

В. О. Кашпаров^{1,2,*}, Д. М. Голяка¹, С. Є. Левчук¹, В. Б. Берковський^{3,4}¹ Український науково-дослідний інститут сільськогосподарської радіології

Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

² Центр радіоактивності навколишнього середовища Норвезького університету наук про життя, Ос, Норвегія³ ПрАТ Науково-дослідний інститут радіаційного захисту Академії технологічних наук України, Київ, Україна⁴ Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України, Київ, Україна

*Відповідальний автор: uiar.vak@gmail.com

ЗОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЙ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ
ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АВАРІЇ

Зонування територій радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії за очікуваними ефективними дозами опромінення населення й рівнями та щільністю радіонуклідного забруднення земель було одним із найважливіших елементів соціального та радіаційного захисту населення. У 1991 р. 86 населених пунктів було віднесено до зони безумовного (обов'язкового) відселення та 841 населений пункт – до зони гарантованого добровільного відселення. Статус цих населених пунктів зберігається і зараз. Проведений аналіз демонструє, що станом на 2022 р. жоден з населених пунктів України за межами Чорнобильської зони відчуження не відповідає критеріям чинного законодавства щодо віднесення до зони безумовного (обов'язкового) відселення. Показано, що у 2022 р. до зони гарантованого добровільного відселення можуть бути віднесені лише 38 населених пунктів за законодавчим критерієм «щільність забруднення ⁹⁰Sr» та 10 – за критерієм «щільність забруднення ¹³⁷Cs». Робота також зазначає та аналізує положення чинного законодавства, що потребують уточнення.

Ключові слова: ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, Чорнобильська аварія, зона відчуження, зона безумовного (обов'язкового) відселення, зона гарантованого добровільного відселення, зона посиленого радіоекологічного контролю.

1. Зонування територій: 1986 - 2022 рр.

Початкова «циркульна» 30-кілометрова зона евакуації навколо Чорнобильської АЕС (ЧАЕС) була встановлена під час аварійних викидів в умовах обмеженості даних радіологічного моніторингу, швидких змін та невизначеності прогнозів розвитку радіологічної ситуації. На ранньому етапі аварії, до 7 травня 1986 р., було евакуйовано 99195 осіб з 113 населених пунктів: 11358 осіб з 51 населеного пункту Білорусі та 87837 осіб з 62 населених пунктів України [1]. Аналіз оперативних даних, проведений у травні 1986 р., показав, що територія радіоактивного забруднення, де потрібні комплексні заходи радіаційного захисту, виходить далеко за межі 30-кілометрової зони навколо ЧАЕС. Для цілей стратегічного планування заходів радіаційного захисту населення Міністерством охорони здоров'я колишнього СРСР було встановлено тимчасову межу річної ефективної дози опромінення населення величиною у 100 мЗв на період з 26 квітня 1986 р. по 25 квітня 1987 р. (50 мЗв – від зовнішнього та 50 мЗв – від внутрішнього опромінення населення протягом першого року після аварії). Для зонування постраждалих територій було запроваджено такі похідні критерії:

– для зовнішнього опромінення використовувалося середнє значення потужності експозиційної дози (ПЕД) на відкритій місцевості, наведено на 10 травня 1986 р.:

- понад 20 мР·год⁻¹ – зона відчуження – територія, з якої населення евакуйовалося назавжди;

- 5 - 20 мР·год⁻¹ – зона тимчасової евакуації – територія, на яку передбачалося повернути мешканців після нормалізації радіаційної ситуації;

- 3 - 5 мР·год⁻¹ – зона жорсткого контролю – територія, з якої проводився організований вивіз дітей та вагітних жінок у чисті райони на літній період 1986 р.;

– для внутрішнього опромінення наприкінці травня 1986 р. було запропоновано використовувати середню щільність поверхневого забруднення ґрунту в населеному пункті довгоіснуючими біологічно значущими радіонуклідами, а саме: ¹³⁷Cs > 15 Кі·км⁻² (555 кБк·м⁻²), ⁹⁰Sr > 3 Кі·км⁻² (111 кБк·м⁻²), ^{239,240}Pu > 0,1 Кі·км⁻² (3,7 кБк·м⁻²). Держкомгідромет колишнього СРСР забезпечив створення карт радіоактивного забруднення території [2] для такого зонування до початку липня 1986 р.

Швидко визначити щільність забруднення території всіма вищенаведеними радіонуклідами було неможливо, тому в 1986 р. у якості основно-

го критерію для ухвалення рішення про евакуацію населення використовувалась ПЕД на висоті 1 м величиною 5 мРгод^{-1} (близько 50 мкЗвгод^{-1}). Через різний радіонуклідний склад випадінь на конденсаційних цезієвих і паливних цирконій-ніобієвих слідах, за однакових значень ПЕД на 10.05.1986 р., щільність забруднення території ^{137}Cs могла відрізнятись до п'яти разів [3 - 5]. Загалом, у 1986 р. було евакуйовано 24725 осіб зі 108 населених пунктів Білорусі на площі 1542 км^2 та 91406 осіб з 76 населених пунктів України на площі 2157 км^2 . З чотирьох населених пунктів

Брянської області 186 осіб було переселено лише у 1988 р., а в Білорусі й Україні переселення тривало протягом 1991 - 1996 рр.

У 1991 р. ці ж критерії за щільністю забруднення радіонуклідами території, що використовувалися для зони евакуації населення у 1986 р., були використані без змін і додаткових обґрунтувань у союзному й республіканських законах про правовий режим територій, соціальний захист постраждалих громадян і відповідних концепціях для визначення границь зони відселення, відчуження та обов'язкового переселення (табл. 1) [6, 7].

Таблиця 1. Критерії зонування в Україні згідно із законодавством 1991 р. [6, 7] і кількість населених пунктів, що віднесені до зон радіоактивного забруднення [8]

№ зони	Назва зони	Розрахункова річна ефективна доза* (понад дози до аварійного періоду), мЗв	Щільність забруднення радіоізотопами, $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ ($\text{Кі}\cdot\text{км}^{-2}$)			Кількість населених пунктів
			цезій	стронцій	плутоній	
1	Зона відчуження	Територія, з якої проведено евакуацію населення в 1986 р.			76	
2	Зона безумовного (обов'язкового) відселення	може перевищувати 5	≥ 555 (≥ 15)	≥ 111 (≥ 3)	$\geq 3,7$ ($\geq 0,1$)	86
3	Зона гарантованого добровільного відселення	може перевищувати 1, але не вище 5	$\geq 185 - < 555$ ($\geq 5 - < 15$)	$\geq 5,5 - < 111$ ($\geq 0,1 - < 3$)	$\geq 0,37 - < 3,7$ ($\geq 0,01 - < 0,1$)	841
4	Зона посиленого радіоекологічного контролю**	за умови, що більше 0,5, але не вище 1	$\geq 37 - < 185$ ($\geq 1 - < 5$)	$\geq 0,74 - < 5,55$ ($\geq 0,02 - < 0,15$)	$\geq 0,185 - < 0,37$ ($\geq 0,005 - < 0,01$)	1290

* Закон [6] використовує застарілий термін «ефективна еквівалентна доза», який у 1990 р. було замінено МКРЗ на термін «ефективна доза».

