевська	43	108	21	0,24	0,44	1,46	1,56	
	Словечанська	32	116	25	0,51	0,72	2,41	2,08	
Новоград-Волинський	Ушомирська	3	249	12	0,11	0,57	1,36	1,59	
	Барашівська	20	25	34	0,45	0,50	1,52	1,59	
	Городницька	7	42	11	0,15	0,23	1,52	1,58	
	Ємільчинська	18	68	29	0,37	0,50	1,54	1,63	
Білоцерківський	Чижівська	6	42	32	0,48	0,56	2,18	2,01	
	Київська область (28 НП)								
	Вишгородський	Гребінківська	1	352	1,0	0,12	0,78	2,86	1,85
		Рокитнянська	1	291	1,7	0,17	0,71	2,99	1,92
Таращанська		4	333	3,0	0,16	0,78	3,27	1,92	
Узинська		2	409	1,6	0,18	0,94	1,58	1,70	
Іванківська	Іванківська	17	125	15	0,60	0,84	2,78	2,38	
	Димерська	1	138	3,4	0,07	0,33	0,91	1,45	
Поліська	Поліська	2	96	17	0,71	0,89	4,64	3,16	
	Рівненська область (270 НП)								
Вараський	Антонівська	4	64	28	0,16	0,28	0,54	0,79	
	Вараська	17	61	39	0,23	0,34	0,59	0,78	
	Володимирецька	20	71	28	0,19	0,32	0,65	0,88	
	Зарічненська	30	70	63	0,34	0,47	0,79	0,94	
	Каноницька	5	80	16	0,10	0,25	0,51	0,85	
	Локницька	20	69	38	0,21	0,34	0,80	1,00	
	Полицька	8	53	14	0,11	0,20	0,51	0,77	
	Рафалівська	7	51	12	0,09	0,19	0,49	0,76	
Сарненський	Березівська	10	59	110	0,54	0,65	0,71	0,80	
	Вирівська	12	59	52	0,20	0,31	0,62	0,78	
	Висоцька	9	131	13	0,23	0,47	1,86	1,76	
	Дубровицька	39	93	15	0,16	0,33	1,13	1,37	
	Клесівська	6	102	103	0,30	0,49	0,44	0,61	
	Миляцька	9	133	57	0,46	0,70	1,30	1,40	
	Немовицька	6	59	26	0,13	0,24	0,56	0,83	
	Рокитнівська	25	94	27	0,19	0,37	1,29	1,36	
	Сарненська	30	54	27	0,12	0,22	0,53	0,81	
	Старосільська	4	96	338	1,03	1,21	0,43	0,49	
	Степанська	9	33	5,7	0,05	0,11	0,51	0,86	
Сумська область (2 НП)									
Шосткинський	Шосткинська	2	127	6,3	0,11	0,35	1,77	1,75	
Черкаська область (4 НП)									
Звенигородський	Ватутінська	1	352	1,0	0,06	0,72	4,18	1,83	
	Звенигородська	1	262	1,0	0,06	0,55	4,18	1,85	
	Лисянська	1	344	1,0	0,06	0,70	4,82	1,84	
Черкаський	Бобринська	1	232	1,0	0,06	0,49	4,18	1,87	
Чернівецька область (1 НП)									
Чернівецький	Веренчанська	1	227	5,2	0,15	0,57	3,68	2,02	
Чернігівська область (42 НП)									
Корюківський	Корюківська	1	53	20	0,08	0,18	0,57	0,89	
	Сосницька	1	145	7,3	0,28	0,55	4,56	2,54	
Новгород-Сіверський	Семенівська	5	83	21	0,33	0,48	2,14	1,98	
Чернігівський	Гончарівська	5	45	18	0,36	0,44	2,04	1,97	
	Деснянська	5	45	6,7	0,12	0,21	1,44	1,59	
	Дніпровська	1	62	13	0,35	0,47	3,03	2,55	
	Любецька	10	167	7,1	0,18	0,49	2,14	1,89	
	Михайло-Коцюбинська	12	89	13	0,11	0,28	1,23	1,40	
	Ріпкинська	2	32	5,1	0,12	0,18	2,17	2,02	
НП, у яких в 2011 році не проводився радіаційний моніторинг (125 НП)									

Table 5

Comparison of average passport doses of internal ($D^{int,M2023}$, $D^{int,M96}$) and total (D^{M2023} , D^{M96}) exposure, calculated by Methodology-2023 and Methodology-96 according to the results of monitoring in 2011

Raion	Local community (hromada)	Number of settlements	^{137}Cs in the soil 1986, kBq · m ⁻²	^{137}Cs in milk 2011 p., Bq · L ⁻¹	$D^{int,M2023}$ mSv	D^{M2023} mSv	$D^{int,M2023}$ / $D^{int,M96}$	D^{M2023} / D^{M96}
Volyn Oblast (165 settlements)								
Kamin-Kashyrskiy	Kamin-Kashirska	54	25	30	0,18	0,22	0,77	0,86
	Lyubeshivska	41	20	24	0,12	0,16	0,67	0,79
	Manevytska	35	27	38	0,19	0,24	0,56	0,65
	Prilisenenska	11	26	52	0,19	0,23	0,48	0,55
	Soshichnenska	12	34	28	0,17	0,24	0,79	0,92
Lutskiy	Kolkivska	12	32	21	0,11	0,17	0,50	0,65
Zhytomyr Oblast (290 settlements)								
Korostenskiy	Bilokorovytska	3	129	7,4	0,12	0,36	1,48	1,64
	Hladkovytska	5	176	20	0,49	0,82	2,23	2,04
	Horshchikivska	4	155	2,5	0,10	0,39	2,01	1,77
	Korostenska	17	257	21	0,17	0,65	1,52	1,59
	Luginska	35	190	15	0,21	0,56	2,23	1,83
	Malinska	1	550	2,3	0,10	1,13	2,67	1,79
	Narodytska	36	239	15	0,28	0,72	2,79	1,94
	Ovrutska	60	141	18	0,34	0,60	2,17	1,91
	Olevska	43	108	21	0,24	0,44	1,46	1,56
	Slovehanska	32	116	25	0,51	0,72	2,41	2,08
	Ushomirska	3	249	12	0,11	0,57	1,36	1,59
Novohrad-Volynskiy	Barashivska	20	25	34	0,45	0,50	1,52	1,59
	Horodnytska	7	42	11	0,15	0,23	1,52	1,58
	Yemilchynska	18	68	29	0,37	0,50	1,54	1,63
	Chizhivska	6	42	32	0,48	0,56	2,18	2,01
Kyiv Oblast (28 settlements)								
Bilotserkiyivskiy	Hrebinkivska	1	352	1,0	0,12	0,78	2,86	1,85
	Rokytnianska	1	291	1,7	0,17	0,71	2,99	1,92
	Taraschanska	4	333	3,0	0,16	0,78	3,27	1,92
	Uzynska	2	409	1,6	0,18	0,94	1,58	1,70
Vyshgorodskiy	Ivankivska	17	125	15	0,60	0,84	2,78	2,38
	Dymerska	1	138	3,4	0,07	0,33	0,91	1,45
	Poliska	2	96	17	0,71	0,89	4,64	3,16
Rivne Oblast (270 settlements)								
Varaskiy	Antonivska	4	64	28	0,16	0,28	0,54	0,79
	Varaska	17	61	39	0,23	0,34	0,59	0,78
	Volodymyretska	20	71	28	0,19	0,32	0,65	0,88
	Zarichnenska	30	70	63	0,34	0,47	0,79	0,94
	Kanonytska	5	80	16	0,10	0,25	0,51	0,85
	Loknytska	20	69	38	0,21	0,34	0,80	1,00
	Politska	8	53	14	0,11	0,20	0,51	0,77
	Rafalivska	7	51	12	0,09	0,19	0,49	0,76
Sarnenskiy	Berezivska	10	59	110	0,54	0,65	0,71	0,80
	Vyryvska	12	59	52	0,20	0,31	0,62	0,78
	Vysotska	9	131	13	0,23	0,47	1,86	1,76
	Dubrovyska	39	93	15	0,16	0,33	1,13	1,37
	Klesivska	6	102	103	0,30	0,49	0,44	0,61
	Myliatska	9	133	57	0,46	0,70	1,30	1,40
	Nemovytska	6	59	26	0,13	0,24	0,56	0,83
	Rokytnivska	25	94	27	0,19	0,37	1,29	1,36
	Sarnenska	30	54	27	0,12	0,22	0,53	0,81
	Starosilska	4	96	338	1,03	1,21	0,43	0,49
	Stepanska	9	33	5,7	0,05	0,11	0,51	0,86
Sumy Oblast (2 settlements)								
Shostkinskiy	Shostkinska	2	127	6,3	0,11	0,35	1,77	1,75
Cherkasy Oblast (4 settlements)								
Zvenihorodskiy	Vatutinska	1	352	1,0	0,06	0,72	4,18	1,83
	Zvenihorodska	1	262	1,0	0,06	0,55	4,18	1,85
	Lysiyska	1	344	1,0	0,06	0,70	4,82	1,84
Cherkaskiy	Bobrytska	1	232	1,0	0,06	0,49	4,18	1,87
Chernivtsi Oblast (1 settlements)								
Chernivetskiy	Verenchanska	1	227	5,2	0,15	0,57	3,68	2,02
Chernihiv Oblast (42 settlements)								
Koriukivskiy	Koriukivska	1	53	20	0,08	0,18	0,57	0,89
	Sosnytska	1	145	7,3	0,28	0,55	4,56	2,54
Novhorod-Siverskiy	Semenivska	5	83	21	0,33	0,48	2,14	1,98
Chernihivskiy	Honcharivska	5	45	18	0,36	0,44	2,04	1,97
	Desnianska	5	45	6,7	0,12	0,21	1,44	1,59
	Dniprovskya	1	62	13	0,35	0,47	3,03	2,55
	Liubetska	10	167	7,1	0,18	0,49	2,14	1,89
	Mykhailo-Kotsiubynska	12	89	13	0,11	0,28	1,23	1,40
	Ripkynska	2	32	5,1	0,12	0,18	2,17	2,02
Settlements in which radiation monitoring was not carried out in 2011 (125 settlements)								

