

УДК: 615.849.5:546.36+546.42:504.054

В. В. Василенко✉, С. Ю. Нечаєв, М. Я. Циганков, Г. Г. Рагіа, В. Б. Берковський, В. О. Пікта, Д. І. Шпаченко, Г. М. Задорожна, Л. П. Міщенко

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

## ОСНОВНІ ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ ВНУТРІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ НА ПОТОЧНОМУ ЕТАПІ АВАРІЇ НА ЧАЕС (НА ПРИКЛАДІ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

**Метою** дослідження є визначення основних чинників формування дози внутрішнього опромінення у мешканців радіоактивно забруднених територій Київської області за результатами проведення комплексного дозиметричного моніторингу.

**Матеріали і методи.** Для досліджень було обрано 3 населених пункти (НП) – с. Рагівка, с. Зелена Поляна Поліського району та с. Карпилівка Іванківського району. Двічі на рік, у травні та жовтні, у мешканців цих НП було проведено визначення вмісту інкорпорованого  $^{137}\text{Cs}$  шляхом прямого вимірювання на лічильниках випромінювання людини (ЛВЛ) безпосередньо за місцем проживання, зібрано основні продукти харчування для визначення вмісту в них радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$ , і проведено опитування мешканців цих сіл щодо рівнів споживання цих продуктів. В роботі використано математичні, дозиметричні, радіохімічні методи.

**Результати та висновки.** Оцінки дози внутрішнього опромінення від надходження  $^{137}\text{Cs}$  з молоком та картоплею складають від 0,3 до 34 % від дози за даними ЛВЛ. Внесок у дозу внутрішнього опромінення від  $^{137}\text{Cs}$  за рахунок споживання молока не більш, ніж в 2 рази, перевищує внесок за рахунок споживання картоплі при однакових рівнях споживання цих продуктів. Внесок у дозу внутрішнього опромінення від  $^{90}\text{Sr}$  за рахунок споживання молока та картоплі приблизно однаковий. Споживання грибів та інших місцевих продуктів дикої природи мешканцями обстежуваних населених пунктів є одним з основних чинників формування дози внутрішнього опромінення, обумовленої надходженням  $^{137}\text{Cs}$ .

**Ключові слова:** внутрішнє опромінення, комплексний дозиметричний моніторинг, лічильник випромінювання людини (ЛВЛ), пероральне надходження радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$ .

*Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2015. Вип. 20. С. 147–156.*

✉ Василенко Валентина Володимирівна, e-mail: vvv2201@ukr.net

V. V. Vasylenko✉, S. Yu. Nechaev, M. Ya. Tsigankov, G. G. Ratia, V. B. Berkovsky, V. O. Pikta, D. I. Shpachenko, G. M. Zadorozhna, L. P. Mishhenko

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

## **Main internal dose-forming factors for inhabitants of contaminated regions at current phase of the Chernobyl nuclear power plant accident (Kyiv region as an example)**

**Objective** of this work is revealing of main dose-forming factors of internal doses for inhabitants of contaminated regions of Kyiv region relying on the results of integral dosimetric monitoring.

**Materials and methods.** Three villages have been chosen for the investigation. They are: Raghivka, Zelena Poliana (Poliske district), Karpylivka (Ivankiv district). Twice a year, in May and in October those villages' residents were inspected for content of incorporated  $^{137}\text{Cs}$ . They were measured by direct method at the place of residence with the help of whole body counters (WBC). The principal food samples were collected for detection of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  content. Those villages' inhabitants were interviewed about food consumption levels. Mathematical, dosimetric and radiochemical methods were used in this work

**Results and conclusions.** The estimation of internal doses due to intake of  $^{137}\text{Cs}$  by ingestion of milk and potatoes are in the range 0.3–34% of doses estimated on the base of WBC data. The contribution to the dose of internal exposure from intake of  $^{137}\text{Cs}$  with the milk consumption is no more than two times higher than the contribution of potatoes consumption in the case of equal consumption levels of these products. Contributions to the dose of internal exposure from intake of  $^{90}\text{Sr}$  with milk and potatoes consumptions are approximately similar. Consumption of mushrooms and other wild nature products by inhabitants from the inspected settlements is the main forming factor of internal dose due to  $^{137}\text{Cs}$  intake.

**Key words:** internal exposure, integrated radiological monitoring, whole body counter (WBC), ingestion intake of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$ .

*Problems of radiation medicine and radiobiology. 2015;20:147-156.*

### **ВСТУП**

На сьогоднішній день за результатами Державної програми „Дозиметрична паспортизація населених пунктів України” 2011 року в інтервал річних „паспортних” доз  $> 5 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$  не потрапив жоден населений пункт, у інтервал  $1\text{--}5 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$  потрапляють 25 НП Житомирської та Рівненської області, ще 101 НП має паспортну дозу  $> 0,5 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$  [1], тільки 4 з них – населені пункти Київської області.