** Віднесення до четвертої зони скасовано на підставі Закону № 76-VIII від 28.12.2014.

Стаття 1 Закону України «Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи» [6] визначає, що «До територій, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи, в межах України належать території, на яких виникло стійке забруднення навколишнього середовища радіоактивними речовинами понад до аварійний рівень, що з урахуванням природно-кліматичної та комплексної екологічної характеристики конкретних територій може призвести до опромінення населення понад $1,0 \text{ мЗв}$ ($0,1 \text{ бер}$) за рік, і яке потребує вжиття заходів щодо радіаційного захисту населення та інших спеціальних втручань, спрямованих на необхідність обмеження додаткового опромінення населення, зумовленого Чорнобильською катастрофою, та забезпечення його нормальної господарської діяльності». Проте, на противагу цьому визначенню радіоактивно забруднених територій, з метою соціального захисту населення, у законодавстві було запроваджено

четверту зону посиленого радіоекологічного контролю, де річна ефективна доза осіб з населення була меншою за 1 мЗв (див. табл. 1) [6, 7]. При цьому частину населених пунктів було віднесено до четвертої зони за соціально-економічними факторами, а не за радіологічними критеріями [8].

Методика оцінки ефективних доз опромінення населення за результатами радіаційно-дозиметричної паспортизації населених пунктів, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС, була затверджена у 1996 р. [9].

У 1991 р., постановою Кабінету Міністрів України № 106 [8], 2293 населених пункти у 74 районах 12 областей України було віднесено до чотирьох зон радіоактивного забруднення (див. табл. 1). При цьому більш ніж половину населених пунктів (1290) було віднесено до четвертої зони, що відповідно до статті 1 Закону [6] не зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи. Лише через 23 роки, згідно із Законом [10], четверту зону посиленого

радіоекологічного контролю було скасовано. Статус 86 населених пунктів, що належали до другої зони безумовного (обов'язкового) відселення (ЗБ(О)В), та 841 населений пункт із третьої зони гарантованого добровільного відселення практично не змінювався дотепер. У 2004 р. два населені пункти у Волинській області та чотири у Рівненській області було переведено з другої до третьої зони радіоактивного забруднення у зв'язку з небажанням населення переселятися із цих сіл та обумовленою цим необхідністю збереження бюджетного фінансування соціальної підтримки.

З моменту ухвалення критеріїв зонування [6, 7] та віднесення населених пунктів до різних зон радіоактивного забруднення [8] минуло понад 30 років і радіологічна ситуація змінилася. Останні офіційні дані про річні ефективні дози опромінення населення було отримано у 2011 та 2012 рр. [11 - 13]. Вони показали, що вже 10 років тому жоден населений пункт не відповідав критеріям другої зони радіоактивного забруднення і лише у 31 населеному пункті річна ефективна доза опромінення населення перевищувала критерій 1 мЗв віднесення до третьої зони. Згідно із законодавством [6] у зазначених населених пунктах були необхідні заходи радіаційного захисту населення. Унаслідок радіоактивного розпаду та інших природних процесів продовж трьох десятиліть з моменту аварії щільність забруднення територій ^{90}Sr і ^{137}Cs та їхня біологічна доступність, зменшилася більш ніж у 2 рази. Відповідно, зменшилися і річні ефективні дози опромінення населення. Проте за цей час кількість населених пунктів, що віднесені до другої та третьої зон радіоактивного забруднення, не змінилася.

Метою цієї роботи є аналіз сучасної радіологічної ситуації на територіях, що віднесені до зон радіоактивного забруднення, а також обґрунтування пропозицій щодо внесення змін до законодавства [6] відповідно до сучасних міжнародних підходів

до забезпечення радіаційного захисту населення в існуючих ситуаціях опромінення [14 - 17].

2. Матеріали і методи досліджень

Для оцінки рівнів щільності забруднення ^{90}Sr і ^{137}Cs території населених пунктів (крім зони відчуження) у 2022 р. використовувалися дані дозиметричної паспортизації за 1991 р. [12, 13, 18, 19], скориговані з урахуванням радіоактивного розпаду радіонуклідів:

$$A(t = 2022) = A(t) \cdot \exp(-\ln(2) \cdot (2022 - t)/T_{1/2}), \quad (1)$$

де $A(t)$ – щільність забруднення території ^{90}Sr чи ^{137}Cs на рік t , $\text{кБк} \cdot \text{м}^{-2}$; $T_{1/2}$ – період напіврозпаду ^{90}Sr (28,8 року) чи ^{137}Cs (30,17 року).

Щільність забруднення ^{90}Sr населених пунктів Іванківського району Київської області уточнено за даними широкомасштабного картування району у 2014 р. [5].

Створення картографічних матеріалів чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) за щільністю забруднення ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{238-240}\text{Pu}$ і ^{241}Pu на різні моменти часу проводилося на підставі даних вимірювань з урахуванням радіоактивного розпаду радіонуклідів [3, 5] у середовищі ГІС QGIS 3.16 методом звичайного кригінгу (Ordinary Kriging). Інтерполяція зазначених показників виконувалась як безпосередньо прямим способом (для ^{137}Cs), так і з використанням співвідношення між вказаними радіоізотопами (для ^{90}Sr , $^{238-240}\text{Pu}$ і ^{241}Pu) [3].

Відносні активності радіонуклідів у паливному компоненті чорнобильських радіоактивних випадінь на різні моменти часу (табл. 2), оцінено на підставі даних про вміст радіонуклідів у ядерному паливі четвертого блоку ЧАЕС на 6 травня 1986 р. [3, 20]. Нормування проводилося на сумарну активність ізотопів ^{239}Pu та ^{240}Pu (період напіврозпаду 24100 та 6560 років відповідно), яка зменшується менш ніж на 1 % за 100 років.

Таблиця 2. Відносна активність радіонуклідів паливної компоненти чорнобильських радіоактивних випадінь (нормування на сумарну активність ізотопів $^{239+240}\text{Pu}$)

Радіонукліди	Рік								
	1991	2022	2026	2031	2036	2046	2056	2066	2086
^{90}Sr	84,1	40,4	36,8	32,7	29,1	22,9	18,1	11,3	8,9
^{241}Pu	59,5	13,5	11,0	8,7	6,8	4,2	2,6	1,6	0,6
^{238}Pu	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
$^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
^{241}Am	0,6	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,3	2,3
$^{241}\text{Am}+^{238-240}\text{Pu}$	2,2	3,6	3,6	3,7	3,7	3,7	3,7	3,6	3,6
$^{90}\text{Sr}/^{238-240}\text{Pu}$	52,3	27,4	25,2	22,7	20,4	16,5	13,3	8,6	6,9
$^{90}\text{Sr}/^{241}\text{Pu}$	1,4	3,0	3,3	3,8	4,2	5,4	6,9	7,0	14,4
$^{241}\text{Pu}/^{238-240}\text{Pu}$	37,0	9,1	7,6	6,0	4,8	3,0	1,9	1,2	0,5
$^{241}\text{Am}/^{238-240}\text{Pu}$	0,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8

3. Результати

Оцінки показали, що станом на 2022 р. за межами ЧЗВ немає жодного населеного пункту, що відповідає критеріям віднесення до другої зони (рис. 1, а, табл. 3 - 5).

На рис. 1 наведено карти щільності забруднення ЧЗВ ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{238-240}\text{Pu}$ і ^{241}Pu станом на 2022 і 2086 рр. Отримані результати демонструють, що

зараз критеріям віднесення до другої зони відповідає територія, що за контуром збігається з існуючою 10-кілометровою зоною навколо ЧАЕС (рис. 1, а). Проведений аналіз підтверджує, що радіологічна ситуація на цій території не зміниться навіть у віддаленій перспективі (рис. 1, б), оскільки вона визначатиметься довгоживучими ізотопами $^{239+240}\text{Pu}$.