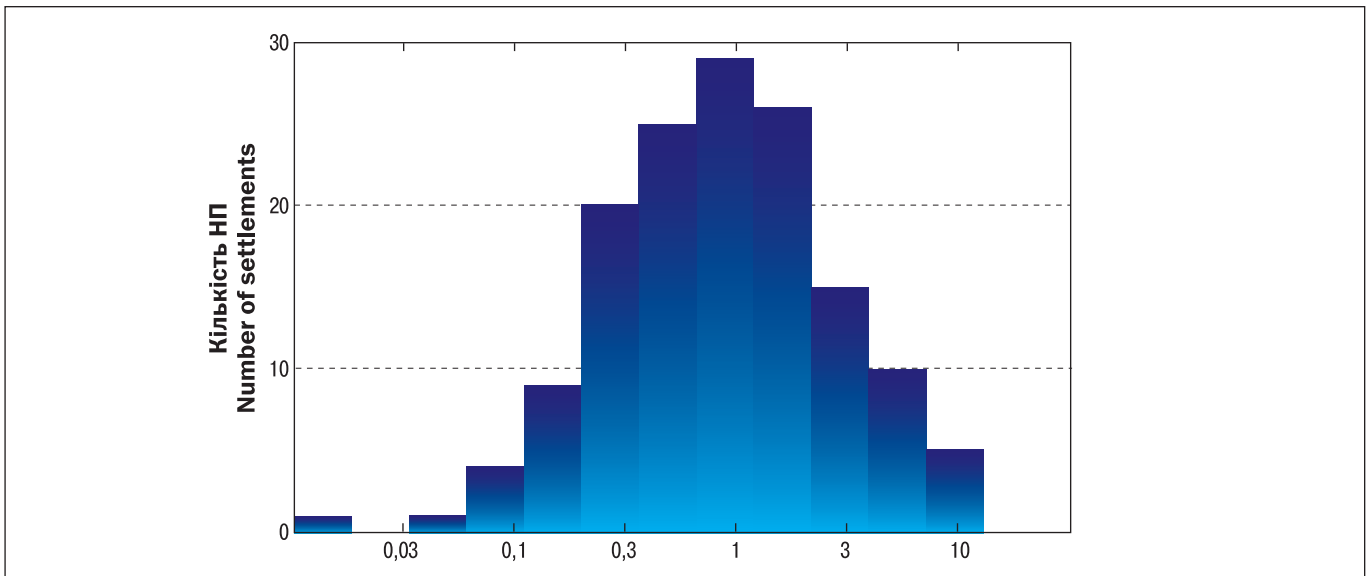


Рисунок 8. Відношення доз внутрішнього опромінення від інкорпорованого ^{137}Cs , розрахованих за даними ЛВЛ вимірювань 2011 р., до паспортних доз внутрішнього опромінення за 2011 р. для НП Київської та Житомирської областей

Figure 8. The ratio of passport doses of internal radiation from incorporated ^{137}Cs to internal doses calculated using WBC measurement data (for settlements of Kyiv and Zhytomyr Oblasts, 2011 year)

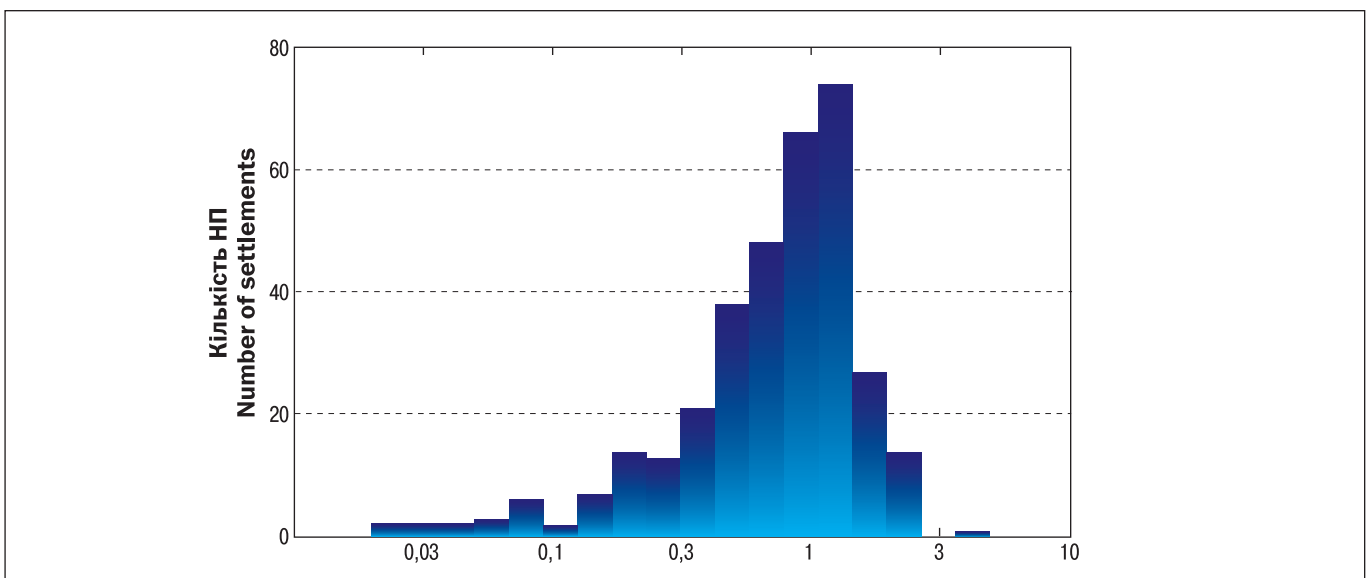


Рисунок 9. Відношення доз внутрішнього опромінення від інкорпорованого ^{137}Cs , розрахованих за формулами (6) та (7), (за даними ЛВЛ- та молочного моніторингу 2011 р.)

Figure 9. The ratio of passport doses of internal exposure from incorporated ^{137}Cs , calculated using the equations (6) and (7) (by the results of WBC and milk monitoring in 2011)

яка базується на результатах вимірювання концентрації радіонуклідів ^{137}Cs у пробах молока та використовує молочний еквівалент, не є релевантною. У населених пунктах, де цезієвий молочний еквівалент перевищує 3 л на добу (рис. 4), для отримання релевантних оцінок паспортних доз внутрішнього опромінення необхідно проводити дозиметричний моніторинг за допомогою лічильників випромінювання людини, а дози розраховувати за формулою (6).

are based on the results of measuring the concentration of radionuclide ^{137}Cs in milk samples and use the milk equivalent, are obviously not relevant for such settlements. Dosimetric monitoring in settlements where the cesium milk equivalent exceeds 3 L per day (Fig. 4) should be carried out using whole body counters to obtain relevant estimates of passport doses of internal radiation, and doses should be calculated according to formula (6).

По-третє, у Методиці-96 паспортна доза визначалась як середньозважене індивідуальних доз усіх мешканців НП. У Методиці-2023 паспортна доза визначається як доза опромінення репрезентативної особи [35], тобто доза, що отримують особи, які зазнали найбільшого опромінення серед мешканців НП, за винятком осіб, які мають рідкісні звички. У випадку зовнішнього опромінення до критичної групи належать особи, зайняті у сільськогосподарських роботах, а у випадку внутрішнього опромінення – особи, доза яких відповідає 95 % квантилю розподілу доз опромінення дорослих мешканців даного НП. Тобто, на відміну від паспортної дози, розрахованої за Методикою-96, паспортна доза населеного пункту, розрахована за Методикою-2023, буде відповідати вимогам Статті 18 Закону України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання» [35].