З іншого боку, як показав багаторічний ЛВЛ-моніторинг, у Київській області є ряд населених пунктів Поліського, Іванківського та Вишгородського районів, дози внутрішнього опромінення в яких є досить нестабільними і рік від року суттєво змінюються. Це потребує вивчення факторів такої нестабільності та рекомендацій щодо впливу на них з метою мінімізації існуючих доз опромінення, навіть якщо вони нижчі від зазначених вище дозових рівнів для контрольованих територій. Така ситуація потребує проведення комплексного радіаційного моніторингу рівнів внутрішнього опромінення населення радіоактивно забруднених територій (РЗТ), обумовлених надходженням  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , який включає ЛВЛ-вимірювання

### **INTRODUCTION**

To date, the results of the 2011 State program “Dosimetric passportization of settlements in Ukraine” show that there is no settlements with “passport” dose over  $5 \text{ mSv} \cdot \text{year}^{-1}$ ; 25 settlements in Zhytomyr and Rivne region have passport doses within the interval of  $1\text{--}5 \text{ mSv} \cdot \text{year}^{-1}$ ; 101 settlements have passport doses over  $0.5 \text{ mSv} \cdot \text{year}^{-1}$  [1], but only 4 of them are situated in Kyiv region.

On the other hand, the long-term WBC-monitoring shows that there are several settlements in Poliske, Ivankiv, Vyshgorod districts with unsteady internal radiation doses, which values are considerably changing year after year. Thus it is necessary to study those instability factors and to design the respective recommendations to minimize the actual exposure doses even if they are under dose levels for “supervised” areas mentioned above. That kind of situation requires the conduction of integral radiation monitoring on internal exposure levels from  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  intake for population of contaminated regions. It includes a WBC measurements of incorporated radioactive cesium,

вмісту інкорпорованого в організмі радіоцезію, дослідження основних продуктів харчування на вміст радіонуклідів, оцінку рівнів споживання основних продуктів харчування. Проведення такого моніторингу відкриває шлях до визначення основних радіаційно-гігієнічних чинників формування дози внутрішнього опромінення населення РЗТ на поточному етапі аварії та особливостей її формування в Київській області, що, в свою чергу, забезпечить обґрунтовані заходи з радіаційного захисту населення РЗТ.

### МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є визначення основних чинників формування дози внутрішнього опромінення у мешканців РЗТ Київської області за результатами проведення комплексного дозиметричного моніторингу в обстежених населених пунктах.

### МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

За результатами аналізу даних власних багаторічних досліджень доз внутрішнього опромінення населення РЗТ Київської області обрано три населені пункти для дослідження – с. Рагівка, с. Зелена Поляна Поліського району, в яких впродовж післяаварійного періоду були зареєстровані найбільші рівні внутрішнього опромінення, та с. Карпилівка Іванківського району, яке має „паспортну” дозу, що перевищує  $0,5 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$ . Усі вони – сільського типу і розташовані поблизу лісових масивів, а село Карпилівка знаходиться безпосередньо біля лісу. ЛВЛ-вимірювання було проведено двічі – навесні, у травні місяці, та восени, у жовтні місяці, в обсязі, достатньому для проведення статистичного аналізу (табл. 1).

Визначення вмісту інкорпорованого радіоцезію в організмі обстежених осіб було проведено на лічильниках випромінювання людини “Скриннер-3М” мобільного типу (виробництво ІНЕКО, м. Київ; мет-

analysis of radionuclide contamination of typical foods, and assessment of consumption levels of typical foods. That kind of monitoring points the way to reveal the dose-forming peculiarities in Kyiv region and determine the main radiation-hygienic factors that form internal radiation doses of population living in radiologically contaminated areas at the actual stage of the accident. It will therefore provide grounded measures to protect the population of contaminated areas.

### OBJECTIVE

The objective of this research is to determine the main factors that form internal doses of the inhabitants of contaminated areas of Kyiv region according to the results of integral dosimetric monitoring in supervised settlements.

### MATERIALS AND METHODS

According to the results of the long-term researches (carried out at the NRCRM) on the internal doses of the population of Kyiv region living in the contaminated areas three settlements were selected for research: Raghivka and Zelena Poliana villages in Poliske district (there have been revealed the highest levels of internal exposure there since ChNPP accident) and Karpylivka in Ivankiv district where “passport” dose exceeds  $0.5 \text{ mSv} \cdot \text{year}^{-1}$ . Each of these villages is located not far from woodland and Karpylivka village is located directly next to the forest. WBC measurements were carried out twice – in May and in October, the sampling was sufficient for statistical analysis (table 1).

Detection of cesium content in human body was performed using mobile whole body counters “Screener-3M” (produced by INECO company, Kyiv, State metrology test certificate №26-04/0778

### Таблиця 1

Характеристика вибірки вимірювань у Київській області

**Table 1**

Sampling parameters of measurements in Kyiv region

Населений пункт Settlement	Період Period	Кількість мешканців Number of inhabitants	Обстежено осіб / Inspected persons				
			усього total	дорослі adults	діти children	чоловіки males	жінки females
с. Рагівка / Raghivka village	Травень / May	480	113	68	45	51	62
	Жовтень / October	480	100	56	44	44	56
с. Зелена Поляна / Zelena Poliana village	Травень / May	350	91	55	36	45	46
	Жовтень / October	350	44	32	12	19	25
с. Карпилівка / Karpylivka village	Травень / May	35	14	11	3	5	9
	Жовтень / October	35	17	15	2	6	11

рологічне свідоцтво про державну повірку №26-04/0778 від 15.08.2013, видане ДП „Укрметртестстандарт”) безпосередньо за місцем проживання обстежуваних у Поліському та Іванківському районах. Калібрування комплексу, вимірювання та розрахунки результатів виконано за єдиною в Україні методикою, розробленою в ННЦРМ [2–4].