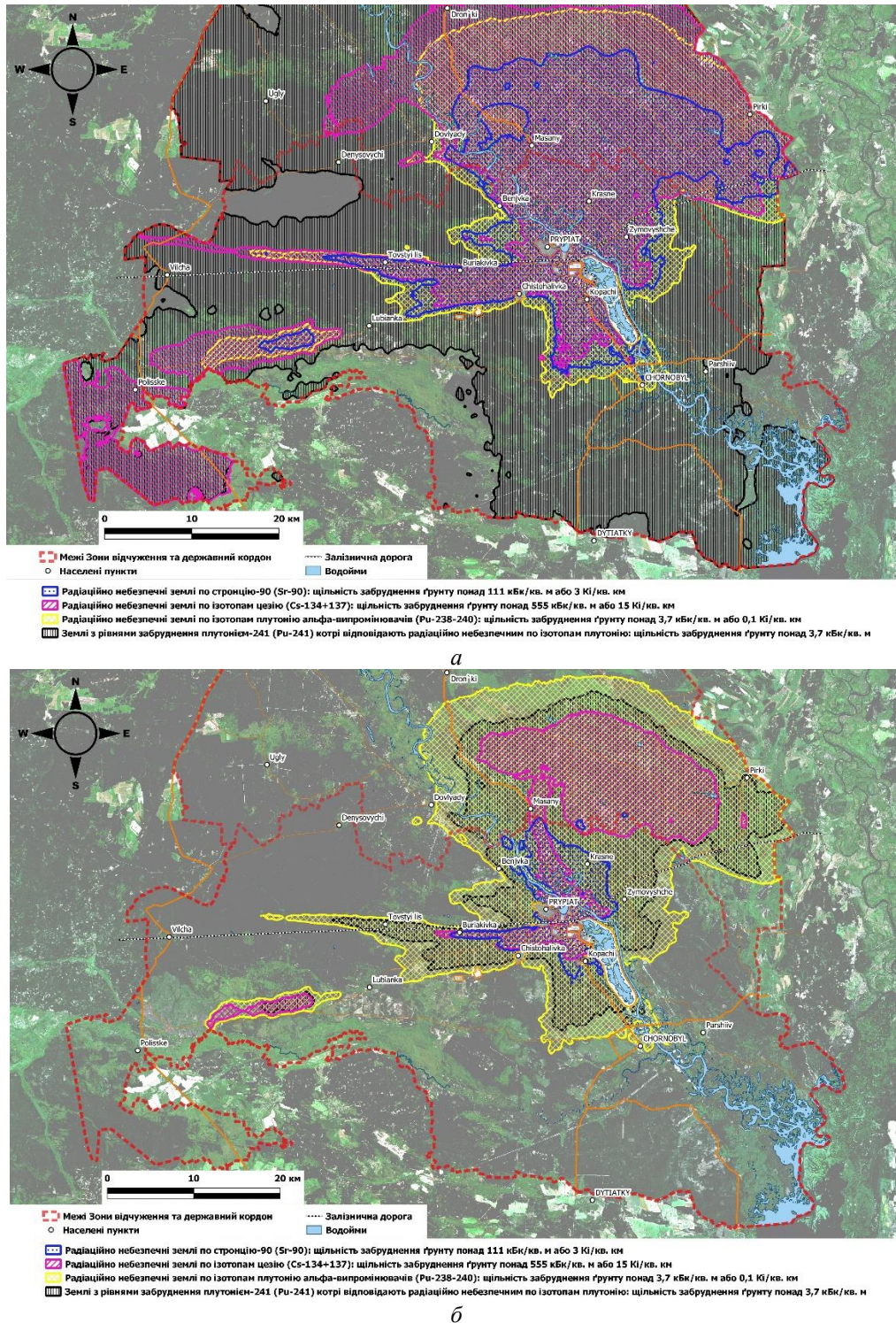


Рис. 1. Карти щільності забруднення ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{238-240}\text{Pu}$ і ^{241}Pu території ЧЗВ станом на 2022 р. (а) і 2086 р. (б). Фонова мапа – зображення відповідних каналів супутникового угруповання Sentinel-2 станом на серпень 2019 р. (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

У табл. 3 наведено 10 населених пунктів Житомирської (9) та Київської (1) областей, де є жителі та щільність забруднення території ^{137}Cs на 2022 р. може відповідати критерію віднесення до третьої зони ($\geq 185 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$). У всіх цих населених пунктах у 2011 - 2012 рр. зовнішнє опромінення

формує 53 - 95 % паспортної річної ефективної дози [12, 13]. Станом на 2022 р. унаслідок розпаду ^{137}Cs інтенсивність γ -випромінювання зменшилася більш ніж на 20 % відносно 2011 - 2012 рр. і відповідно також зменшилися дози зовнішнього опромінення.

Таблиця 3. Населені пункти Житомирської та Київської областей, де щільність забруднення ^{137}Cs території на 2022 р. може відповідати критерію віднесення до третьої зони радіоактивного забруднення ($\geq 185 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$)

№	Населений пункт	Зона	Щільність забруднення ^{137}Cs ґрунту на 2022 р., $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$	Паспортна річна ефективна доза [12, 13], мЗв	
				2011 р.	2012 р.
<i>Житомирська область, Коростенський район</i>					
1	Вороневе	3	241	1,06	1,19
2	Немирівка	3	216	0,85	1,06
<i>Житомирська область, Лугинський район</i>					
3	Рудня-Повчанська	2	227	0,64	0,61
<i>Житомирська область, Малинський район</i>					
4	Рудня-Калинівка	2	238	0,63	–
<i>Житомирська область, Народицький район</i>					
5	Калинівка	2	187	0,53	0,50
6	Лозниця	2	377	1,12	1,05
7	Любарка	2	198	–	–
8	Розсохівське	2	302	1,18	0,91
<i>Житомирська область, Овруцький район</i>					
9	Виступовичі	2	281	1,33	0,76
<i>Київська область, Білоцерківський район</i>					
10	Павлівка	3	191	0,60	0,48

Слід зазначити, що більшість цих населених пунктів у 1991 р. було віднесено до другої зони (див. табл. 3), але лише частково населення з них переселено до інших регіонів.

У 38 населених пунктах Іванківського району Київської області (табл. 4) щільність забруднення території ^{90}Sr на 2022 р. може перевищувати критерій віднесення до третьої зони радіоактивного забруднення ($\geq 5,5 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$) [5]. При цьому для всіх

цих населених пунктів, навіть у 2011 та 2012 рр., паспортна річна ефективна доза внутрішнього опромінення населення не перевищувала 0,37 мЗв [12, 13]. Слід зазначити, що 18 із 38 населених пунктів було віднесено у 1991 р. до четвертої зони, яку було скасовано у 2014 р. [10]. Отже, такі населені пункти нині перебувають поза зонами радіоактивного забруднення.