Рисунок 10 демонструє розподіл доз внутрішнього опромінення від інкорпорованого ^{137}Cs мешканців с. Рагівка Поліської громади Вишгородського району Київської області за даними ЛВЛ-вимірювань 2001 р. Зелена вертикальна лінія відповідає паспортній дозі внутрішнього опромінення цього НП (1 мЗв), розрахованій за Методикою-96, а червона лінія – дозі (3 мЗв), розрахованій за Методикою-2023. Тобто, якщо говорити про внутрішнє опромінення, то у 2001

Thirdly, the passport dose was determined in Methodology-96 as a weighted average of the individual doses of all residents of the settlement. The passport dose in Methodology-2023 is determined as exposure dose of a representative person [35], i.e., the dose received by persons who have experienced the greatest exposure among the residents of the settlement, with the exception of persons with rare habits. In the case of external exposure, the critical group includes persons engaged in agricultural work. In the case of internal exposure, the critical group includes persons whose dose corresponds to the 95% quantile of the dose distribution of adult residents in certain settlement. Thus, the passport dose of a settlement, calculated according to Methodology-2023, will meet the requirements of Article 18 of the Law of Ukraine «On the protection of humans from the effects of ionizing radiation» [35], unlike the passport dose calculated according to Methodology-96.

Figure 10 shows the distribution of doses of internal exposure from incorporated ^{137}Cs for residents of Rahivka of Poliska local community (hromada) of Vyshgorod raion of Kyiv Oblast according to WBC measurements in 2001. The green vertical line corresponds to the passport dose of internal exposure of mentioned settlement (1 mSv), calculated according to Methodology-96, and the red line – passport dose (3 mSv), calculated according to Methodology-2023.

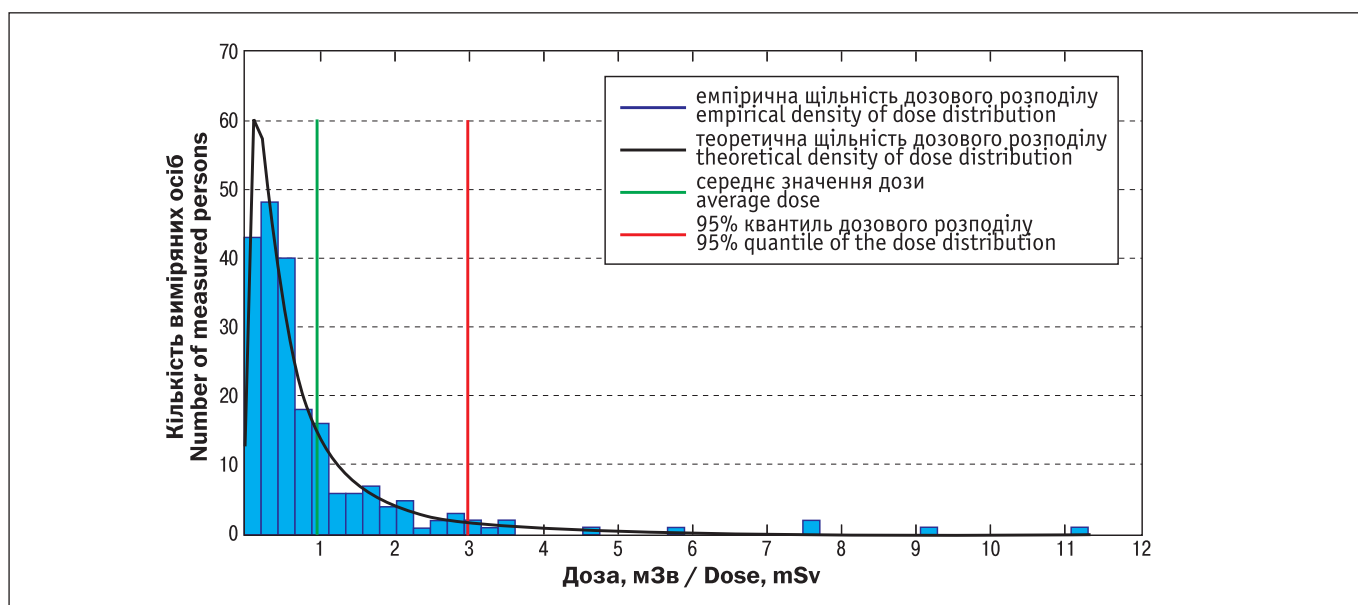


Рисунок 10. Розподіл індивідуальних доз внутрішнього опромінення від інкорпорованого ^{137}Cs мешканців с. Рагівка Поліської громади Вишгородського району Київської області (за даними ЛВЛ-вимірювань 2001 р.)

Figure 10. Distribution of individual doses of internal exposure from incorporated ^{137}Cs for residents of the village Rahivka (Poliska local community of Vyshgorodskyi raion of Kyiv Oblast), according to WBC-measurements made in 2001

р. індивідуальні дози майже половини мешканців с. Рагівка перевищували паспортну дозу цього НП, а максимальна індивідуальна доза перевищувала паспортну майже в 11 разів. Якби у 2001 р. паспортна доза розраховувалася за Методикою 2023 (червона лінія), то 95 % індивідуальних доз опромінення жителів с. Рагівка не перевищували б паспортну дозу, а максимальна індивідуальна доза перевищувала б паспортну не більше ніж у 4 рази.

На рисунку 11 представлено порівняння результатів розрахунку паспортних доз 2011 р. населених пунктів ЗБ(О)В та ЗДГВ. за Методикою-2023 та Методикою-96. Саме у цьому році було проведено найбільш масовий за попередні десять років еколого-дозиметричний моніторинг НП, постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС [13]. Було виконано близько 24 тис. вимірювань концентрації ¹³⁷Cs та 3,8 тис. вимірювань концентрації ⁹⁰Sr у пробах молока та картоплі з приватних господарств 1977 НП. При цьому якість вимірювань забезпечувалась ретельним відбором та підготовкою проб, суворим дотриманням методики вимірювань і додатковим зовнішнім контролем якості.

Паспортні дози НП, розраховані за Методикою-2023, в середньому збільшились на 40 % порівняно з дозами, розрахованими за Методи-

So, concerning the internal exposure, the individual doses of almost half of the residents of Rahivka exceeded the passport dose of that settlement in 2001, and the maximum individual dose exceeded the passport dose almost 11 times. If the passport dose was calculated in 2001 according to Methodology 2023 (red line), 95% of the individual radiation doses of Ragivka residents would not exceed the passport dose, and the maximum individual dose would exceed the passport dose no more than 4 times.

During the ten-year period since 2002 the most massive ecologo-dosimetric monitoring of settlements affected by the accident at the Chernobyl nuclear power plant was carried out in 2011. About 24,000 measurements of ¹³⁷Cs activity and 3,800 measurements of ⁹⁰Sr activity in milk and potato samples from private farms located in 1,977 settlements were performed. At the same time, the quality of the measurements was ensured by careful selection and preparation of samples, strict adherence to the measurement methodology and additional external quality control. Figure 11 shows a comparison of the results of the calculation of passport doses in 2011 for settlements of ZU(O)R and ZGVR by Methodology-2023 and Methodology-96.

Passport doses for settlements calculated by Methodology-2023 increased on average by 40% com-

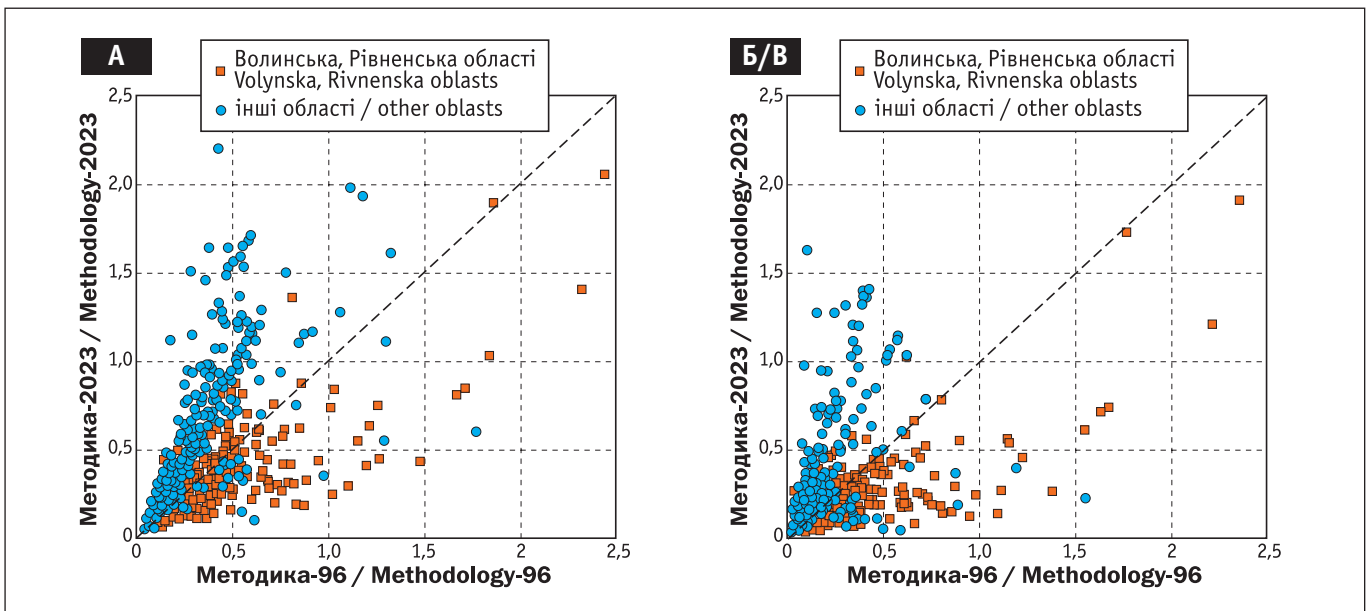


Рисунок 11. Співвідношення паспортних доз 2011 р. населених пунктів України, що належать до ЗБ(О)В та ЗДГВ, розрахованих за Методикою-2023 та Методикою-96

А – сумарна (внутрішня та зовнішня) паспортна доза; Б – паспортна доза внутрішнього опромінення.

