

Л. М. Отрешко, С. Е. Левчук, Л. В. Йощенко

*Український науково-дослідний інститут сільськогосподарської радіології (УкрНДІСГР)  
Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ***ВМІСТ  $^{90}\text{Sr}$  В ЗЕРНІ НА ПАЛИВНИХ СЛІДАХ  
ЧОРНОБИЛЬСЬКИХ РАДІОАКТИВНИХ ВИПАДАНЬ**

У 2012 - 2013 рр. з усіх полів Іванківського району Київської області, прилеглих до зони відчуження ЧАЕС, де вирощувались зернові культури, був проведений відбір проб ґрунту та зерна. У всіх відібраних зразках вимірювалась активність  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$ , у ґрунтових зразках визначались також частка  $^{90}\text{Sr}$  та кальцію в обмінній формі і кислотність ґрунтового розчину, було уточнено залежність коефіцієнтів переходу  $^{90}\text{Sr}$  у зерно. При проведенні досліджень відбір проб відбувався згідно з СОУ 74.14-37-425:2006, СОУ 74.14-37-424:2006 та СОУ 01.1-37-426:2006. Активність  $^{90}\text{Sr}$  визначалась за стандартною радіохімічною методикою.

*Ключові слова:* Чорнобильська аварія, питома активність, паливні частинки, допустимі рівні, коефіцієнт переходу, контрзаходи.

**Вступ**

Більше 90 % активності  $^{90}\text{Sr}$  в результаті Чорнобильської аварії було викинуто в особливій фізико-хімічній формі - у складі матриці паливних частинок, що призвело до забруднення в основному ближньої 30-кілометрової зони відчуження (ЗВ) ЧАЕС і прилеглих до неї територій [1]. Південний слід чорнобильських радіоактивних випадань характеризується підвищеним вмістом паливних частинок [2] і найбільшими рівнями щільності забруднення території  $^{90}\text{Sr}$  за межами зони відчуження і безумовного (обов'язкового) відселення, на якій ведеться господарська діяльність і проживає населення [1].

Динаміка забруднення рослинності  $^{90}\text{Sr}$  на паливних слідах радіоактивних випадань принципово відрізняється від конденсаційних слідів, глобальних випадань радіонуклідів після випробувань ядерної зброї в атмосфері, Киштимської аварії в 1957 р. чи після інжекції радіонуклідів у ґрунт у водорозчинній формі [3]. Максимальні рівні кореневого забруднення рослинності на конденсаційних слідах спостерігаються в перші роки після радіоактивних випадань, і з часом забруднення монотонно зменшується за рахунок фіксації радіонуклідів, особливо необхідної, ґрунтовим комплексом (більш характерної для  $^{137}\text{Cs}$ , ніж для  $^{90}\text{Sr}$ ) та їхньої міграції, хоч і незначної, із кореневмісного шару ґрунту (для  $^{90}\text{Sr}$  дещо більшої ніж, для  $^{137}\text{Cs}$ ). На паливних слідах у перші післяаварійні роки радіонукліди, включені у важкорозчинну матрицю паливних частинок, були малодоступні для кореневого засвоєння рослинами. Але з часом при тривалому контакті з повітрям, водою, мікрофлорою відбувається деструкція паливних частинок і вилуговування ра-