Таблиця 4. Населені пункти Київської області, де щільність забруднення ^{90}Sr території на 2022 р. може відповідати критерію віднесення до третьої зони радіоактивного забруднення ($\geq 5,5 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$)

№	Населений пункт	Зона	Щільність забруднення ґрунту на 2022 р., $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$		Паспортна річна ефективна доза [12, 13], мЗв	
			^{137}Cs	^{90}Sr	2011 р.	2012 р.
<i>Київська область, Іванківський район</i>						
1	Білий Берег	3	41	9,4	–	–
2	Воропаївка	3	46	16,0	0,38	–
3	Горностайпіль	3	75	17,5	0,49	0,23
4	Губин	3	70	13,6	0,55	–
5	Дитятки	3	74	19,8	0,46	0,25
6	Доманівка	4	49	35,8	–	–
7	Зимовище	4	30	6,2	0,31	–
8	Зорин	3	51	16,2	0,27	–

№	Населений пункт	Зона	Щільність забруднення ґрунту на 2022 р., кБк·м ⁻²		Паспортна річна ефективна доза [12, 13], мЗв	
			¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	2011 р.	2012 р.
<i>Київська область, Іванківський район</i>						
9	Іванків (сmt)	3	41	6,4	0,34	–
10	Карпилівка	3	80	40,0	0,53	–
11	Ковалівка	4	41	18,3	–	–
12	Красилівка	4	43	8,7	–	–
13	Леонівка	4	28	7,9	0,26	–
14	Макарівка	3	27	6,6	0,21	–
15	Мала Макарівка	4	32	6,8	0,22	–
16	Медвин	3	39	17,2	–	–
17	Мокра Корма	4	22	6,6	–	–
18	Нові Макалєвичі	4	23	10,2	0,20	–
19	Нові Соколи	4	37	7,4	0,22	–
21	Оране	3	56	19,2	0,32	–
22	Пироговичі	4	41	7,8	0,25	–
23	Піски	3	75	23,2	0,39	–
24	Прибірськ	3	49	13,7	0,28	0,16
25	Розважів	4	15	6,4	0,17	–
26	Рокитна Слобода	4	41	11,5	–	–
27	Рудня-Гальська	3	43	8,0	0,28	–
28	Рудня-Шпилівська	3	46	13,1	0,29	–
29	Русаки	4	32	12,1	0,19	–
30	Соснівка	4	24	6,4	0,20	–
31	Старі Соколи	3	41	15,2	0,25	0,14
32	Степанівка	3	59	10,2	–	–
33	Страхолісся	3	46	15,6	0,36	–
34	Сукачі	4	44	6,3	0,24	–
35	Фенєвичі	4	39	6,9	0,25	–
36	Фрузинівка	3	47	20,7	0,29	–
37	Хочева	4	30	23,5	–	–
38	Шпилі	4	39	10,0	0,36	–

За даними дозиметричної паспортизації 2011 та 2012 рр. [12, 13] у 31 населеному пункті Житомирської (9) та Рівненської (22) областей (табл. 5) паспортна річна ефективна доза опромінення населення перевищувала критерій віднесення до третьої зони радіоактивного забруднення і не корелювала із щільністю забруднення ґрунту ¹³⁷Cs (рис. 2, а), у той час як зовнішній її компонент корелює зі щільністю забруднення ґрунту з коефіцієнтом кореляції 1. При цьому щільності забруднення ¹³⁷Cs у 26 населених пунктах зараз імовірно нижче за встановлений критерій в 185 кБк·м⁻² (див. табл. 5). Таке співвідношення доз опромінення та щільності забруднення може бути пояснене аномально високими коефіцієнтами переходу ¹³⁷Cs у трав'яну рослинність на торф'яно-болотних ґрунтах, обумовленими цими підвищеними рівнями радіоактивного забруднення молока, та помітно вищими

дозами внутрішнього опромінення населення порівняно з іншими постраждалими територіями (рис. 2, б) [19]. За даними радіологічного моніторингу молока, паспортна річна ефективна доза внутрішнього опромінення для зазначених населених пунктів становила до 85 - 97 % сумарної річної ефективної дози [12, 13]. Тому в населених пунктах Рівненської області в 2011 - 2012 рр., де паспортна доза перевищувала критерій віднесення до третьої зони радіоактивного забруднення (див. табл. 5), спостерігається високий коефіцієнт кореляції Пірсона ($r = 0,998$) між рівнем вмісту ¹³⁷Cs у молоці та величиною паспортної дози (див. рис. 2, б) [12, 13]. Перевищення паспортної дози в 1 мЗв спостерігалось в усіх населених пунктах при рівнях вмісту ¹³⁷Cs у молоці вище гігієнічного нормативу ДР-2006 в 100 Бк л⁻¹ (див. рис. 2, б) [21].

Таблиця 5. Населені пункти Житомирської та Рівненської областей, де паспортна річна ефективна доза опромінення населення у 2011 - 2012 рр. перевищувала критерій віднесення до третьої зони радіоактивного забруднення (> 1 мЗв) [12, 13]

№	Населений пункт	Зона	Щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs на 2022 р., $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$	Паспортна річна ефективна доза, мЗв		$D_{\text{насп}}^{\text{внут.,Cs}} / D_{\text{ЛВЛ}}^{\text{внут.,Cs}}$	
				2011 р.	2012 р.	2011 р.	2012 р.
Житомирська область, Коростенський район							
1	Вороневе	3	241	1,06	1,19	6,0	6,0
2	Немирівка	3	216	0,85	1,06	2,7	4,9
Житомирська область, Лугинський район							
3	Нова Рудня	3	88	1,77	0,24	16,6	–
Житомирська область, Народицький район							
4	Лозниця	2	377	1,12	1,05	0,9	–
5	Народичі (смт)	2	174	1,30	0,82	6,7	2,2
6	Розсохівське	2	302	1,18	0,91	1,5	0,4
Житомирська область, Овруцький район							
7	Виступовичі	2	281	1,33	0,76	3,6	–
8	Першотравневе (смт)	3	111	0,47	1,11	–	11
Житомирська область, Олевський район							
9	Рудня-Озерянська	3	38	1,30	0,50	8,5	2,2
Рівненська область, Дубровицький район							
10	Будимля	2	44	1,26	1,11	6,8	4,3
11	В. Черемель	2	72	1,27	2,35	–	5,0
Рівненська область, Зарічненський район							
12	Бір	3	38	1,86	1,68	–	2,1
13	Борове	3	13	0,64	1,11	4,3	8,3
14	Кухче	3	30	1,03	0,19	23,7	–
15	Лисичин	3	23	1,22	1,30	7,7	–
16	Серники	3	40	1,48	1,03	17,7	3,6
Рівненська область, Рокитнівський район							
17	Березове	3	30	0,77	3,88	5,9	16
18	Вежиця	3	47	2,33	2,18	4,7	4,1
19	Грабунь	3	35	2,44	2,35	–	5,2
20	Дроздинь	3	26	3,26	1,51	8,3	2,5
21	Єльне	3	47	1,67	2,74	9,5	12
22	Заболоття	3	32	1,71	1,70	7,2	3,9
23	Переходичі	3	67	1,84	1,48	6,9	3,0
24	Познань	3	18	0,50	1,15	3,7	7,3
25	Старе Село	3	25	2,80	2,82	7,4	6,1
26	Хміль	3	15	0,80	1,85	5,4	8,2
Рівненська область, Сарненський район							
27	Вири	3	34	0,95	1,02	9,5	10
28	Клесів	3	73	1,16	0,69	11,9	4,0
29	Пугач	3	35	1,20	1,37	11,2	9,1
30	Рудня-Карпилівська	3	44	1,01	1,04	6,2	2,9
31	Чемерне	3	30	1,11	0,90	15,8	9,8

Розрахунковий ефективний період напівзменшення вмісту ^{137}Cs у молоці ($T_{1/2, \text{eff}}$), що враховує його радіоактивний розпад і незворотну фіксацію торф'яно-болотними ґрунтами у населених пунктах Рівненської області, продовж останніх 10 років становив від 8 до 17 років [19]. Тому можна припустити, що річна ефективна доза опромінення населення в населених пунктах Рівненської області у 2022 р. (за даними питомою активності ^{137}Cs у місцевому молоці й картоплі, відповідно до Методики-96 [9]), може суттєво відрізнятися від результатів десятирічної давнини (див. табл. 5).