Figure 11. Ratio of passport doses in 2011 for Ukrainian settlements belonging to ZU(O)R and ZGVR, calculated by Methodology-2023 and Methodology-96

А – total (internal and external) passport dose; Б – passport dose of internal exposure

кою-96 [13]. При цьому паспортні дози внутрішнього опромінення, розраховані за новою методикою, збільшилися в середньому в півтора раза, а дози зовнішнього опромінення – у 1,7 раза. Характер відмінностей паспортної дози НП суттєво залежить від регіону: у регіонах з відносно високим коефіцієнтом переходу радіонукліда ¹³⁷Cs з ґрунту в молоко (Волинська та Рівненська області) сумарна паспортна доза в середньому практично не змінилась, а в регіонах з відносно низьким коефіцієнтом переходу (решта областей) – збільшилась майже вдвічі (табл. 5). В зв'язку з цим, кількість НП, у яких в 2011 р. паспортна доза, розрахована за Методикою-2023, перевищувала встановлену законом норму 1 мЗв збільшилась до 71 (табл. 6), причому більшість з цих НП розташовані у Житомирській та Київській областях (рис. 12). Зауважимо, що за даними останніх дозиметричних паспортизацій 2011–2013 рр. [46] налічувалося лише 36 населених пунктів (9 з Житомирської області та 27 з Рівненської) з дозою понад 1 мЗв.

pared to doses calculated by Methodology-96 [13]. At the same time, passport doses of internal exposure calculated according to the new methodology increased on average in 1.5 times, doses of external radiation – in 1.7 times. The nature of the differences in the passport dose of settlements significantly depends on the region. The total passport dose did not change on average in regions with a relatively high transfer coefficient of ¹³⁷Cs from soil to milk (Volyn and Rivne Oblasts); that dose almost doubled in regions with a relatively low transfer coefficient (the rest of the oblasts) – (Table 5). In this regard, the number of settlements in which in 2011 the passport dose, calculated by Methodology-2023, exceeded the legally established limit of 1 mSv increased to 71 (Table 6), and most of these settlements are located in Korostenskyi raion of Zhytomyr Oblasts (Fig. 12) Note that there were only 36 settlements (9 from Zhytomyr Oblast and 27 from Rivne Oblast) with a dose of more than 1 mSv, according to the data of the latest dosimetric passportizations of 2011–2013 [46].

Таблиця 6

Перелік населених пунктів, де у 2011 р. паспортна доза, розрахована згідно з Методикою-2023, перевищувала 1 мЗв

Територіальна громада	Кількість НП	Перелік населених пунктів
Житомирська область, Коростенський район (46 НП)		
Коростенська	2	Вороневе, Немирівка
Лугинська	4	Малахівка, Радогоща, Рудня-Жеревці, Рудня-Повчанська
Малинська	1	Рудня-Калинівка
Народицька	23	Базар, Батьківщина, Булів, Васьківці, Великі Мінки, Ганнівка, Голубівечі, Журавлінка, Заводне, Калинівка, Карпилівка, Колосівка, Листвинівка, Лозниця, Любарка, Народичі, Ноздрище, Осика, Ровба, Розсохівське, Рудня-Базарська, Селець, Христинівка
Овруцька	10	Бірківське, Виступовичі, Думинське, Збраньківці Мощаниця, Поліське, Рудня (Ігнатпільська), Рудня (Руднянська), Черепин, Черепинки
Олевська	2	Діброва, Дружба
Словечанська	4	Возлякове, Кошечки, Рокитне, Червоносілка
Київська область, Білоцерківський район (1 НП)		
Узинська	1	Павлівка
Київська область, Вишгородський район (9 НП)		
Іванківська	8	Воропаївка, Карпилівка, Лапутьки, Медвин, Піски, Рокитна Слобода, Рудня-Шпилівська, Страхолісся
Поліська	1	Мар'янівка
Рівненська область, Вараський район (5 НП)		
Зарічненська	2	Бір, Парська
Локницька	3	Дубчиці, Прикладники, Сенчиці
Рівненська область, Сарненський район (7 НП)		
Березівська	1	Грабунь
Дубровицька	2	Загребля, Різки
Старосільська	4	Вежиця, Дроздинь, Переходичі, Старе Село
Чернігівська область, Корюківський район (1 НП)		
Корюківська	1	Озереди
Чернігівська область, Чернігівський район (2 НП)		
Михайло-Коцюбинська	2	Конюшівка, Північне

Table 6

List of settlements where in 2011 the passport dose, calculated by Methodology-2023, exceeded 1 mSv

Local community (hromada)	Number of settlements	List of settlements
Zhytomyr Oblast, Korostenskyi raion (46 settlements)		
Korostenska	2	Voroneve, Nemyrivka
Luhynska	4	Malakhivka, Radohoshcha, Rudnia-Zherevtsi, Rudnia-Povchanska
Malynska	1	Rudnia-Kalynivka
Narodytska	23	Bazar, Batkivshchyna, Bulyv, Vaskivtsi, Velyki Minky, Hannivka, Golubievichi, Zhuravlynka, Zavodne, Kalinivka, Karpylivka, Kolosivka, Lystvynivka, Loznytisia, Lyubarka, Narodychi, Nozdryshche, Osyka, Rovba, Rozsohivske, Rudnia-Bazarska, Selets, Khrystynivka
Ovrutska	10	Birkivske, Vystupovichi, Dumynske, Zbrankivtsi, Moshanytsia, Poliske, Rudnya (Ignatpilska), Rudnia (Rudnyanska), Cherepin, Cherepinky
Olevska	2	Dibrova, Druzhba
Slovehanska	4	Vozlyakove, Koshechky, Rokytno, Chervonosilka
Kyiv Oblast, Bilotserkivskyi raion (1 settlements)		
Uzynska	1	Pavlivka
Kyiv Oblast, Vyshgorodskyi raion (9 settlements)		
Ivankivska	8	Voropaivka, Karpylivka, Laputky, Medvyn, Pisky, Rokytna Sloboda, Rudnia-Shpylivska, Straholissia
Poliska	1	Maryanivka
Rivne Oblast, Varaskyi raion (5 settlements)		
Zarichnenska	2	Bir, Parska
Loknytska	3	Dubchytisi, Prykladnyky, Senchytisi
Rivne Oblast, Sarnenskyi raion (7 settlements)		
Berezivska	1	Hrabun
Dubrovyska	2	Zahreblia, Rizky
Starosilska	4	Vezhitsa, Drozdyn, Perekhodichi, Stare Selo
Chernihiv Oblast, Koriukivskyi raion (1 settlements)		
Koriukivska	1	Ozeready
Chernihiv Oblast, Chernihivskyi raion (2 settlements)		
Mykhailo-Kotsiubynska	2	Konyushivka, Pivnichne