діонуклідів у ґрунтовий розчин. За рахунок цього забруднення рослинності поступово зростало і досягло максимуму тільки на 5 - 20-й рік після аварії залежно від ступеня трансформації паливних частинок і кислотності середовища [4]. Найбільш пізно досягає максимуму забруднення рослинності  $^{90}\text{Sr}$  на нейтральних ґрунтах (через 20 - 25 років), що пов'язано з найменшою швидкістю розчинення паливних частинок в цих умовах, при цьому рівень забруднення приблизно в 2,5 рази нижче в порівнянні з максимальним рівнем на конденсаційних слідах випадань [5]. На дерново-підзолистих піщаних і супіщаних ґрунтах з кислою реакцією ґрунтового розчину на паливних слідах радіоактивних випадань максимум кореневого забруднення рослинності  $^{90}\text{Sr}$  припадає на 3 - 10-й рік після аварії. Мінеральні ґрунти з низьким вмістом гумусу, як правило, містять і малу кількість обмінного кальцію, що призводить до максимальних рівнів коефіцієнтів переходу доступного  $^{90}\text{Sr}$  з ґрунту в рослини. Відповідно до рекомендацій по веденню сільськогосподарського виробництва на радіоактивно забруднених територіях протягом першого десятиліття після Чорнобильської аварії для зменшення радіоактивного забруднення рослинності інтенсивно і регулярно застосовувався такий загальновідомий сільськогосподарський контрзахід, як вапнування кислих ґрунтів у підвищених дозах [6]. Це призводило до зменшення кислотності ґрунтового розчину і, відповідно, швидкості розчинення паливних частинок, швидкості вилуговування і вмісту  $^{90}\text{Sr}$  в біологічно доступній формі, а також збільшенню вмісту в ґрунті обмінного кальцію і зменшенню кореневого надходження  $^{90}\text{Sr}$  в рослини. На жаль, після 1996 р. застосування сільськогосподарських контрзахо-

дів в Україні було зменшене в десятки разів і останні 5 років вапнування кислих ґрунтів як контрзаходу, направлено на зменшення радіо-

активного забруднення сільськогосподарської продукції, зовсім не застосовується на практиці (рис. 1) [7, 8].

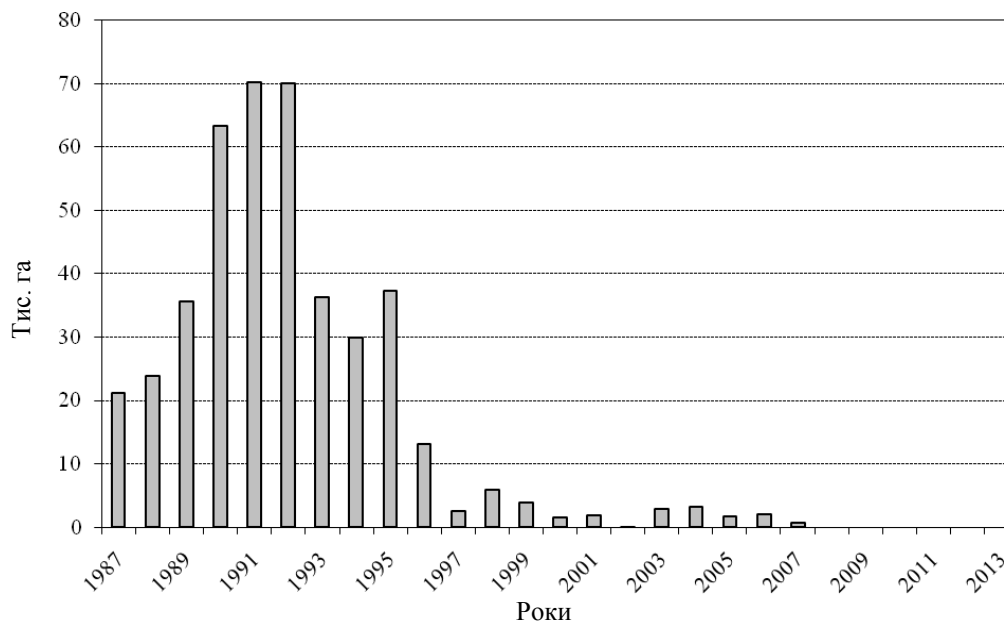


Рис. 1. Фактичні обсяги застосування контрзаходу – вапнування кислих ґрунтів на території України, забрудненої внаслідок Чорнобильської катастрофи.