Одним з основних підходів, що дає можливість дослідити чинники формування доз внутрішнього опромінення у населення РЗТ, є визначення та аналіз забрудненості основних продуктів харчування радіонуклідами [5, 6] та рівнів їх споживання. Для вирішення цих завдань двічі – навесні у травні та восени у жовтні, було проведено відбір основних продуктів харчування (молоко, картопля, продукти дикої природи) у вибраних для обстеження НП Київської області, а також опитування мешканців цих сіл щодо особливостей харчування та рівнів споживання основних продуктів. Всього було відібрано 36 проб молока, 38 проб овочів та 38 проб продуктів лісу. Для проведення опитування було складено формалізовані анкети для дорослих і дітей. За цими анкетами проведено опитування 217 осіб з обстежених НП, серед яких було дітей – 83, дорослих – 134. Дослідження проводились таким чином, щоб одна й та сама особа була обстежена на ЛВЛ з метою визначення реального на час проведення дослідження вмісту інкорпорованого  $^{137}\text{Cs}$ , відповіла на запитання анкети та представила для дослідження проби основних продуктів харчування з власного господарства. Організаційно це було не завжди можливо, оскільки населення не дуже охоче віддає на дослідження продукти харчування.

Особливу увагу було приділено визначенню вмісту  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування, через те, що з часом внесок від  $^{90}\text{Sr}$  у сумарну дозу внутрішнього опромінення зростає. Визначення вмісту  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування було проведено методом прямих спектрометричних вимірювань з використанням бета-спектрометра СЭБ-01 і методом радіохімічного аналізу з метою верифікації результатів вимірювань на СЭБ-01. Результати паралельних вимірювань задовільні.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Розрахунок доз внутрішнього опромінення, оснований на рівнях надходження радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$ , було виконано лише для осіб, які заповнили анкети та здали зразки продуктів харчування з власних господарств. Відсутність зразків чи анкет робить розрахунок доз для решти осіб неможливим, неповні дані для таких осіб не наводяться. При оцінці рівнів над-

dated by August 15, 2013, issued by state-run enterprise “Ukrmetrtteststandart”) directly in the above mentioned places of residence of inspected persons. Approved standardized procedures for instruments calibration, measurements and results calculations are carried out according to the Ukrainian methodical standard designed at the NRCRM [2–4].

Estimation and analysis of the contamination levels of the main foodstuffs [5, 6] and corresponding consumption levels is the one of the main approaches, which allows the investigation of internal dose-forming factors for population living in the contaminated areas. In the selected settlements of Kyiv region the main foodstuffs (milk, potatoes, wild nature products) were sampled twice a year – in spring (May) and in autumn (October) for solving these tasks. The interviewing of inhabitants of these settlements was performed about meal peculiarities and food consumption levels. There were prepared 36 milk samples, 38 vegetable samples, 38 forest products samples. The formalized questionnaires for children and adults were designed. 217 persons from contaminated areas were interviewed according to those questionnaires. There were 83 children and 134 adults among them. The investigation was performed in such a way that the same inspected person have to pass WBC measurement to detect real  $^{137}\text{Cs}$  content in the body, fill the questionnaire and provide samples of own foodstuffs. However, it was difficult to obtain the full set of data for each person due to the reluctance of residents to provide their foodstuffs for analysis.

The special attention was given to the  $^{90}\text{Sr}$  content in foodstuffs because the contribution of dose from the  $^{90}\text{Sr}$  intake to the total dose of internal exposure is increasing with time. The  $^{90}\text{Sr}$  content in foodstuffs was assessed by direct spectrometric measurements using beta-spectrometer SEB-01 and by method of radiochemical analysis for verification purposes. Comparison of results obtained by these two methods shows satisfied agreement.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

Internal radiation dose calculation based on  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  intake levels was performed only for persons who had completed the questionnaire and provided foodstuff samples. Absence of samples or completed questionnaire makes dose estimation for rest of persons impossible. No such incomplete data are presented here. The questionnaire data about food con-

**Таблиця 2**  
Вміст радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  у зразках картоплі

**Table 2**  
 $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  content in potatoe samples

Населений пункт Settlement	№ анкети № of the form	$^{90}\text{Sr}$ , Бк·кг <sup>-1</sup> /Вq·кг <sup>-1</sup>		$^{137}\text{Cs}$ , Бк·кг <sup>-1</sup> /Вq·кг <sup>-1</sup>	
		вміст content	похибка error	вміст content	похибка error
с. Зелена Поляна / Zelena Poliana village	17			3,0	1,1
	7	1,2	0,5	2,6	1,1
	10	0,4	0,4	3,2	1,1
	19	0,8	0,4	1,6	1,2
с. Карпилівка / Karpylivka village	2	1,5	0,5	3,1	1,1
	64	0,4	0,4	1,3	1,2
	66	0,5	0,5	5,6	1,2
с. Рагівка / Raghivka village	126	0,7	0,5	0,6	1,3
	127	0,6	0,5	1,9	1,2
	123	2,8	0,5	2,8	0,5
	129	0,3	0,4	0,2	1,3
	182	0,2	0,3	2,3	1,1
	142	0,4	0,4	1,7	1,2
	147	1,9	0,8	< МДА (3,0)	