Варто також зазначити високий консерватизм оцінки річної ефективної дози внутрішнього опромінення за даними моніторингу молока ($D_{\text{насп}}^{\text{внут.,Cs}}$) порівняно з дозами внутрішнього опромінення, розрахованими за даними вимірювань ^{137}Cs в організмі жителів лічильниками випромінювання людини (ЛВЛ) – ($D_{\text{ЛВЛ}}^{\text{внут.,Cs}}$), за винятком сіл Лозниця та Розсохівське Житомирської області (див. табл. 5) [12, 13].

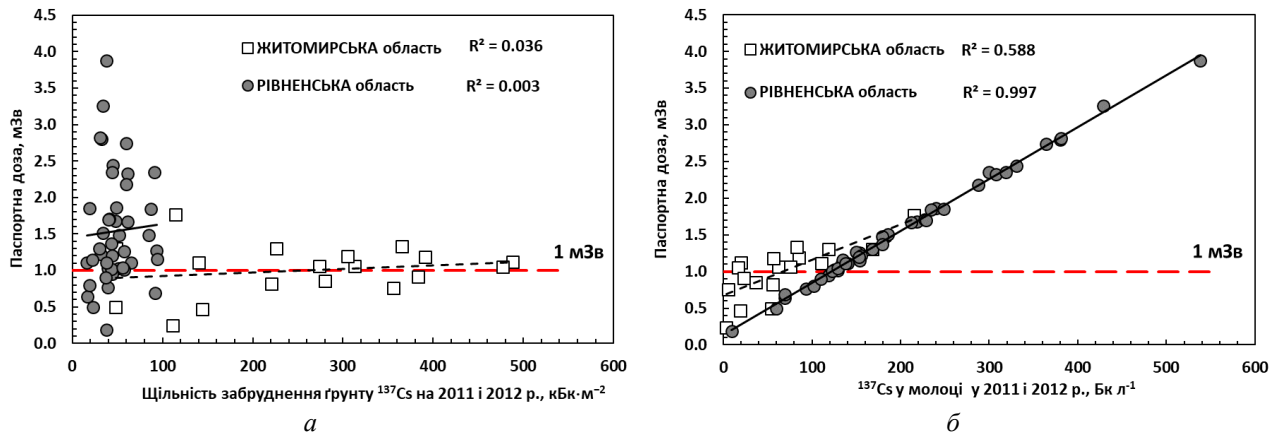


Рис. 2. Співвідношення між величиною паспортної дози опромінення на населених пунктах (див. табл. 5), де вона у 2011 - 2012 рр. перевищувала критерій віднесення до третьої зони радіоактивного забруднення та: *a* – величиною щільності забруднення ґрунту ^{137}Cs ; *b* – величиною вмісту ^{137}Cs у молоці [12, 13].

4. Обговорення та висновки

1. Радіологічні умови ЧЗВ у ближній зоні ЧАЕС відповідають чинним критеріям віднесення до другої зони. Такі території за контуром збігаються з існуючою 10-кілометровою зоною навколо ЧАЕС (див. рис. 1, *a*). Унаслідок довготривалого забруднення цих територій фрагментами ядерного палива вони є непридатними для проживання населення та використання без обмежень за радіологічним фактором. Законодавче визначення таких територій «зоною спеціального промислового використання» навколо ЧАЕС дасть змогу забезпечити радіологічний захист нинішнього та майбутніх поколінь при поводженні з радіоактивними матеріалами ядерної промисловості України.

2. Значна частина ЧЗВ за межами існуючої 10-кілометрової зони навколо ЧАЕС, що переважно входить до складу Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника, не відповідає чинним законодавчим критеріям віднесення до другої зони. При цьому спостерігається суттєва неоднорідність радіонуклідного забруднення зазначених територій та на них знаходяться елементи природних екосистем зі значними концентраціями радіонуклідів (перш за все – гриби). Необмежений та безумовний доступ населення до таких територій може бути пов'язаний з невиправданим додатковим опроміненням. Автори вважають, що території ЧЗВ, які не будуть включені до складу запропонованої зони спеціального промислового використання, мають бути законодавчо визначені як буферна зона, що відокремлює зону спеціального промислового використання від інших територій з необмеженим доступом населення, зокрема від селітебних, рекреаційних, сільськогосподарських територій навколо ЧЗВ.

3. Проведений аналіз показав, що станом на 2022 р. радіологічні показники всіх населених

пунктів за межами чорнобильської зони відчуження не досягають критеріїв віднесення територій до «зони безумовного (обов'язкового) відселення» (друга зона). Згідно з чинним законодавством до «зони гарантованого добровільного відселення» (третья зона) можуть бути віднесені: 38 населених пунктів – за щільністю забруднення ^{90}Sr та 10 населених пунктів – за щільністю забруднення ^{137}Cs .

4. Захисна величина «ефективна доза» є основним кількісним критерієм радіаційного захисту [15]. В існуючих ситуаціях опромінення, до яких згідно з міжнародними рекомендаціями відноситься поточне опромінення населення внаслідок аварії на ЧАЕС, оптимізація радіаційного захисту населення здійснюється з використанням референтних рівнів, що встановлюються в термінах очікуваної річної ефективної дози репрезентативної особи в діапазоні 1 - 20 мЗв. Референтний рівень залежить від можливостей контролювати ситуацію та від досвіду управління подібними ситуаціями опромінення [14 - 17].

5. Всупереч тому, що дозові межі для евакуації та переселення населення в 1986 та 1991 рр. відрізнялися у 20 разів, критерії нормативно-правових актів 1991 р. [6, 7] щодо щільності радіонуклідного забруднення території були встановлені без змін і прозорих обґрунтувань. У нормативно-правових актах 1991 р. дозові критерії для другої та третьої зон відрізняються в 5 разів (річні ефективні дози 5 та 1 мЗв), а критерії за щільністю забруднення території, які повинні відповідати первинним дозовим критеріям, відрізняються для ^{137}Cs в 3 рази (555 та 185 $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$), для ^{90}Sr у 20 разів (111 та 5,5 $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$), а для ізоотопів плутонію у 10 разів (3,7 та 0,37 $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$) [6, 7]. Наслідком встановлення цього є надзвичайний консерватизм критеріїв зонування за щільністю забруднення ^{90}Sr та α -випромінюючими ізоотопами плутонію.

6. Відношення активностей радіонуклідів $^{90}\text{Sr}/^{238-240}\text{Pu}$ у 1991 та 2022 рр. для чорнобильської паливної компоненти радіоактивних випадів становило відповідно 52,3 та 27,4 (див. табл. 2). Це гарантує, що при щільності забруднення території ^{90}Sr 111 та 5,5 $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ (критерії віднесення до другої та третьої зон) з урахуванням вкладу конденсаційної компоненти радіоактивних випадів щільність забруднення території ізотопами $^{238-240}\text{Pu}$ у 1991 р. завжди була набагато меншою, ніж 2,1 і 0,11 $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$, а у 2022 р. ця щільність забруднення є набагато меншою, ніж 4,0 та 0,2 $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ відповідно. Це гарантує неперевикнення законодавчих критеріїв для забруднення ізотопами плутонію другої та третьої зон (3,7 та 0,37 $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$) [3, 20]. Таким чином, застосування законодавчого критерію для стронцію достатньо для забезпечення відповідності законодавчим вимогам щодо плутонію.