Основним дозоутворюючим радіонуклідом на переважній більшості забруднених територій України сьогодні та в найближчі роки залишатиметься  $^{137}\text{Cs}$ , у той час коли  $^{90}\text{Sr}$  має суттєве значення тільки на суміжній із зоною відчуження ЧАЕС території [9]. На відміну від гамма-спектрометричних вимірювань вмісту  $^{137}\text{Cs}$ , через низькі рівні забруднення в перші роки після аварії, трудомісткість, довготривалість і відносно високу вартість, в Україні протягом останнього десятиліття практично не ведеться радіаційний контроль вмісту  $^{90}\text{Sr}$  в сільськогосподарській продукції.

Дослідження УкрНДІСГР НУБІП України у 1997 - 2011 рр. по забрудненню  $^{90}\text{Sr}$  сільськогосподарської продукції в найбільш критичних районах Київської, Чернігівської та Житомирської областей України, що прилягають до зони відчуження ЧАЕС, показали, що для молока і овочів не спостерігається перевищення ДУ-2006 [9, 10]. Найбільш критичними з точки зору вмісту  $^{90}\text{Sr}$  в даний час є зернові культури, що виробляються на полях Іванківського району Київської області поблизу зони відчуження ЧАЕС, у разі їхнього використання безпосередньо для виробництва хлібопродуктів. До того ж було виявлено досить складну динаміку забруднення зернових культур у регіонах, що межують із зоною відчуження ЧАЕС. Було показано, що в окремих пробах зерна, яке відбиралось у 2009 та 2011 рр., вміст  $^{90}\text{Sr}$  досягав 60 - 70 Бк/кг і значно перевищував

ДУ-2006 (20 Бк/кг) для продовольчого зерна та значення, які були отримані більше 10 років до того з тих самих полів [9]. Тобто на окремих угіддях спостерігається істотне збільшення біологічної доступності  $^{90}\text{Sr}$  через його вилугування з паливних частинок. Було показано, що динаміка середньої питомої активності  $^{90}\text{Sr}$  в зерні на полях Іванківського району Київської області не суперечить прогнозі оцінками біологічної доступності цього радіонукліда, які були зроблені на основі емпіричної моделі в 1999 - 2001 рр. [3, 5].

Метою досліджень був моніторинг вмісту  $^{90}\text{Sr}$  в зерні на усіх критичних полях Іванківського району Київської області врожаю 2012 - 2013 рр.

#### Об'єкт і методи досліджень

Згідно із результатами моніторингу вмісту  $^{90}\text{Sr}$  в сільськогосподарській продукції протягом 1997 - 2011 рр. і прогнозних оцінок ризику перевищення вмісту  $^{90}\text{Sr}$  в зерні вище ДУ-2006, а також на основі даних щодо щільності забруднення території та вмісту в ґрунті обмінного кальцію була оптимізована мережа моніторингу [9]. Відбір проб зернових культур у 2012 - 2013 рр. проводився на всіх критичних полях північної частини Іванківського району Київської області, які безпосередньо межують із зоною відчуження ЧАЕС і належать до 3-ї та 4-ї зон радіоактивного

забруднення. На цій території проживає населення і ведеться традиційне сільськогосподарське виробництво.

Був визначений перелік населених пунктів, в околицях яких був проведений відбір спряжених проб ґрунту з полів та зерна на момент збору врожаю: Зорин, Горностайпіль, Дитятки, Прибірськ та Пироговичі (рис. 2). Відбір проб було проведено практично з усіх угідь північної частини Іванківського району, де у 2012 - 2013 рр. у промислових масштабах вирощувались зернові культури, а саме з таких сільськогосподарських підприємств: СГВК "Мрія" с. Горностайпіль, с. Зорин; СГВК ім. Мічуріна с. Дитятки; ТОВ «ЗернопромІванків» с. Прибірськ, с. Пироговичі. Усього було обстежено біля 2000 га. Слід зазначити, що за останні роки спостерігається збільшення загальної площі під зерновими культурами за рахунок орендаторів. У структурі посівів зернові культури займають близько 50 % угідь, які на даний момент використовуються у сільськогосподарському виробництві. Із зернових культур в основному культивуються жито та овес. Слід зазначити, що основним виробником зерна у 2013 р.