**Таблиця 3**  
Вміст радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  у зразках молока

**Table 3**  
 $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  content in milk samples

Населений пункт Settlement	№ анкети № of the form	$^{90}\text{Sr}$ , Бк·л <sup>-1</sup> /Вq·Л <sup>-1</sup>		$^{137}\text{Cs}$ , Бк·л <sup>-1</sup> /Вq·Л <sup>-1</sup>	
		вміст content	похибка error	вміст content	похибка error
с. Зелена Поляна / Zelena Poliana village	17	0,8	0,4	5,4	0,8
	7	0,9	0,4	6,5	0,7
	41	0,6	0,3	3,9	1,0
	36	0,6	0,4	3,2	0,6
	19	0,3	0,3	4,6	0,9
с. Карпилівка / Karpylivka village	59	0,6	0,4	< МДА (3,0)	
	64	0,8	0,4	37	2,4
	66	0,6	0,4	< МДА (3,0)	
с. Рагівка / Raghivka village	127	0,6	0,4	< МДА (3,0)	
	178	0,6	0,4	3,8	0,9
	147	1,7	0,4	< МДА (3,0)	

**Таблиця 4**  
Вміст радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  у зразках сушених грибів

**Table 4**  
 $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  content in dried mushroom samples

Населений пункт Settlement	№ анкети № of the form	$^{90}\text{Sr}$ , Бк·кг <sup>-1</sup> /Вq·кг <sup>-1</sup>		$^{137}\text{Cs}$ , Бк·кг <sup>-1</sup> /Вq·кг <sup>-1</sup>	
		вміст content	похибка error	вміст content	похибка error
с. Зелена Поляна / Zelena Poliana village	7	< МДА (0,5)		$8 \cdot 10^4$	$7,8 \cdot 10^2$
с. Карпилівка / Karpylivka village	59	< МДА (0,5)		$1,6 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^2$
с. Рагівка / Raghivka village	176	< МДА (0,5)		$1,4 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^3$
	127	< МДА (0,5)		$1,2 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^2$
	123	< МДА (0,5)		$6,6 \cdot 10^5$	$2,8 \cdot 10^3$
	147	< МДА (0,5)		$4,6 \cdot 10^2$	45

ходження радіонуклідів враховувались дані з анкет про споживання продуктів харчування з особистих або місцевих суспільних господарств. Продукти з торгової мережі вважались незабрудненими та їх споживання не враховувалось. Рівні питомого вмісту радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  у продуктах харчування, які здали для аналізу особи, що заповнили анкети, наведені в таблицях 2–5.

В таблиці 6 представлені оцінки мінімального, максимального, середнього та геометричного середнього значень вмісту радіонуклідів у продуктах харчування. Оцінки зроблені за результатами аналізу всіх наявних зразків, включаючи зразки, що здали особи, які не заповнили анкети. З представлених результатів вимірювань видно, що питомий вміст  $^{90}\text{Sr}$  у молоці та картоплі приблизно однаковий, а середній питомий вміст  $^{137}\text{Cs}$  у молоці приблизно в 2 рази більший, ніж у картоплі. Надзвичайно високий рівень вмісту  $^{137}\text{Cs}$  виявлено в сушених грибах. При цьому вміст  $^{137}\text{Cs}$  в різних зразках грибів дуже різниться і лежить у діапазоні  $4,58 \cdot 10^2 - 6,58 \cdot 10^5 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ . В той же час, у зразках консервованих грибів спостерігається значно менший рівень вмісту  $^{137}\text{Cs}$ , що свідчить про суттєве зниження вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у процесі кулінарної обробки під час консервування грибів. При аналізі в зразках грибів не виявлено вмісту  $^{90}\text{Sr}$  вище МДА ( $0,5 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ ). Таким чином, свіжі та сушені гриби суттєво домінують у дозоутворенні за рахунок високого вмісту  $^{137}\text{Cs}$ .

В таблиці 7 представлені оцінки рівнів споживання продуктів з особистих або місцевих суспільних господарств і продуктів дикої природи за даними анкет для осіб, які здали зразки продуктів для проведення аналізу на вміст  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$ .

Для розрахунку індивідуальних річних ефективних доз внутрішнього опромінення використовувались

assumption of one's own or local public farms were taken into account when assessing the intake levels of radionuclides. The foodstuffs from shops and markets assumed to be not contaminated, so those products consumption was beyond the consideration. Specific contents of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in the foodstuff samples received from residents who had filled in the questionnaire are presented in tables 2–5.

Assessment of radionuclides content in foodstuffs: minimum, maximum, mean and geometric mean values are shown in table 6. The assessments were made after analyzing of all samples including samples provided by persons whose questionnaire wasn't filled in. The specific content of  $^{90}\text{Sr}$  in milk and potatoes is approximately the same and the mean specific content of  $^{137}\text{Cs}$  in milk is about 2-fold higher vs. mean specific content of  $^{137}\text{Cs}$  in potatoes. Very high levels of  $^{137}\text{Cs}$  content were detected in dried mushrooms and the estimated levels of  $^{137}\text{Cs}$  are quite different for several samples being in the interval of  $4.58 \cdot 10^2 - 6.58 \cdot 10^5 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ . At the same time the  $^{137}\text{Cs}$  content in pickled mushrooms is quite lower. This fact indicates that cesium content in foodstuffs is greatly reduced during cooking and mushrooms marinating. Mushroom samples analysis reveal no  $^{90}\text{Sr}$  content over MDA level ( $0.5 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Thus, fresh and dried mushrooms consumption is the most significant dose-forming factor because of high  $^{137}\text{Cs}$  content level.

Table 7 presents the assessment of consumption levels of foodstuffs from personal or local public farms and wild nature products using the questionnaire data for persons who provided their foodstuff samples for analysis on  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  content.