7. Критерії за щільністю забруднення території ізотопами плутонію другої (3,7 $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$) і третьої зон (0,37 $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$) у 1991 р. були вкрай консервативними. Значення коефіцієнтів вторинного вітрового підйому/ресуспезії чорнобильських радіонуклідів (відношення об'ємної питомої активності радіонукліда в приземному шарі повітря до щільності забруднення ним території), що спостерігалися, змінювалися від 10^{-5} м^{-1} протягом першого року після аварії до $10^{-9} - 10^{-10} \text{ м}^{-1}$ через 3 - 5 років і пізніше [22, 23]. Тому в 1986 р. запровадження настільки жорстких критеріїв для евакуації населення за $^{239,240}\text{Pu} > 3,7 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ було виправдано, ще й з урахуванням внеску активності α -випромінюючого ^{242}Cm з періодом напіврозпаду 162,8 діб (з 1986 по 1987 рр. відношення $^{242}\text{Cm}/^{239,240}\text{Pu}$ зменшувалося з 18 до 4). У 1991 р. і пізніше за щільності забруднення території $^{238-240}\text{Pu}$ 3,7 $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ об'ємна концентрація α -випромінюючих радіоізотопів плутонію в повітрі становила і зберігається надалі в межах $3,7\cdot 10^{-6} - 3,7\cdot 10^{-7} \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, що у 100 - 1000 разів менше за допустиму концентрацію $4\cdot 10^{-4} \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ $^{238-240}\text{Pu}$ та ^{241}Am у повітрі для населення [24]. Тому цей критерій є не виправдано заниженим і вкрай консервативним з погляду формування дози внутрішнього опромінення через інгаляційне надходження трансуранових елементів, навіть з огляду на збільшення активності ^{241}Am (див. табл. 2).

8. У статті 2 Закону [6] термін «ізотопи плутонію» не має однозначного визначення, а саме «альфа-випромінюючі ізотопи плутонію – $^{238, 239, 240}\text{Pu}$ » [6, 7]. Необхідність такого уточнення обумовлена тим, що в чорнобильських радіоактивних випадіннях присутній β -випромінюючий ізотоп ^{241}Pu , щільність забруднення ґрунту яким

перевищувала щільність забруднення ґрунту α -випромінюючими ізотопами $^{238, 239, 240}\text{Pu}$ в 1991 р. в 37 разів, а на сьогодні це перевищення становить майже 9 разів (див. табл. 2) [3]. Водночас, завдяки низькій енергії випромінювання, дозові коефіцієнти для ^{241}Pu суттєво нижчі відповідних дозових коефіцієнтів α -випромінюючих ізотопів $^{238, 239, 240}\text{Pu}$ та ^{241}Am [14, 24]. У чинній редакції Закону [6] термін «ізотопи плутонію» може трактуватися як сума ізотопів плутонію 238, 239, 240 і 241 [6, 7]. У такому трактуванні критерієм віднесення території до зони радіоактивного забруднення може бути щільність забруднення ґрунту ^{241}Pu , що суттєво розширить територію другої зони радіоактивного забруднення за межі ЧЗВ і є помилковим (див. рис. 1, а) [20].

9. Через радіоактивний розпад ^{241}Pu (період напіврозпаду 14,4 року) у чорнобильських радіоактивних випадіннях відбувається збільшення активності ^{241}Am (період напіврозпаду 432,6 року). Активність ^{241}Am досягне максимальних значень у 2056 р. (див. табл. 2) [3]. Це збільшення не впливає на радіологічну ситуацію на радіоактивно забруднених територіях, яка зараз визначається ^{90}Sr і ^{137}Cs . Внесок ^{241}Am у формування дози внутрішнього опромінення є співмірним з консервативним внеском $^{238-240}\text{Pu}$ (див. табл. 2), а формування зовнішньої дози опромінення буде на два порядки величини менше, порівнюючи з ^{137}Cs протягом ще сотні років. У зв'язку з вищенаведеним, пом'якшення критерію щільності забруднення території α -випромінюючими радіонуклідами дало б змогу значно скоротити площі радіаційно небезпечних земель у ЧЗВ у майбутньому без додаткових витрат (див. рис. 1, б).

10. Не спостерігається відповідності між критеріями ефективної дози опромінення населення і щільністю радіонуклідного забруднення території (див. табл. 3 - 5, рис. 2, а). У всіх 38 населених пунктах, де щільність забруднення території ^{90}Sr перевищує критерій віднесення до третьої зони, річні дози опромінення населення менше, ніж 1 мЗв. На всіх територіях поза ЧЗВ, за винятком зерна продовольчого, вміст ^{90}Sr у харчових продуктах не перевищує допустимі рівні [25].

11. У населених пунктах Рівненської області, де паспортна річна ефективна доза опромінення населення у 2011 - 2012 рр. перевищувала 1 мЗв (див. табл. 5), домінувало внутрішнє опромінення [12, 13, 19, 21]. При цьому щільність забруднення території ^{137}Cs в цих населених пунктах набагато нижча за критерій віднесення до третьої зони. Розрахункові паспортні дози внутрішнього опромінення населення у цих населених пунктах у 2 - 24 рази перевищували оцінки доз за вмістом ^{137}Cs в тілі (див. табл. 5) [12, 13, 26]. Моніторинг вмісту

^{137}Cs у молоці корів у критичних населених пунктах Житомирської та Рівненської областей, який проводився протягом останніх 5 років, показав, що значення середньорічної питомої активності ^{137}Cs може перевищувати допустимі рівні (100 Бк л^{-1}) лише на Рівненщині в селах (за зменшенням рівнів забруднення): Старе Село, Дроздинь, Вежиця, Переходичі, Будки-Кам'янські, Великий Черемель, Хміль, Єльне, Борове, Лисичин [27, 28].

12. Згідно з міжнародними рекомендаціями компетентний орган повинен періодично переглядати референтні рівні з метою забезпечення їхньої відповідності обставинам, що склалися [14 - 17]. Кабінет Міністрів України подав до Верховної Ради України проєкт Закону про внесення змін до деяких законів України щодо визначення категорій зон радіоактивно забруднених територій та забезпечення населення інформацією про їхній радіаційний стан (реєстр. № 6476 від 28.12.2021 р.) [29], який відповідає сучасним рекомендаціям МКРЗ та міжнародним стандартам безпеки [14 - 17]. Відповідно до міжнародних рекомендацій базовим кількісним критерієм при прийнятті рішень щодо забезпечення радіаційного захисту має бути доза опромінення людини. У сучасних умовах оцінки доз внутрішнього опромінення за даними вимірювань на ЛВЛ є більш надійними порівняно

з оцінками за даними моніторингу харчових продуктів [30, 31].

13. Щільність радіонуклідного забруднення території може використовуватись як похідний критерій зонування у разі, коли даних для визначення доз опромінення людини недостатньо. Наприклад, повернення в господарське використання раніше виведених сільськогосподарських угідь другої зони.