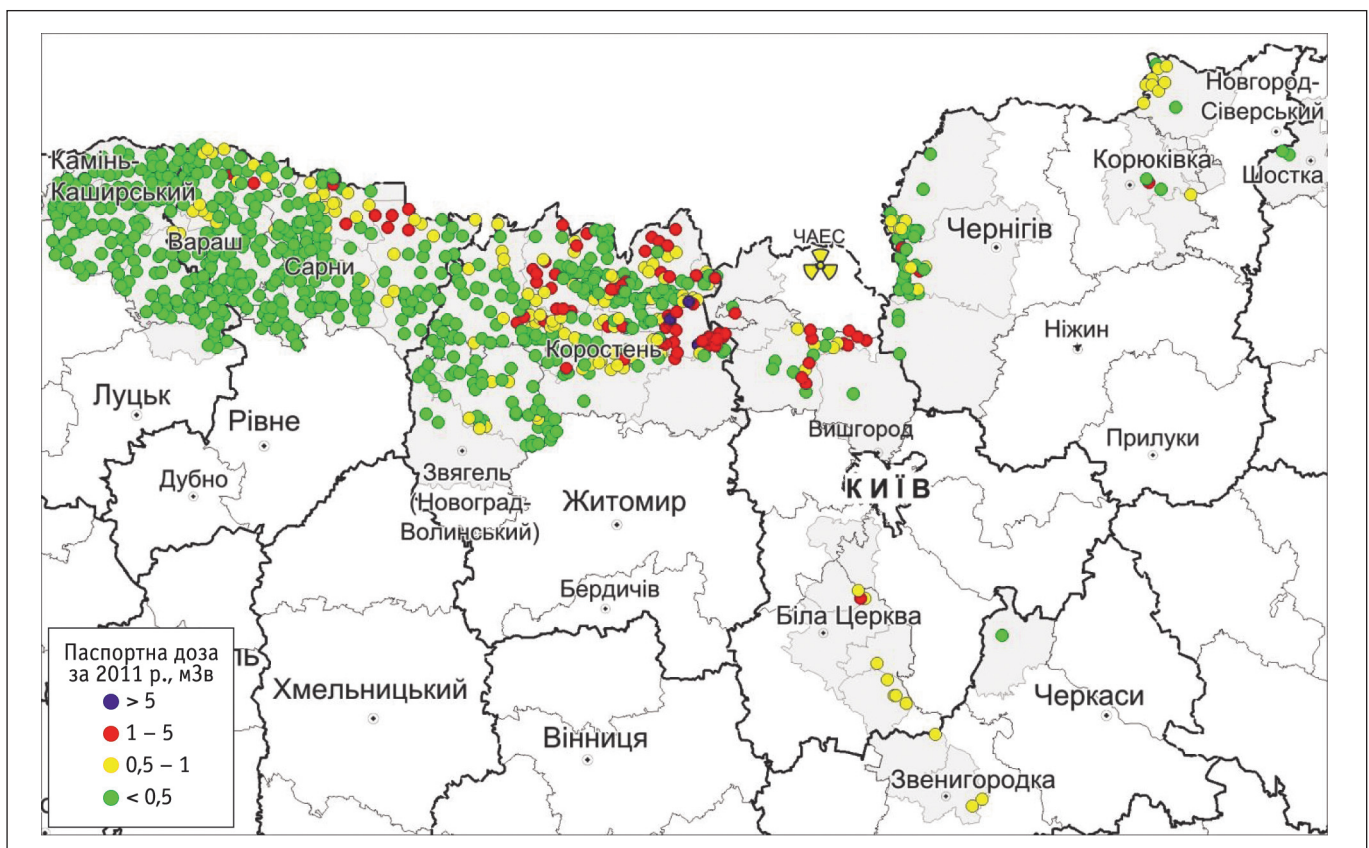


Рисунок 12. Карта паспортних доз 2011 р. населених пунктів України, що належать до ЗБ(0)В та ЗДГВ, розрахованих за Методикою-2023

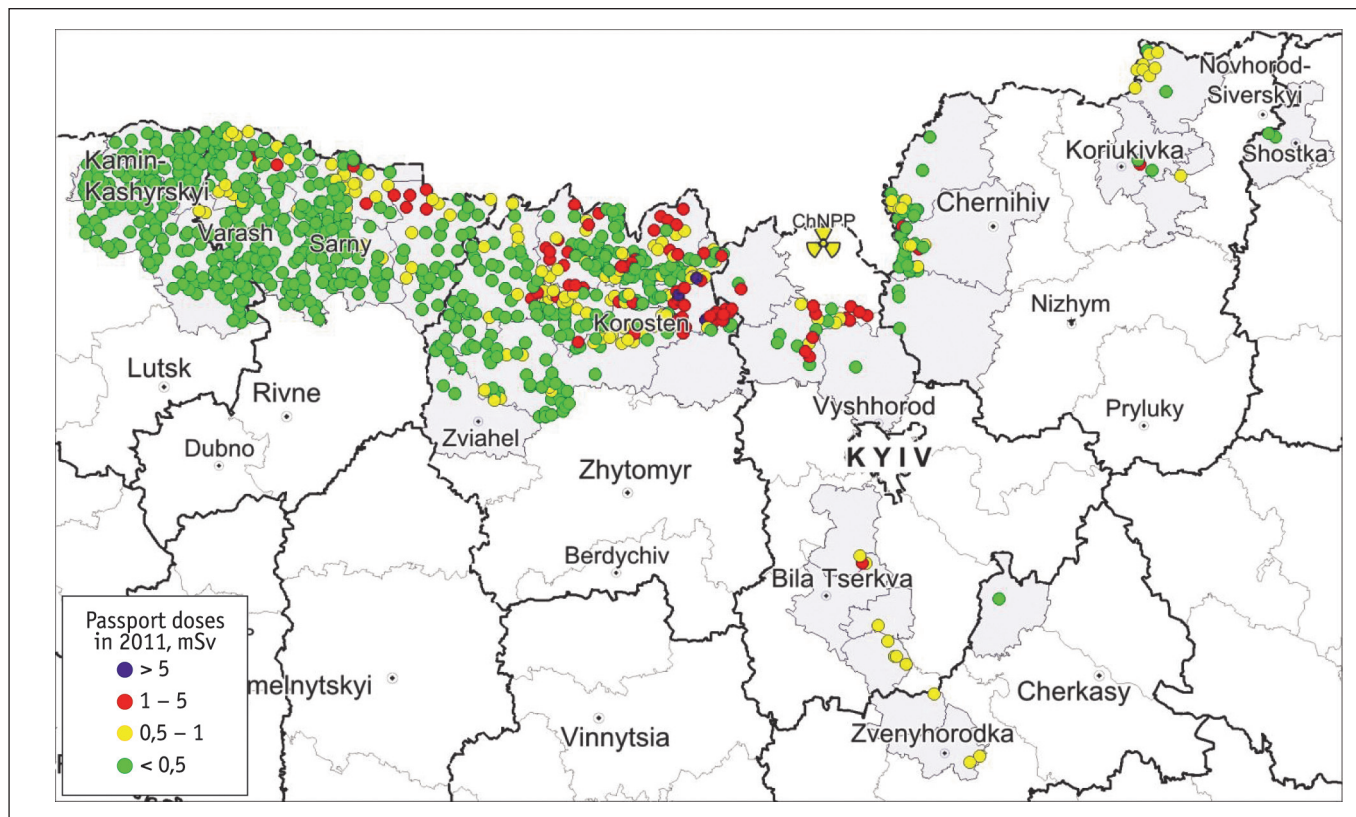


Figure 12. Map of passport doses in 2011 for Ukrainian settlements belonging to ZU(0)R and ZGVR, calculated by Methodology-2023

ВИСНОВКИ

Через більш ніж 37 років після аварії радіоекологічна ситуація на РЗТ кардинально змінилась. Унаслідок радіоактивного розпаду і процесів міграції радіонуклідів у ґрунті, рівні радіоактивного забруднення довкілля суттєво знизились. Завдяки цьому доза опромінення населення від чорнобильського радіоактивного викиду на більшій частині РЗТ не перевищує 1 мЗв на рік, хоча на окремих радіоактивно забруднених територіях України доза опромінення населення все ще може перевищувати допустимий рівень. Тому на цих територіях все ще необхідно проводити радіоекологічний та дозиметричний моніторинг і застосувати такі контрзаходи, як обмеження споживання харчових продуктів місцевого виробництва, лісових грибів та ягід тощо.

У теперішній час дози опромінення населення формуються переважно радіонуклідами ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr. Опромінення населення за рахунок інших радіонуклідів чорнобильського походження, зокрема плутонію та америцію, за межами зони відчуження є на порядок нижчим порівняно з опроміненням від радіонуклідів ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr, тому ним можна знехтувати.

У період 1991–2012 рр. паспортизація населених пунктів України здійснювалось відповідно до ви-

CONCLUSIONS

More than 37 years after the accident, the radioecological situation at RCT has changed radically. As a result of the radioactive decay and migration processes of radionuclides in the soil, the levels of radioactive contamination of the environment have significantly decreased. Thanks to this, doses to members of the public from the Chernobyl radioactive release on the most part of RCT does not exceed 1 mSv per year, although on the part of the radioactively contaminated territories of Ukraine the dose of exposure of members of the public may still exceed the permissible level. Therefore, on these territories, it is still necessary to conduct radioecological and dosimetric monitoring and apply such countermeasures as limiting the consumption of locally produced food products, forest mushrooms and berries, etc.

Currently, doses to members of the public are formed mainly by radionuclides ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr. Exposure of the population due to other radionuclides of Chernobyl origin, in particular plutonium and americium, outside the Exclusion Zone is an order of magnitude lower compared to exposure from radionuclides ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr, so it can be neglected.

In 1991–2012, dosimetric passportization of Ukrainian settlements was carried out in accordance

мог інструктивно-методичних вказівок «Радіаційно-дозиметрична паспортизація населених пунктів території України, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок аварії ЧАЕС, включаючи тиреодозиметричну паспортизацію» (Методика-96) від 12.11.1996 р., затверджених Міністром охорони здоров'я України. Дозиметричні моделі, покладені в основу цього документа, враховували радіаційну ситуацію, що мала місце у перші післяаварійні роки. Очевидно, що Методика-96 наразі не є релевантною. В першу чергу Методика-96 протирічить Закону України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання», у якому сказано, що для цілей перевірки дотримання ліміту річної дози опромінення населення повинна використовуватись оцінка ефективної річної дози опромінення для репрезентативної особи [35]. Крім того, нинішні співвідношення радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування та їхні коефіцієнти переходу «ґрунт–молоко» вже не відповідають значенням встановленим у Методиці-96. Нові дані щодо екологічних та біокінетичних моделей транспорту радіонуклідів чорнобильського викиду у довкіллі та організмі людини, що з'явились за останні десятиріччя, дозволяють уточнити дози опромінення мешканців радіоактивно забруднених територій.