To evaluate the individual annual effective radiation dose of internal exposure the following dose

**Таблиця 5**  
**Вміст  $^{137}\text{Cs}$  у зразках консервованих грибів**

**Table 5**  
 **$^{137}\text{Cs}$  content in pickled mushrooms samples**

Населений пункт Settlement	№ анкети № of the form	$^{137}\text{Cs}$ , Бк·кг <sup>-1</sup> /Bq·kg <sup>-1</sup>	
		вміст content	похибка error
с. Зелена Поляна / Zelena Poliana village	7	132	8,6
с. Карпилівка / Karpylivka village	64	36	2,5
	64	22	2,2
	126	7,2	2,7
с. Рагівка / Raghivka village	126	270	13
	127	170	9,8
	182	16	2,8
	142	2,1	1,3

**Таблиця 6**

**Характеристики вибірки результатів вимірювань зразків продуктів харчування з особистих або місцевих суспільних господарств\***

**Table 6**

**The distribution parameters of measurements results of foodstuff samples from personal or local public farms\***

Населений пункт Settlement	Показник Parameter	Картопля, Бк·кг <sup>-1</sup> Potatoe, Bq·kg <sup>-1</sup>	Молоко, Бк·кг <sup>-1</sup> Milk, Bq·kg <sup>-1</sup>	Гриби сушені, Бк·кг <sup>-1</sup> Dried mushrooms, Bq·kg <sup>-1</sup>		Гриби консервовані, Бк·кг <sup>-1</sup> Pickled mushrooms, Bq·kg <sup>-1</sup>	
		<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs
		с. Зелена Поляна Zelena Poliana village	мін. / min. макс. / max. сер. / mean геом. сер. / geom. mean	0,15 1,5 0,8 0,64	1,5 5,4 2,7 2,5	0,3 0,9 0,55 0,53	1,5 7 5 4,6
с. Карпилівка Karpylivka village	мін. / min. макс. / max. сер. / mean геом. сер. / geom. mean	0,4 1,5 0,9 0,83	0,96 5,6 3,1 2,5	0,50 0,8 0,6 0,62	1,5 37 10 3,3	7·10 <sup>3</sup> 1,6·10 <sup>4</sup> 1,3·10 <sup>4</sup> 1,2·10 <sup>4</sup>	22 36 29 28
с. Рагівка Raghivka village	мін. / min. макс. / max. сер. / mean геом. сер. / geom. mean	0,2 2,9 1,2 0,79	0,21 3,0 1,5 1,28	0,40 1,7 0,7 0,66	1,5 5,7 2,5 2,2	4,6·10 <sup>2</sup> 6,6·10 <sup>5</sup> 1,4·10 <sup>5</sup> 1,6·10 <sup>4</sup>	2,1 270 78 22
<b>Bci Total</b>	мін. / min. макс. / max. сер. / mean геом. сер. / geom. mean	0,15 2,9 1,0 0,74	0,21 5,6 2,3 1,9	0,3 1,7 0,6 0,58	1,5 37 5 3,5	4,6·10 <sup>2</sup> 6,6·10 <sup>5</sup> 10 <sup>5</sup> 2·10 <sup>4</sup>	2,1 680 130 43

Примітка. \*При оцінці характеристик вибірки значення вимірювань, нижчі за МДА, вважались рівними половині МДА.<sup>1</sup>  
Note. \*When assessing distribution parameters the measurements results below MDA assumed to be half of MDA.<sup>1</sup>

такі значення коефіцієнтів “доза на одиницю перорального надходження” радіонуклідів для вікової групи “дорослі”: для <sup>90</sup>Sr – 2,8·10<sup>-5</sup> мЗв·Бк<sup>-1</sup>, для <sup>137</sup>Cs – 1,3·10<sup>-5</sup> мЗв·Бк<sup>-1</sup> [7].

При оцінці річного перорального надходження радіонуклідів з продуктами харчування було прийнято допущення, що впродовж всього року рівні вмісту радіонуклідів у продуктах були незмінними і дорівнювали значенням вимірювань, наведеним у таблицях 2–5. Оцінки індивідуальних річних ефективних доз внутрішнього опромінення при надходженні радіонуклідів <sup>90</sup>Sr та <sup>137</sup>Cs з молоком і картоплею наведені в таблиці 8. Для порівняння в таблиці 8 наведені індивідуальні річні ефективні дози внутрішнього опромінення від <sup>137</sup>Cs, розраховані за даними вимірювань на ЛВЛ, та паспортні дози для відповідних населених пунктів.

coefficients (“dose per ingestion intake” of radionuclides) for age group “adults” were used: 2.8·10<sup>-5</sup> mSv·Bq<sup>-1</sup> for <sup>90</sup>Sr and 1.3·10<sup>-5</sup> mSv·Bq<sup>-1</sup> for <sup>137</sup>Cs [7].

For estimation of the annual ingestion intake of radionuclides it was assumed that the radionuclides content levels in foodstuffs within the whole year were constant and equal to the values from tables 2–5. Table 8 demonstrates assessment results of the individual annual effective doses of internal exposure due to <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs ingestion intake with milk and potatoes. The individual annual effective doses of internal exposure from <sup>137</sup>Cs intake evaluated using the WBC-measurements data and passport doses for corresponding settlements are presented in the table 8 for comparison.