14. За межами ЧЗВ немає жодного сенсу проводити тривалі та дорогі вимірювання активності трансуранових елементів з метою визначення відповідності вкрай консервативним чинним критеріям зонування для плутонію ($\leq 3,7 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$), якщо при цьому дотримується критерій зонування по ^{90}Sr ($\leq 111 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$) [20].

Прийшов час дійсно оптимізованих заходів радіологічного захисту як в умовах війни, так і у післявоєнний час. Зонування чорнобильських територій є важливим та дієвим інструментом такої оптимізації захисту. Невиправдані, з радіологічної точки зору, обмеження на соціально-економічний розвиток чорнобильських територій мають бути негайно усунені на законодавчому рівні. Фінансові та наукові ресурси держави потрібні для протидії ключовим радіологічним загрозам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience*. L. Anspaugh, M. Balonov (Eds.). Report of the Chernobyl Forum Expert Group "Environment". STI/PUB/1239 (Vienna: International Atomic Energy Agency, 2006) 170 p.
2. Ю.А. Израэль и др. *Чернобыль: Радиоактивное загрязнение природных сред* (Ленинград: Гидрометеоиздат, 1990) 296 с.
3. V. Kashparov et al. Spatial radionuclide deposition data from the 60 km radial area around the Chernobyl Nuclear Power Plant: results from a sampling survey in 1987. *Earth System Science Data (ESSD)* 12 (2020) 1861.
4. D. Holiaka et al. Effects of radiation on radial growth of Scots pine in areas highly affected by the Chernobyl accident. *Journal of Environmental Radioactivity* 222 (2020) 106320.
5. V. Kashparov et al. Spatial datasets of radionuclide contamination in the Ukrainian Chernobyl Exclusion Zone. *Earth System Science Data (ESSD)* 10 (2018) 339.
6. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи. Закон України від 28.02.91 р. № 795-ХІІ. *Відомості Верховної Ради УРСР* 16 (1991) ст. 198.
7. Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи. Закон України від 28.02.91 р. № 797-ХІІ. *Відомості Верховної Ради УРСР* 16 (1991) ст. 200.
8. Перелік населених пунктів, віднесених до зон радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи. Постанова КМ України від 23 липня 1991 р. № 106.
9. *Радиационно-дозиметрическая паспортизация населенных пунктов территории Украины, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии ЧАЭС, включая тиреодозиметрическую паспортизацию*. Офіційне видання. Затверджено МОЗ України та НКРЗ України (К.: ННЦРМ АМН України та АТ НДІ РЗ АТН України, 1996) 73 с.
10. Про внесення змін та визнання такими, що втратили чинність, деяких законодавчих актів України. Закон України від 28.12.2014 р. № 76-VIII. *Відомості Верховної Ради України* 6 (2015) ст. 40.
11. *Радіологічний стан територій, віднесених до зон радіоактивного забруднення*. В. І. Холоша (ред). (К.: Вета, 2008) 54 с.
12. І.А. Ліхтарьов та ін. *Загальнодозиметрична паспортизация населених пунктів України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії*. Узагальнені дані за 2011 р. Збірка 14 (К.: МНС, 2012) 99 с.
13. І.А. Ліхтарьов та ін. *Загальнодозиметрична паспортизация та результати ЛВЛ-моніторингу в*

- населених пунктах України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської катастрофи. Дані за 2012 р. Збірка 15 (К.: МНС, 2013) 34 с.
14. *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*. No. GSR Part 3. (Vienna: International Atomic Energy Agency, 2014) 471 p.
 15. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37(2-4) (2007) 339 p.
 16. *Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency*. ICRP Publication 111. *Ann. ICRP* 39(3) (2009) 74 p.
 17. 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. *Official Journal of the European Union* (2014) 73 p.
 18. Рівні опромінення населення, яке проживає на забруднених після аварії на ЧАЕС територіях України. Інформаційно-довідковий пакет комп'ютерних програм. Паспорт 1991 - 2006 (К.: ПРООН-ЧПВР, 2007).
 19. I. Labunska et al. Current radiological situation in areas of Ukraine contaminated by the Chernobyl accident: Part 1. Human dietary exposure to Caesium-137 and possible mitigation measures. *Environment International* 117 (2018) 250.
 20. V. A. Kashparov et al. Territory contamination with the radionuclides representing the fuel component of Chernobyl fallout. *The Science of the Total Environment* 317(1-3) (2003) 105.
 21. M. Balonov et al. Harmonization of standards for permissible radionuclide activity concentrations in foodstuffs in the long term after the Chernobyl accident. *Journal of Radiological Protection* 38 (2018) 854.
 22. E. K. Garger, F. O. Hoffman, K. M. Thiessen. Uncertainty of the long-term resuspension factor. *Atmospheric Environment* 31 (1997) 1647.
 23. W. Holländer, E. Garger. *Contamination of Surface by Resuspended Material*. ECP-1, Final 13 Report, Rep. EUR 16527 (Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1996)
 24. *Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)* (К., 1997) 127 с.
 25. I. Labunska et al. Current radiological situation in areas of Ukraine contaminated by the Chernobyl accident: Part 2. Strontium-90 transfer to culinary grains and forest woods from soils of Ivankiv district. *Environment International* 146 (2021) 106282.
 26. A. Ulanovsky et al. ReSCA: decision support tool for remediation planning after the Chernobyl accident. *Radiation and Environmental Biophysics* 50 (2011) 67.
 27. www.uia.org.ua/Ukr/nine_milk.htm
 28. В. Зиль. *Звіт про радіологічний контроль продукції в агропромисловому комплексі Рівненської області за 2018 - 2021 рік* (Рівне: Центр з організації радіологічного контролю в агропромисловому комплексі Рівненської області, 2021).
 29. *Проект Закону про внесення змін до деяких законів України щодо визначення категорій зон радіоактивно забруднених територій та забезпечення населення інформацією про їх радіаційний стан*. Номер, дата реєстрації: № 6476 від 28.12.2021 р., внесений Кабінетом Міністрів України.
 30. *Розробка інструктивно-методичних вказівок щодо радіаційно-дозиметричної паспортизації населених пунктів території зони безумовного (обов'язкового) відселення, що зазнали радіоактивного забруднення в результаті аварії на ЧАЕС для населених пунктів, у яких населення споживає продукти харчування місцевого виробництва*. Звіт про НДР (К.: АТ «НДІ РЗ АТН України», 2019) 153 с.
 31. S. Fesenko et al. Monitoring in animal breeding in response to nuclear or radiological emergencies: Chernobyl experience. *Journal of Environmental Radioactivity* 233 (2021) 106603.

V. O. Kashparov^{1,2,*}, D. M. Holiaka¹, S. E. Levchuk¹, V. B. Berkovskyy^{3,4}

¹ Ukrainian Institute of Agricultural Radiology,

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² Center for Environmental Radioactivity (CERAD), Norwegian University of Life Sciences, Ås, Norway

³ Ukrainian Radiation Protection Institute, Kyiv, Ukraine

⁴ National Research Center for Radiation Medicine of the NAMS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: uia.vak@gmail.com

ZONING OF RADIOACTIVELY CONTAMINATED TERRITORIES AFTER THE CHORNOBYL ACCIDENT

The radiological zoning of Chernobyl contaminated areas was one of the essential elements of social and radiation protection. The zoning was based on estimates of annual committed effective doses to members of the public and on the levels of radionuclide deposition density. In 1991, 86 settlements were classified as associated with the zone of unconditional (mandatory) resettlement, and 841 settlements were assigned to the zone of guaranteed voluntary resettlement. The status of these settlements has been preserved until now. The assessments showed that as of 2022, for all settlements located outside the Chernobyl Exclusion Zone the radiological conditions do not exceed the current legislative criteria

for inclusion in the zone of unconditional (mandatory) resettlement. It is also shown that in 2022, the zone of guaranteed voluntary resettlement can be assigned for: only 38 settlements, according to the legislative criterion “ ^{90}Sr density of contamination” and only 17 settlements, according to the legislative criterion “ ^{137}Cs density of contamination”. The work also indicates and analyses the provisions of current legislation that require clarification.