У роботі обґрунтовано нову методику (Методика-2023) розрахунку паспортних доз населених пунктів України, що зазнали радіоактивного забруднення в результаті аварії на ЧАЕС. Ця методика може бути використана для визначення поточного радіаційного стану забруднених територій, які згідно із Законом України «Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення унаслідок Чорнобильської катастрофи» належать до другої зони безумовного (обов'язкового) відселення та третьої зони добровільного гарантованого відселення.

Паспортні дози 2011 р., розраховані за Методикою-2023 в середньому збільшились на 40% порівняно з дозами, розрахованими за Методикою-96. При цьому паспортні дози внутрішнього опромінення, розраховані за новою методикою, збільшилися в 1,5 раза, а дози зовнішнього опромінення – у 1,7 раза. Паспортна доза 2011 р., розрахована за Методикою-2023, перевищує встановлену законом норму 1 мЗв у 71 населеному пункті, більшість з яких розташована у Коростенському районі Житомирської області, тоді як

with the requirements of the instructional and methodological instructions «Radiation and dosimetric passportization of the settlements of Ukrainian territory which suffered from radioactive contamination as a consequence of the Chernobyl accident, including thyroid dosimetric passportization» (Methodology-96) dated November 12, 1996 approved by the Minister of Health of Ukraine. The dosimetric models, which are in the basis of this document, took into account the radioecological situation that occurred in the first post-accident years. It is obvious that Methodology-96 is currently not relevant. First of all, Methodology-96 contradicts the Law of Ukraine «On the Protection of Humans from the Effects of Ionizing Radiation», which states that for the purpose of checking compliance with the limit of the annual exposure dose to members of the public, an estimate of the effective annual exposure dose for a representative person should be used [35]. Moreover, now the ratio of ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides in food products and their «soil-vegetation» and «soil-milk» transfer coefficients no longer correspond to previously determined values. New data on ecological and biokinetic models of the transport of radionuclides of the Chernobyl emission in the environment and the human body, which were published over the last decades, provide opportunities for revision and clarification of the methods of estimating radiation doses of residents of radioactively contaminated areas.

The paper substantiates a new methodology (Methodology-2023) for calculating the passport doses of the settlements of Ukraine that were radioactively contaminated as a result of the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant. This methodology can be used to determine the current radiation status of the contaminated territories, which according to the Law of Ukraine «On the legal status of the areas radioactively contaminated by the Chernobyl disaster» belong to Zone of Unconditional (obligatory) Resettlement, or 2nd zone and Zone of Granted Voluntary Resettlement, or 3rd zone.

Passport doses in 2011, calculated by Methodology-2023, on average increased by 40 % compared to the doses calculated by Methodology-96. At the same time, passport doses of internal radiation calculated according to the new methodology increased in 1.5 times, and external radiation doses increased in 1.7 times. The passport dose in 2011, calculated by Methodology-2023, exceeds the legally established limit of 1 mSv in 71 settlements, most of which are located in Korostenskyi raion of Zhytomyr Oblast, while according to

за даними останніх дозиметричних паспортизацій 2011–2013 рр. налічувалося лише 9 НП з Житомирської області та 27 НП з Рівненської області з дозою понад 1 мЗв [46].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи : Закон України № 795-XII редакція від 01.10.23. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/791a-12> (дата звернення: 08.11.23).
2. Про організацію виконання постанов Верховної Ради Української РСР про порядок введення в дію законів Української РСР «Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи» та «Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи» Ж Постанова Кабінету Міністрів України № 106 редакція від 23.10.2008. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/106a-91-п> (дата звернення 08.11.23).
3. Інструктивно-методичні вказівки «Радіаційно-дозиметрична паспортизація населених пунктів території України, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС, включаючи тиреодозиметричну паспортизацію» (Методика-96). Київ, 1996. 74 с.
4. Дозиметрическая паспортизація населенных пунктов Украины, подвергшихся радиоактивному загрязнению после Чернобыльской аварии. Сборник 5. Киев : Минздрав Украины, 1995. 312 с.
5. Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії. Збірка 6. Київ : Міністерство охорони здоров'я України, Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, НЦПМ АМН України, 1997. 103 с.
6. Ретроспективно-прогнозна дози опромінення населення та загальнодозиметрична паспортизація 1997 р. населених пунктів України, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської аварії. Збірка 7. Київ : МОЗ України, 1998. 155 с.
7. Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії. Узагальнені дані за 1998 та 1999 рр. Збірка 8. Київ, 2000. 58 с.
8. Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії. Узагальнені дані за 1998, 1999 та 2000 рр. Збірка 9. Київ, 2001. 59 с.
9. Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії. Узагальнені дані за 2001–2004 рр. Комплексна дозиметрична паспортизація. Збірка 10. Київ, 2005. 57 с. URL: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/52/022/52022212.pdf (дата звернення 13.09.23).
10. Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильсь-

the latest dosimetric passportization in 2011–2013, there were only 9 settlements from Zhytomyr Oblast and 27 settlements from Rivne Oblast with passport dose of more than 1 mSv [46].

REFERENCES

1. [On legal status of the areas radioactively contaminated by the Chernobyl disaster]. The Law of Ukraine No. 791a-XII (February 27, 1991). URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/791a-12> (access date: 08.11.23). Ukrainian.
2. [About the organization of implementation of the resolutions of Verkhovna Rada of Ukrainian SSR on the procedure for the enactment of Laws of Ukrainian SSR «On legal regime of territories contaminated by the Chernobyl accident» and «On status and social protection of citizens affected by the Chernobyl accident»]. Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 106. (status on 1991 July 23). URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/106a-91-п> (access date: 08.11.23). Ukrainian.
3. [Instructions and practical policies «Radiation and dosimetric passportization of the settlements of Ukrainian territory which suffered from radioactive contamination as a consequence of the Chernobyl accident, including thyroid dosimetric passportization» (Methodology-96)]. Kyiv, 1996. 74 p. Ukrainian.
4. [Dosimetric passportization of Ukrainian settlements contaminated by Chernobyl accident]. Collection 5. Kyiv: Ministry of Health of Ukraine, 1995. 312 p. Russian.
5. [General dosimetric passportization of Ukrainian settlements exposed to radioactive contamination after the Chernobyl accident]. Collection 6. Kyiv: Ministry of Health of Ukraine, Ministry of Emergency Situations and Protection of the Population from the Consequences of the Chernobyl Disaster, National Center of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, 1997. 103 p. Ukrainian.
6. [Retrospective and prospective population exposure doses and general dosimetric passportization in 1997 of Ukrainian settlements contaminated as a consequence of the Chernobyl accident]. Collection 7. Kyiv: Ministry of Health of Ukraine, 1998. 155 p. Ukrainian.
7. [General dosimetric passportization of Ukrainian settlements contaminated as a consequence of the Chernobyl accident. Generalized data for 1998 and 1999]. Collection 8. Kyiv, 2000. 58 p. Ukrainian.
8. [General dosimetric passportization of Ukrainian settlements contaminated as a consequence of the Chernobyl accident. Generalized data for 1998, 1999 and 2000]. Collection 9. Kyiv, 2001. 59 p. Ukrainian.
9. [General dosimetric passportization of Ukrainian settlements contaminated as a consequence of the Chernobyl accident. Generalized data for 2001–2004]. Collection 10. Kyiv, 2005. 57 p. URL: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/52/022/52022212.pdf (access date: 13.09.23). Ukrainian.
10. [General dosimetric passportization of Ukrainian settlements contaminated as a consequence of the Chernobyl accident.