<sup>1</sup> У багатьох дослідженнях рівнів забруднень використовуються значення половини рівня детектування для включення до статистичного аналізу даних, нижчих за МДА. Цей підхід, хоч і має свої обмеження, є простим, та дозволяє уникнути упередженості методів, в основі яких лежить відкидання таких даних або заміна їх значень нулями чи значеннями МДА. При цьому, у порівнянні зі складними методами статистичної екстраполяції, цей метод дає прийнятні результати при невеликій кількості вимірів, вищих за МДА. У випадках, коли забруднення практично відсутнє, такий підхід призводить до переоцінки середнього забруднення. Але у випадку, коли реальний розподіл значень вимірів безперервний та є хоча б декілька вимірів, вищих за МДА, використання половини рівня детектування дає прийнятну оцінку середнього значення забруднення [8, 9, 10].

<sup>1</sup> In many studies of contamination levels, the values of half of detection limit have been used to include values below MDA to the statistical analysis. This approach, although it has its limitations, is a simple and avoids bias techniques based on a rejection of such data or change their values to zero values or MDAs. Thus, compared to complex statistical extrapolation methods, this method gives acceptable results with a small number of measurements higher than MDA. In cases when contamination is virtually absent, this approach overestimates the average contamination. But, when the real distribution of values is continuous and at least several measurements are higher than the MDA, using of half of detection limit gives a reasonable estimation of average contamination [8, 9, 10].

**Таблиця 7**

Оцінки річного споживання місцевих продуктів харчування за даними анкетування

**Table 7**

Assessment of annual consumption of locally produced foodstuffs on the base of questionnaire data

Населений пункт Settlement	№ анкети № of the form	Річне споживання продуктів харчування, кг·рік <sup>-1</sup> Annual consumption of locally produced foodstuffs, kg · year <sup>-1</sup>				
		молоко та молокопродукти milk and milk products	картопля potatoes	свіжі гриби fresh mushrooms	консервовані гриби pickled mushrooms	сушені гриби dried mushrooms
с. Зелена Поляна Zelena Poliana village	17	31,2	91	1	0,5	9
	7	83,2	72,8	0,3	0,1	2
	10	182	109,2	0,2	0,1	0
	41	390	72,8	18	3	9
	36	104	91	4	0	1
	19	88,4	273	22,5	18	10
с. Карпилівка Karpylivka village	59	416	273	4	0	0
	2	13	364	60	27	6
	64	124,8	182	9	0,25	3
	66	91	364	22,5	0,5	25
с. Рагівка Raghivka village	176	0	109,2	5	2	1
	126	0	109,2	4,5	4,5	2
	127	15,6	109,2	3	4,5	3
	123	0	91	12	0	0
	178	213,2	72,8	2	3	1,5
	129	10,4	91	0	0	0
	182	23,4	72,8	0,9	0	0,5
	142	83,2	109,2	0,75	0,5	6
	147	145,6	15,6	36	9	12,5

**Таблиця 8**

Оцінки очікуваних річних ефективних доз внутрішнього опромінення

**Table 8**

Assessments of committed annual effective doses of internal exposure

Населений пункт, паспортна доза [1] Settlement, passport dose [1]	№ анкети № of the form	Індивідуальні річні ефективні дози внутрішнього опромінення (за даними вмісту радіонуклідів в одиночних зразках продуктів харчування та за анкетними даними щодо рівнів їх споживання, мЗв) Individual annual effective doses of internal exposure (evaluated using radionuclide content in foodstuff samples data and information about their consumption levels from the questionnaire, mSv)				Індивідуальні ефективні річні дози внутрішнього опромінення за рахунок <sup>137</sup> Cs (за даними ЛВЛ-моніторингу, мЗв) Individual annual effective doses of internal exposure due to <sup>137</sup> Cs (evaluated using WBC-monitoring data, mSv)
		доза від споживання молока dose due to milk consumption		доза від споживання картоплі dose due to potatoe consumption		
		<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	
с. Зелена Поляна Zelena Poliana village	17	7·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-3</sup>		4·10 <sup>-3</sup>	0,07
	7	2·10 <sup>-3</sup>	7·10 <sup>-3</sup>	2·10 <sup>-3</sup>	2·10 <sup>-3</sup>	0,11
	10			10 <sup>-3</sup>	5·10 <sup>-3</sup>	0,04
	41	7·10 <sup>-3</sup>	2·10 <sup>-2</sup>			0,12
	36	2·10 <sup>-3</sup>	4·10 <sup>-3</sup>			0,11
	19	7·10 <sup>-4</sup>	5·10 <sup>-3</sup>	6·10 <sup>-3</sup>	6·10 <sup>-3</sup>	0,12
с. Карпилівка Karpylivka village	59	7·10 <sup>-3</sup>	< 2·10 <sup>-2</sup>			
	2			2·10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	0,18
	64	3·10 <sup>-3</sup>	6·10 <sup>-2</sup>	2·10 <sup>-3</sup>	3·10 <sup>-3</sup>	0,19
	66	2·10 <sup>-3</sup>	< 3·10 <sup>-3</sup>	5·10 <sup>-3</sup>	3·10 <sup>-2</sup>	0,12
с. Рагівка Raghivka village	176					0,25
	126			2·10 <sup>-3</sup>	8·10 <sup>-4</sup>	0,30
	127	3·10 <sup>-4</sup>	< 6·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-3</sup>	3·10 <sup>-3</sup>	0,05
	123			7·10 <sup>-3</sup>	3·10 <sup>-3</sup>	0,38
	178	4·10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>		0,49	
	129			8·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-4</sup>	0,03
	182			4·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-3</sup>	0,34
	142			10 <sup>-3</sup>	2·10 <sup>-3</sup>	0,04
	147	7·10 <sup>-3</sup>	< 6·10 <sup>-3</sup>	8·10 <sup>-4</sup>	< 6·10 <sup>-4</sup>	0,08