Keywords: ^{90}Sr , ^{137}Cs , Chernobyl accident, exclusion zone, zone of an unconditional (obligatory) resettlement, zone of guaranteed voluntary resettlement, zone of enhanced radioecological monitoring.

REFERENCES

1. *Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience*. L. Anspaugh, M. Balonov (Eds.). Report of the Chernobyl Forum Expert Group “Environment”. STI/PUB/1239 (Vienna: International Atomic Energy Agency, 2006) 170 p.
2. Yu.A. Israel et al. *Chornobyl: Radioactive Contamination of Natural Environments* (Leningrad: Gidrometizdat, 1990) 296 p. (Rus)
3. V. Kashparov et al. Spatial radionuclide deposition data from the 60 km radial area around the Chernobyl Nuclear Power Plant: results from a sampling survey in 1987. *Earth System Science Data (ESSD)* 12 (2020) 1861.
4. D. Holiaka et al. Effects of radiation on radial growth of Scots pine in areas highly affected by the Chernobyl accident. *Journal of Environmental Radioactivity* 222 (2020) 106320.
5. V. Kashparov et al. Spatial datasets of radionuclide contamination in the Ukrainian Chernobyl Exclusion Zone. *Earth System Science Data (ESSD)* 10 (2018) 339.
6. On the Legal Regime of the Territory Suffered from Radioactive Contamination as a Result of the Chernobyl Accident. Law of Ukraine of February 28, 1991, No. 795-XII. *Vidomosti Verkhovnoyi Rady URSR* 16 (1991) Art. 198. (Ukr)
7. On the Status and Social Protection of Citizens Affected by the Chernobyl Accident. Law of Ukraine of February 28, 1991, No. 797-XII. *Vidomosti Verkhovnoyi Rady URSR* 16 (1991) Art. 200. (Ukr)
8. List of Settlements Classified as Areas of Radioactive Contamination Due to the Chernobyl Accident. *Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 23 July, 1991 No. 106* (Ukr).
9. *Radiation Dosimetry Certification of Settlements in Ukraine Contaminated as a Result of the Accident at Chernobyl NPP Including Thyroid Dose Assessment*. Official Publication. Approved by Ministry of Health and National Radiation Protection Commission of Ukraine (Kyiv, SCRM AMS of Ukraine and JSC Ukrainian Radiation Protection Institute, 1996) 73 p. (Rus).
10. *On Amendments and Repeal of Certain Legislative Acts of Ukraine*. Law of Ukraine of December 28, 2014, No. 76-VIII. *Vidomosti Verkhovnoyi Rady URSR* 40 (2015) Art. 40. (Ukr).
11. *Radiological Situation on the Territories Assigned as the Zones of Radiological Contamination*. V. I. Kholosha (Ed.) (Kyiv, Veta, 2008) 54 p. (Ukr)
12. I.A. Likhtariov et al. *General Dosimetry Certification and Monitoring Results of Human Radiation Counters in the Settlements Contaminated After the Chernobyl Accident*. Data on 2011. Collection 14 (Kyiv, Ministry of Emergency Situations of Ukraine, 2012) 99 p. (Ukr)
13. I.A. Likhtariov et al. *General Dosimetry Certification and Monitoring Results of Human Radiation Counters in the Settlements Contaminated After the Chernobyl Accident*. Data on 2012. Collection 15. (Kyiv, Ministry of Emergency Situations of Ukraine, 2013) 34 p. (Ukr)
14. *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*. No. GSR Part 3. (Vienna: International Atomic Energy Agency, 2014) 471 p.
15. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37(2-4) (2007) 339 p.
16. *Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency*. ICRP Publication 111. *Ann. ICRP* 39(3) (2009) 74 p.
17. 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. *Official Journal of the European Union* (2014) 73 p.
18. Levels of Exposure of the Population Living in the Contaminated Areas of Ukraine after the Chernobyl Accident. Information package of computer programs. Passport 1991 - 2006 (Kyiv: UNDP, 2007). (Ukr)
19. I. Labunska et al. Current radiological situation in areas of Ukraine contaminated by the Chernobyl accident: Part 1. Human dietary exposure to Caesium-137 and possible mitigation measures. *Environment International* 117 (2018) 250.
20. V. A. Kashparov et al. Territory contamination with the radionuclides representing the fuel component of Chernobyl fallout. *The Science of the Total Environment* 317(1-3) (2003) 105.
21. M. Balonov et al. Harmonization of standards for permissible radionuclide activity concentrations in foodstuffs in the long term after the Chernobyl accident. *Journal of Radiological Protection* 38 (2018) 854.
22. E. K. Garger, F. O. Hoffman, K. M. Thiessen. Uncertainty of the long-term resuspension factor. *Atmospheric Environment* 31 (1997) 1647.
23. W. Holländer, E. Garger. *Contamination of Surface by Resuspended Material*. ECP-1, Final 13 Report,

- Rep. EUR 16527 (Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1996).
24. *Standards of Radiation Safety of Ukraine (NRBU-97)* (Kyiv, 1997) 127 p. (Ukr)
 25. I. Labunska et al. Current radiological situation in areas of Ukraine contaminated by the Chernobyl accident: Part 2. Strontium-90 transfer to culinary grains and forest woods from soils of Ivankiv district. *Environment International* 146 (2021) 106282.
 26. A. Ulanovsky et al. ReSCA: decision support tool for remediation planning after the Chernobyl accident. *Radiation and Environmental Biophysics* 50 (2011) 67.
 27. www.uiaar.org.ua/Ukr/nine_milk.htm
 28. V. Zyl. Report on Radiological Control of Products in the Agro-Industrial Complex of Rivne Region for 2018 - 2021 (Rivne: Center for the Organization of Radiological Control in the Agro-Industrial Complex of Rivne Region, 2021). (Ukr)
 29. Draft of the Law on Amendments to Certain Laws of Ukraine on Determining Categories of Zones of Radioactively Contaminated Territories and Providing the Population with Information on Their Radiation Status. Number, data of Registration: No. 6476 of December 28, 2021), introduced by the Cabinet of Ministers of Ukraine. (Ukr)
 30. *Development of a Guideline for Dosimetric Passports of Settlements in the Territory of the Zone of Unconditional (Mandatory) Resettlement that were Affected by Radioactive Contamination as a Result of the Accident at the Chernobyl NPP, for Settlements where the Population Consumes Locally Produced Foodstuff*. Report (Kyiv: JSC Ukrainian Radiation Protection Institute, 2019) 153 p. (Ukr)
 31. S. Fesenko et al. Monitoring in animal breeding in response to nuclear or radiological emergencies: Chernobyl experience. *Journal of Environmental Radioactivity* 233 (2021) 106603.

Надійшла/Received 09.05.2022