- кої аварії. Узагальнені дані за 2005–2006 рр. Збірка 11. Київ, 2007. 63 с.
11. Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії. Узагальнені дані за 2007 р. Збірка 12. Київ, 2008. 62 с.
 12. Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України, які зазнали радіоактивного забруднення після чорнобильської аварії. Узагальнені дані за 2008 р. Збірка 13. Київ, 2009. 58 с.
 13. Загальнодозиметрична паспортизація та результати ЛВЛ-моніторингу в населених пунктах України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської катастрофи. Дані за 2011 р. Збірка 14. Київ, 2012. 99 с. URL: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/52/022/52022270.pdf (дата звернення 13.09.23).
 14. Загальнодозиметрична паспортизація та результати ЛВЛ-моніторингу в населених пунктах України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської катастрофи. Дані за 2012 р. Збірка 15. Київ, 2013. 33с. URL : https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/52/022/52022215.pdf (дата звернення 13.09.23).
 15. Про додаткові заходи з відродження територій, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи, із соціального захисту постраждалих осіб, безпечного поводження з радіоактивними відходами : Указ Президента України № 196 від 05.07.2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/196/2018> (дата звернення 13.11.23).
 16. A consistent radionuclide vector after the Chernobyl accident / K. Muck et al. *Health Physics*. 2002. Vol. 82, no. 2. P. 141-156.
 17. Chernobyl accident: retrospective and prospective estimates of external dose of the population of Ukraine / I. A. Likharev, L. N. Kovgan, P. Jacob, L. R. Anspaugh. *Health Phys*. 2002. Vol. 82, no. 3. P. 290-303.
 18. Likharev I. A., Kovgan L. N., Vavilov S. E. Internal exposure from the ingestion of foods contaminated by ¹³⁷Cs after the Chernobyl accident. Report 2. Ingestion doses of the rural population of Ukraine up to 12 y after the accident (1986–1997). *Health Phys*. 2000. Vol. 79, no. 4. P. 341-357.
 19. Ковган Л., Ліхтарев І. Чорнобиль-орієнтований комплекс еколого-дозиметричних моделей та узагальнені оцінки доз опромінення населення України в результаті Чорнобильської аварії (1986–2000 рр.). *Ядерная и радиационная безопасность*. 2004. Т. 7, № 3. С. 13-25.
 20. Електронний «Атлас України» : Карта ґрунтів. Інститут географії Національної академії наук України. Київ : Інтелектуальні системи GEO, 2000. 1 електрон. опт. диск (CD-rom). Систем. вимоги: Pentium-266 ; 32 Mb.
 21. Ковган Л. Н., Лихтарев И. А. Общее внешнее и внутреннее облучение населения Украины за 15 лет после чернобыльской аварии и прогноз рисков. *Международ. журн. радиац. мед.* 2002. Т. 4, № 1-4. С. 79-98.
 22. Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України та реконструкція індивідуалізованих доз суб'єктів Держав-
- Generalized data for 2005–2006]. Collection 11. Kyiv, 2007. 63 p. Ukrainian.
 11. [General dosimetric passportization of Ukrainian settlements contaminated as a consequence of the Chernobyl accident. Generalized data for 2007]. Collection 12. Kyiv, 2008. 62 p. Ukrainian.
 12. [General dosimetric passportization of Ukrainian settlements contaminated as a consequence of the Chernobyl accident. Generalized data for 2008]. Collection 13. Kyiv, 2009. 58 p. Ukrainian.
 13. [General dosimetric passportization and results of WBC monitoring in the settlements of Ukraine, which contaminated by Chernobyl accident. Data for 2011]. Collection 14. Kyiv; 2012. 99 p. URL: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/52/022/52022270.pdf (access date: 13.09.23). Ukrainian.
 14. [General dosimetric passportization and results of WBC monitoring in the settlements of Ukraine, which contaminated by Chernobyl accident. Data for 2012]. Collection 15. Kyiv, 2013. 33p. URL : https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/52/022/52022215.pdf (access date: 13.09.23). Ukrainian.
 15. A[bout additional measures for recovery of the territories which were radioactively contaminated due to Chernobyl catastrophe, for social protection of affected persons, safe management with radioactive waste]: Decree of the President of Ukraine No. 196/2018 (2018 July 5). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/196/2018> (access date: 13.11.23). Ukrainian.
 16. Muck K, Prohl G, Likharev I, Kovgan L, Meckbach R, Golikov V. A consistent radionuclide vector after the Chernobyl accident. *Health Phys*. 2002;82(2):141-56. doi: 10.1097/00004032-200202000-00002.
 17. 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;82(3):290-303.
 18. Likharev IA, Kovgan LN, Vavilov SE. Internal exposure from the ingestion of foods contaminated by ¹³⁷Cs after the Chernobyl accident. Report 2. Ingestion doses of the rural population of Ukraine up to 12 y after the accident (1986–1997). *Health Phys*. 2000;79(4):341-357.
 19. Kovgan L, Likharyov I. [Chernobyl-oriented complex of ecological and dosimetric models and generalized estimates of Ukrainian population radiation doses as a result of the Chernobyl accident (1986–2000)]. *Nuclear and radiation safety*. 2004;7(3):13-25. Ukrainian.
 20. [Electronic «Atlas of Ukraine»]: Soil map. Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv: GEO Intellectual Systems, 2000. 1 electron. compact disc (CD-rom). System. requirements: Pentium-266; 32 Mb. Ukrainian.
 21. Kovgan LN, Lykhtarev IA. General external and internal exposure of the population of Ukraine 15 years after the Chernobyl accident and risk forecast. *International J Rad Med*. 2002;4(1-4):79-98.
 22. Likharyov IA, Kovgan LM, Ivanova OM, Masyuk SV, Chepurny MI, Boyko ZN, et al. [General dosimetric passportization of Ukrainian

- ного реєстру України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи (досвід, результати та перспективи) / І. А. Ліхтарьов та ін. *Журнал Національної академії медичних наук України*. 2016. Т. 22, № 2. С. 208-221.
23. Кашпаров В. О. Формування і динаміка радіоактивного забруднення навколишнього середовища під час аварії на Чорнобильській АЕС та в післяаварійний період. Чорнобиль. Зона відчуження / за ред. В. Г. Бар'яжтара. Київ, 2001. С. 11-46.
 24. Іванов Ю., Хомутинін Ю. Математичне моделювання динаміки міграції ^{90}Sr і ^{137}Cs в компонентах ґрунтово-рослинного покриву агроценозів на пізній фазі радіаційної аварії. 1. Побудова моделі та її параметризація. *Ядерна фізика та енергетика*. 2015. Т. 16, № 2. С. 169-245.
 25. Проблемы безопасности атомной энергетики. Уроки Чернобыля: монография / под ред. Б. С. Пристера. Чернобыль : Институт проблем безопасности АЭС, 2016. 356 с.
 26. Основні принципи та досвід проведення комплексної дозиметричної паспортизації населених пунктів України / І. А. Ліхтарьов та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2015. Вип. 20. С. 75-103.
 27. Методика реконструкції індивідуалізованих доз опромінення осіб, що мешкають на радіоактивно забруднених територіях України / О. М. Іванова та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2018. Вип. 23. С. 167-187.
 28. ICRP Publication 119. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. *Ann. ICRP*. 2012. Vol. 41. 212 p.
 29. ICRP Publication 89. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values. *Ann. ICRP*. 2002. Vol. 32, no. 3/4. 182 p.
 30. ICRP Publication 67. Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2. Ingestion Dose Coefficients. *Ann. ICRP*. 1993. Vol. 23, no. 3/4. 166 p.
 31. ICRP Publication 72. Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5. Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients. *Ann. ICRP*. 1996. Vol. 26, no. 1. 91 p.
 32. Публикация 103 МКРЗ / пер. с англ. М. Киселёва, Н. Шандалы. Москва : Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. 344 с.
 33. ICRP Publication 116. Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures. *Ann. ICRP*. 2010. Vol. 40, no. 2-5. 257 p.
 34. Директива Ради 2013/59/Євратом від 5 грудня 2013 року про встановлення основних норм безпеки для захисту від загроз, зумовлених впливом іонізуючого випромінювання, і скасування директив 89/618/Євратом, 90/641/Євратом, 96/29/Євратом, 97/43/Євратом і 2003/122/Євратом. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_006-13 (дата звернення 08.11.23).
 35. Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання : Закон України № 15/98-ВР редакція від 17.09.23. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/15/98-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 08.11.23).
 - settlements and individualized doses reconstruction for subjects of the State Register of Ukraine of persons affected by the Chernobyl disaster (experience, results and prospects)]. *Journal of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine*. 2016;22(2):208-221. Ukrainian.
 23. Kashparov VO. [Formation and dynamics of environment radioactive contamination during the accident at the Chernobyl NPP and in the post-accident period]. In: Baryakhtar VG, editor. [Chernobyl Exclusion zone]. Kyiv; 2001. p. 11-46. Ukrainian.
 24. Ivanov Yu, Khomutinin Yu. [Mathematical modelling of dynamics of ^{90}Sr and ^{137}Cs migration in components of agroecosystems soil-plant cover at the late phase of radiation accident. ii. model verification and prediction assessments. 1. Construction of the model and its parameterization]. *Nuclear Physics and Energy*. 2015;16(2):169-245. Ukrainian.
 25. Pryster BS, editor. [Nuclear power safety problems. Lessons from Chernobyl]. Kyiv: National Academy of Sciences of Ukraine. Chernobyl: Institute of NPP Safety Problems; 2016. 356 p. Ukrainian.
 26. Likhtarov IA, Kovgan LM, Masiuk SV, Ivanova OM, Chepurny MI, Boyko ZN, et al. Basic principles and practices of integrated dosimetric passportization of the settlements in Ukraine. *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2015;20:75-103.
 27. Ivanova OM, Kovgan LM, Masiuk SV. Methodology of reconstruction of individualized exposure doses for persons residing at radioactively contaminated territories of Ukraine. *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2018;23:167-187. doi: 10.33145/23048336201823164187.
 28. ICRP Publication 119. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. *Ann ICRP*. 2012;41:1-212.
 29. ICRP Publication 89. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values. *Ann ICRP*. 2002;32(3/4):1-182.
 30. ICRP Publication 67. Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2. Ingestion Dose Coefficients. *Ann ICRP*. 1993;23(3/4):1-166.
 31. ICRP Publication 72. Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5. Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients. *Ann ICRP*. 1996;26(1):1-91.
 32. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP*. 2007;37(2-4):1-344.
 33. ICRP Publication 116. Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures. *Ann ICRP*. 2010;40(2-5):1-257.
 34. Council Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2014:013:0001:0073:EN:PDF> (access date: 08.11.23).
 35. On the protection of humans from the effects of ionizing radiation. The Law of Ukraine No. 15/98-VR edition of 17.09.23 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/15/98-%D0%B2%D1%80> (access date: 08.11.23). Ukrainian.