## ВИСНОВКИ

Отримані оцінки доз внутрішнього опромінення від надходження  $^{137}\text{Cs}$  з молоком та картоплею складають від 0,3 до 34 % від доз за даними ЛВЛ. Як було зазначено вище, середній вміст  $^{137}\text{Cs}$  в молоці перевищує його середній вміст в картоплі не більше, ніж в 2 рази. Таким чином, внесок споживання молока не більше, ніж у 2 рази, перевищує внесок картоплі в дозу внутрішнього опромінення від  $^{137}\text{Cs}$  при однакових рівнях споживання цих продуктів. Інші співвідношення у дозах обумовлені переважно різним рівнем споживання цих продуктів. Вміст  $^{90}\text{Sr}$  у молоці та картоплі приблизно однаковий. Тобто, внесок споживання молока та картоплі в дозу внутрішнього опромінення від  $^{90}\text{Sr}$  приблизно однаковий, і відрізняється, в основному, за рахунок різного рівня споживання цих продуктів.

Отримані оцінки індивідуальних ефективних доз внутрішнього опромінення від надходження  $^{137}\text{Cs}$  зі свіжими та сушеними грибами лежать у діапазоні  $4 \cdot 10^{-2}$ – $20 \text{ мЗв} \cdot \text{рік}^{-1}$ . Верхня оцінка дози внутрішнього опромінення, що ґрунтується на рівнях надходження  $^{137}\text{Cs}$  при споживанні грибів значно перевищує фактичні значення доз, отримані за даними ЛВЛ-моніторингу. Це обумовлено наявністю одного чи обох факторів:

- а) низька надійність оцінок доз з використанням одного вимірювання вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у грибах;
- б) обмежена достовірність щодо вказаних в анкетах рівнів споживання грибів.

Споживання грибів є досить нерівномірним за сезонами, і вміст  $^{137}\text{Cs}$  в них суттєво відрізняється, про що свідчать дані таблиці 6. Тим не менше, споживання грибів є найбільш важливим чинником у формуванні дози внутрішнього опромінення від  $^{137}\text{Cs}$ . Як видно з таблиці 8, у деяких випадках внесок споживання молока та картоплі в дозу внутрішнього опромінення від  $^{137}\text{Cs}$  є досить низьким (до 0,3 %, як вказано вище). Таким чином, можна зробити впевнений висновок, що споживання грибів, та взагалі місцевих продуктів дикої природи, є одним з основних чинників формування дози внутрішнього опромінення за рахунок надходження  $^{137}\text{Cs}$  для мешканців населених пунктів, які розглядаються. Така ситуація потребує подальшого ретельного моніторингу рівнів вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у місцевих продуктах дикої природи, рівнів їх споживання та інформування населення.

Аналіз наявних даних свідчить, що споживання грибів не вносить помітного вкладу в формування дози внутрішнього опромінення від  $^{90}\text{Sr}$ .

## CONCLUSIONS

Estimation of internal doses due to intake of  $^{137}\text{Cs}$  by ingestion of milk and potatoes are in the range of 0.3–34 % of doses estimated on the base of WBC data. The mean content of  $^{137}\text{Cs}$  in milk is no more than two times higher vs. in potatoe. Thus, the contribution of milk consumption is no more than 2-fold higher vs. contribution of potatoes consumption in formation of internal dose from  $^{137}\text{Cs}$  intake in case of equal consumption levels of these products. Other dose ratios could be mainly explained by the different consumption levels. The contents of  $^{90}\text{Sr}$  in milk and potatoe are approximately similar, i.e. the contributions of milk and potatoes consumption in formation of internal dose due to  $^{90}\text{Sr}$  intake are approximately similar. They may differ in the case of different consumption level of those foodstuffs.

The estimations of individual effective doses of internal exposure due to ingestion intake of  $^{137}\text{Cs}$  with fresh and dried out mushrooms are within the range of  $4 \cdot 10^{-2}$ – $20 \text{ mSv} \cdot \text{year}^{-1}$ . The upper estimated value of internal dose from  $^{137}\text{Cs}$  intake due to ingestion of mushrooms is much higher than the actual doses that have been assessed using WBC-monitoring data. It can be due to one or both of the following factors:

- a) low reliability of dose assessments based on the single measurement of  $^{137}\text{Cs}$  content in mushrooms;
- б) limited credibility of recorded in the questionnaire information about mushroom consumption.

The season mushrooms consumption is quite nonuniform, their  $^{137}\text{Cs}$  content differs significantly; the data from the tables 6 demonstrate that fact. Nevertheless, the mushrooms consumption is the most important factor which forms internal dose from  $^{137}\text{Cs}$  intake. The table 8 indicates that in some cases the milk and potatoes consumption gives a very small contribution to the internal dose from  $^{137}\text{Cs}$  intake (under 0.3 % as shown above). Thus, consumption of mushrooms and generally wild nature local foodstuffs is the one of the major factors, which forms dose of internal exposure due to  $^{137}\text{Cs}$  intake for inspected inhabitants. That situation requires the comprehensive monitoring of  $^{137}\text{Cs}$  content in local wild nature foodstuffs, controlling the consumption levels and informing the population.