було ТОВ «ЗернопромІванків». Посіви зернових культур у цьому господарстві, відповідно до зведень управління сільського господарства району, становили 1848 га. Основною культурою було озиме жито – 1741 га (урожайність 42,7 ц/га). Посіви під вівсом займали площу 101 га (урожайність 21,4 ц/га). Засіяні площі в інших господарствах були значно меншими. У СГВК «Мрія» (с. Горностайпіль) було засіяно і зібрано врожай вівса на площі всього 54 га. Урожайність цієї культури була досить низькою - 7 ц/га. У СГВК ім. Мічуріна (с. Дитятки) вирощувались зернові культури на двох полях загальною площею 45 га. Урожайність зернових у цьому господарстві також була досить низькою: озиме жито (30 га) – 12,3 ц/га; овес (15 га) – 13,3 ц/га. Усього на обстежених угіддях у 2013 р. було намолочено 7460 т озимого жита та 266 т вівса. Обстежені площі, зайняті під сільськогосподарськими культурами в господарствах Іванківського району, представлені в основному слабокислими дерново-підзолистими піщаними і супіщаними ґрунтами з низьким забезпеченням обмінним кальцієм. Такі типи ґрунтів є типовими для цього регіону.

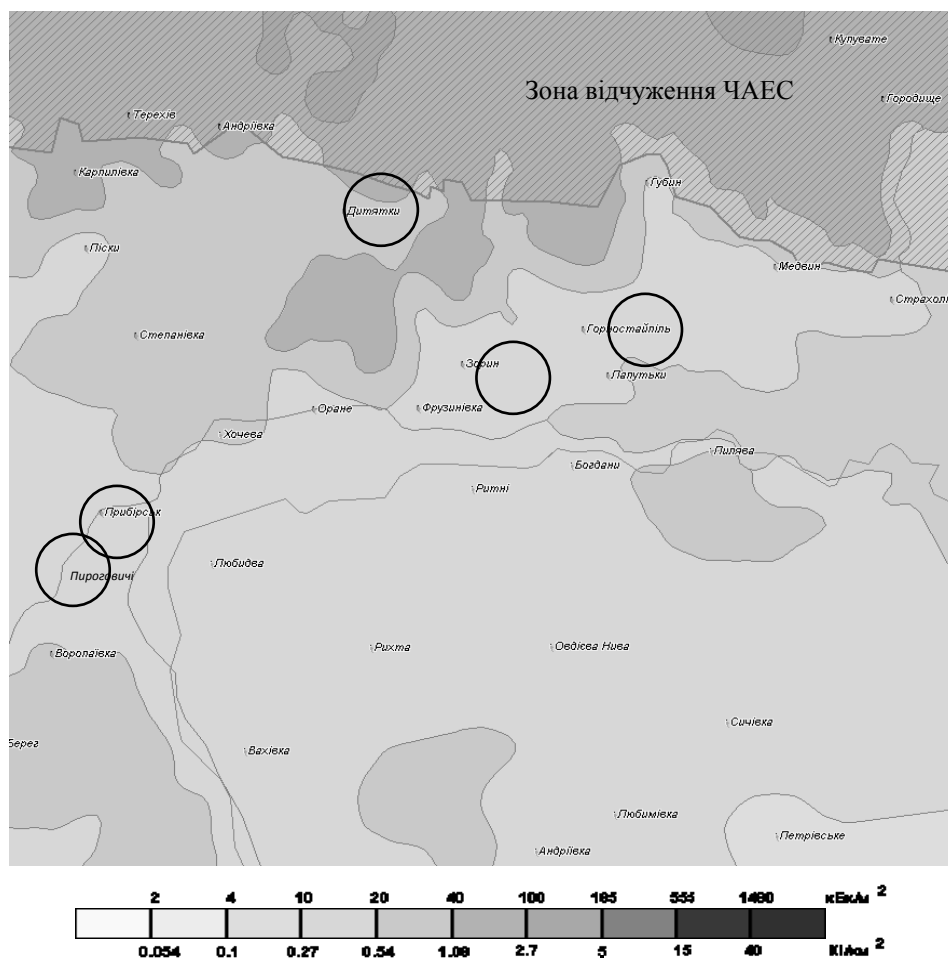


Рис. 2. Карта щільності забруднення обстежених територій  $^{90}\text{Sr}$  на 2006 р. та спряжені точки пробовідборів ґрунту та зерна.