36. ICRP Publication 101. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public. *Ann. ICRP*. 2006. Vol. 66, no. 3. 116 p.
37. Геохимия техногенных радионуклидов / Э. В. Собонович и др. Київ, 2002. 333 с.
38. Likhtariov I., Kovgan L., Novak D. Effective doses due to external irradiation from the Chernobyl accident for different population groups of Ukraine. *Health Phys*. 1996. Vol. 70, no. 1. P. 87-98.
39. Eckerman K. F., Ryman J. C. External exposure to radionuclides in air, water, and soil. Federal guidance report no. 12. Oak Ridge, Tennessee, 1993. 237 p.
40. Ковган Л. М. Еколого-дозиметричні моделі опромінювання населення у разі глобальної радіаційної аварії (за досвідом Чорнобильської катастрофи) : дис. ... д-ра техн. наук : Київ, 2005. 271 с.
41. Методические рекомендации по проведению измерений с использованием счетчиков излучения человека при дозиметрической паспортизации населенных пунктов Украины / О. Н. Перевозников, Л. А. Литвинец, Г. Н. Яковлева, В. В. Василенко. Киев, 1995. 25 с.
42. Моніторинг доз внутрішнього опромінення населення на пізньому етапі аварії на ЧАЕС з використанням лічильників випромінювання людини : методичні рекомендації / С. Ю. Нечаєв, В. В. Василенко, О. М. Перевозников, Н. Ф. Рубель, В. О. Пікта. Київ, 2010. 24 с.
43. Ревізія та аналіз результатів ЛВЛ-вимірювань, проведених на радіоактивно забруднених територіях України у 1986-2014 рр. / В. В. Василенко та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2018. Вип. 23. С. 120-138. doi: 10.33145/2304-8336-2018-23-120-138.
44. Наказ Міністерства надзвичайних ситуацій України № 764 від 27.07.2011 «Про організацію проведення дозиметричної паспортизації населених пунктів». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0764735-11>. (дата звернення 13.09.23).
45. Баланси та споживання основних продуктів харчування населенням України, 2020. Державна служба статистики України / за ред. О. Прокопенко. Київ, 2021. 59 с.
46. Thirty-five years of the Chernobyl disaster: radiological and medical consequences, strategies of protection and revival: National Report of Ukraine. Kyiv, 2021. 286 p.
36. ICRP Publication 101. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public. *Ann ICRP*. 2006;66(3):1-116.
37. Sobotovych EV, et al. [Geochemistry of technogenic radionuclides]. Kyiv; 2002. 333 p. Ukrainian.
38. Likhtariov I, Kovgan L, Novak D. Effective doses due to external irradiation from the Chernobyl accident for different population groups of Ukraine. *Health Phys*. 1996;70(1):87-98.
39. Eckerman KF, Ryman JC. External exposure to radionuclides in air, water, and soil. Federal guidance report no. 12. Oak Ridge, Tennessee; 1993. 237 p.
40. Kovgan LM. [Ecological and dosimetric models of population exposure in case of a global radiation accident (based on the experience of the Chernobyl accident)] [dissertation]. Kyiv; 2005. 271 p. Ukrainian.
41. Perevozikov ON, Lytvynets LA, Yakovleva GN, Vasylenko W. [Methodical recommendations for conducting measurements using whole body counters during dosimetric passportization in the settlements of Ukraine]. Kyiv; 1995. 25 p. Ukrainian.
42. Nechaev SYu, Vasylenko W, Perevoznikov OM, Rubel NF, Picta VO. [Monitoring of internal radiation doses of population at the late stage of the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant using whole body counters. Methodological recommendations]. Kyiv; 2010. 24 p. Ukrainian.
43. Vasylenko W, Masiuk SV, Ivanova OM, Picta VO, Boiko ZN, Chepurny MI, et al. Results of WBC measurements were made at radioactively contaminated territories of Ukraine in 1986-2014 (revision and analysis). *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2018;23:120-138. doi: 10.33145/2304-8336-2018-23-120-138.
44. [On the organization of dosimetric passportization of settlements]. Order of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine No. 764 dated July 27, 2011. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0764735-11>. (access date: 13.09.23). Ukrainian.
45. Prokopenko O, editor. [Balances and consumption of basic food products by the population of Ukraine, 2020. State Statistics Service of Ukraine]. Kyiv; 2021. 59 p. Ukrainian.
46. Thirty-five years of the Chernobyl disaster: radiological and medical consequences, strategies of protection and revival. National Report of Ukraine. Kyiv, 2021. 286 p.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Бази́ка Димитрій Анатолі́йович – доктор медичних наук, професор, академік Національної академії медичних наук України, генеральний директор ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID ID: 0000-0001-9982-5990

Сушко Віктор Олександрович – доктор медичних наук, професор, чл.-кор. НАМН України, перший заступник генерального директора ННЦРМ з наукової роботи, керівник відділу медичної експертизи та лікування наслідків впливу радіаційного опромінення, Інститут клінічної радіології, ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID ID: 0000-0001-6893-8642

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Dimitry A. Bazyka – Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Director General of the NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: 0000-0001-9982-5990

Viktor O. Sushko – Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of the NAMS of Ukraine, First deputy General Director of NRCRM for Research Work, Chief of Division for Medical Expertise and Treatment of Ionizing Irradiation Consequences, Clinical Radiology Institute, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: 0000-0001-6893-8642

Іванова Ольга Миколаївна – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник лабораторії радіологічного захисту, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID ID: 0000-0003-3652-0836

Василенко Валентина Володимирівна – кандидат технічних наук, завідувач лабораторії лічильників випромінювання людини відділу дозиметрії і радіаційної гігієни, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ, ORCID ID: 0000-0003-0270-2738

Білоник Андрій Богданович – завідувач лабораторії радіаційної гігієни та моніторингу відділу дозиметрії і радіаційної гігієни, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ, Україна

Федосенко Галина Василівна – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник лабораторії радіологічного захисту, , Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ, Україна

Будерацька Валентина Борисівна – науковий співробітник лабораторії радіологічного захисту, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ, , Україна, ORCID ID: 0000-0003-2120-4275

Бойко Зульфїра Набіуллівна – старший науковий співробітник лабораторії радіологічного захисту, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID ID: 0000-0001-7144-5574

Чепурний Микола Іванович – науковий співробітник лабораторії радіологічного захисту, , Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ, Україна

Курята Микола Сергійович – науковий співробітник лабораторії лічильників випромінювання людини відділу дозиметрії і радіаційної гігієни, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ

Морозов Віктор Віталійович – молодший науковий співробітник лабораторії лічильників випромінювання людини відділу дозиметрії і радіаційної гігієни, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ

Горбачов Сергій Григорович – молодший науковий співробітник лабораторії радіаційної гігієни та моніторингу, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID ID: 0000-0001-8561-2804

Масюк Сергій Володимирович – кандидат фізико-математичних наук, завідувач лабораторії радіологічного захисту відділу дозиметрії та радіаційної гігієни, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID: 0000-0002-5123-9674

Olha M. Ivanova – Candidate of Biological Sciences, Senior Research Associate of the Radiological Protection Laboratory, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: 0000-0003-3652-0836

Valentyna V. Vasylenko – Candidate of Science (Engineering), Head of the Whole Body Counter Laboratory, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: 0000-0003-0270-2738

Andrii B. Bilonyk – Head of the Laboratory of Radiation Hygiene and Monitoring, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine

Halyna V. Fedosenko – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher of the Laboratory of Radiological Protection, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology of the NRCRM, Kyiv, Ukraine

Valentyna B. Buderatska – Researcher, of the Radiological Protection Laboratory, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: 0000-0003-2120-4275

Zulfira N. Boiko – Senior Researcher of the Radiological Protection Laboratory, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: 0000-0001-7144-5574

Mykola I. Chepurny – Researcher of the Laboratory of Radiological Protection, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology of the National Center for Medical Research, Kyiv, Ukraine

Mykola S. Kuriata – Research Fellow of the Whole Body Counter Laboratory, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine

Viktor V. Morozov – Junior Research Associate of the Body Counter Laboratory, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine

Serhii H. Horbachov – Junior Research Fellow, Laboratory of Radiation Hygiene and Monitoring, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: 0000-0001-8561-2804

Sergii V. Masiuk – Candidate of Science (Physics and Mathematics), Head of Laboratory for Radiological Protection, Dosimetry and Radiation Hygiene Department, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0002-5123-9674