The actual data analysis indicates the mushrooms consumption does not have significant contribution to the internal dose from  $^{90}\text{Sr}$  intake.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Загальнодозиметрична паспортизація та результати ЛВЛ-моніторингу в населених пунктах України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії. Дані за 2011 рік / І. А. Ліхтарьов, Л. М. Ковган, Г. В. Федосенко [та ін.] ; МНС України, ДУ "ННЦРМ НАМН України" ; ІРЗ АТН України. – Збірка 14. – К. : [б. в.], 2012. – 99 с.
2. Оценка доз внутреннего облучения населения за счет радиоцезия с использованием счетчиков излучения человека : методические рекомендации / НЦРМ АМН Украины. – К. : [б. и.], 1994. – 19 с.
3. Проведение измерений с использованием счетчиков излучения человека при дозиметрической паспортизации населенных пунктов Украины: методические рекомендации / МинЧернобыль Украины, НЦРМ АМН Украины. – К. : [б. и.], 1996. – 73 с.
4. Моніторинг доз внутрішнього опромінення населення на пізньому етапі аварії на ЧАЕС з використанням лічильників випромінювання людини / С. Ю. Нечаєв, В. В. Василенко, Н. Ф. Рубель, В. О. Пікта – К. : ДУ "НЦРМ АМН України", 2010. – 24 с.
5. Optimisation of internal contamination monitoring programme by integration of uncertainties / E. Davesne, P. Casanova, E. Chojnacki [et al.] // Radiat. Prot. Dosimetr. – 2011. –Vol. 144, no. 1-4. – P. 361–366.
6. Прилипко В. А. Безпека використання продуктів харчування приватних господарств на радіоактивно забруднених територіях / В. А. Прилипко, В. В. Василенко // Агроєкологічний журнал. – 2009. – Спец. вип., червень. – С. 268–272.
7. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides. ICRP Publication 71: Part 4. – Oxford : Pergamon Press, 1995. – 405 p.
8. Gochfeld M. Statistical analysis of data sets with values below detection limits [Electronic resource] / M. Gochfeld, J. Burger, V. Vyas // Amchitka independent science assessment: biological and geophysical aspects of potential radionuclide exposure in the Amchitka marine environment. – Final Report (appendix 11F). – CRESP. – 2005. Available from : [http://www.cresp.org/Amchitka/Amchitka\\_Final\\_Report/index\\_FinalReport.html](http://www.cresp.org/Amchitka/Amchitka_Final_Report/index_FinalReport.html)
9. Hesel D. R. Less than obvious / D. R. Hesel // Environ. Science Technol. – 1990. – Vol. 24. – P. 1766–1774.
10. Hesel D. R. Nondetects and data analysis: Statistics for censored environmental data / D. R. Hesel. – New York : Wiley and Sons, 2005.

**REFERENCES**

1. Likhtariov IA, Kovgan LM, Fedosenko GV, et al. [Total dosimetric certification and results WBC monitoring settlements of Ukraine, which undergone of radioactive contamination after Chernobyl accident. Data for 2011]. Collection 14, Kyiv: Ministry of Emergency Situations of Ukraine, NRCRM AMS, IRZ ATNU; 2012, 99 p. Ukrainian.
2. Research Center for Radiation Medicine. [Assessment of internal exposure doses of the population due to radioactive cesium using whole body counters: methodical recommendation]. Kyiv; 1994. - 19 p.
3. MinChernobyl of Ukraine, Research Center for Radiation Medicine of the Academy of Medical Sciences of Ukraine. [Measurements taken from whole body counters for dosimetry certification settlements of Ukraine: methodical recommendation]. Kyiv; 1996. - 73 p.
4. Nechaev SY, Vasylenko W, Rubel NF, Pikta VO. [Monitoring of internal exposure doses of the population in the later stage of the Chernobyl NPP accident using whole body counters]. Kyiv: Research Center for Radiation Medicine of the Academy of Medical Sciences of Ukraine; 2010. - 24 p. Ukrainian.
5. Davesne E., Casanova P., Chojnacki E., et al. Optimisation of internal contamination monitoring programme by integration of uncertainties. Radiat. Prot. Dosimetr. - 2011. -144(1-4): - P. 361-366.
6. Prylypko VA, Vasylenko W. [Safety of food from private farms in contaminated areas]. Agroekologichnyj zhurnal. Special issue. - June, 2009. - P. 268-272.
7. Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides / ICRP Publication 71 : Part 4. - Oxford: Pergamon Press, 1995. - 405 p.
8. Gochfeld M. Statistical analysis of data sets with values below detection limits / Gochfeld M., Burger J., Vyas V. // Amchitka independent science assessment: biological and geophysical aspects of potential radionuclide exposure in the Amchitka marine environment.- Final Report (appendix 11F): - CRESP.- 2005. Available from:[http://www.cresp.org/Amchitka/Amchitka\\_Final\\_Report/index\\_FinalReport.html](http://www.cresp.org/Amchitka/Amchitka_Final_Report/index_FinalReport.html)
9. Hesel DR. Less than obvious. Environ. Science Technol. 24.- 1990.- P 1766-1774.
10. Hesel DR. Nondetects and Data Analysis: Statistics for Censored Environmental Data.- Wiley and Sons, New York.-2005.

Стаття надійшла до редакції 22.06.2015

Received: 22.06.2015