Відбір проб ґрунту і зерна проводилися згідно із затвердженими в Україні стандартами [11, 12]. Проби ґрунту відбирались з кожного поля спеціальним пробовідбирником діаметром 37 мм на глибину орного шару (20 см) у п'яти точках методом конверта на віддалі більше 100 м від краю поля. Після чого п'ять проб об'єднувались в одну загальну об'єднану пробу. У кожній точці радіометром-дозиметром РКС-01 «СТОРА-ТУ» (ECOTEST, Україна) визначалась величина еквівалентної дози на висоті 1 м, а також географічна координата місця пробовідбору за допомогою приймача GPSmap 78s (Garmin, США). На тих же полях у місцях пробовідбору ґрунту відбирались спряжені проби господарсько-цінних частин урожаю (колосся) зернових культур. Проби ґрунту висушувались, просівались через сито 1 мм і ретельно перемішувались. Висушені колосся обмолочувались вручну в лабораторних умовах.

Визначення активності  $^{137}\text{Cs}$  в зразках проводились гамма-спектрометром із пасивним захистом і напівпровідниковим детектором із високочистого германію GEM-30185 і багатоканальним аналізатором ASPEC-927 та програмним забезпеченням GammaVision 32 (ORTEC, США). Вимірювання зразків проводили в циліндричних посудинах об'ємом 100 см<sup>3</sup> і посудинах Марі-неллі об'ємом 1000 см<sup>3</sup>. Для калібрування гамма-спектрометра використовувались сертифіковані еталони. Після вимірювання активності  $^{137}\text{Cs}$  проби зерна озолювались у муфельній печі за температури 450 °С. Активність  $^{90}\text{Sr}$  в зразках визначали стандартним радіохімічним методом [13] за активністю його дочірнього радіонукліда  $^{90}\text{Y}$  з використанням бета-спектрометра СЕБ-01-70 (АКП, Україна). Усі вимірювальні прилади проходять щорічну державну перевірку. Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  в усіх зразках зростає на суху масу.

Для визначення параметрів переходу  $^{90}\text{Sr}$  у рослини також визначався вміст у ґрунті обмінного кальцію і кислотність водної витяжки ґрунту. Кислотність водної витяжки ґрунту вимірювалась потенціометрично в суспензії ґрунт : вода (1 : 2,5) [14].

### Результати та обговорення

Станом на 2012 - 2013 рр. питома активність  $^{137}\text{Cs}$  в 20-сантиметровому орному шарі ґрунту, зайнятому під вирощування сільськогосподарської продукції, знаходилась у межах 114 - 242 Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  – 17 – 85 Бк/кг, що відповідає щільності забруднення обстежених територій 15 - 60 і 3 - 20 кБк/м<sup>2</sup> відповідно (табл. 1 і 2). Ці результати в межах похибок визначення узго-

джуються з офіційними картографічними даними (див. рис. 2).

Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  в усіх пробах зерна не перевищувала 8 Бк/кг у 2012 р. і 26 Бк/кг у 2013 р. при допустимому рівні вмісту для харчового зерна 50 Бк/кг, що узгоджується з результатами 1997 - 2011 рр. (див. табл. 1 і 2) [9, 10]. Вміст  $^{90}\text{Sr}$  в зерні варіював від 14 до 52 Бк/кг в 2012 р. і від 25 до 59 Бк/кг у 2013 р., при цьому лише в трьох пробах 1\_2012, 5\_2012 та 12\_2012 (див. табл. 1), відібраних у 2012 р. поблизу сіл Горностайпіль, Прибірськ і Пироговичі, вміст радіонуклідів не перевищував допустимого рівня ДР-2006 для харчового зерна. У 2013 р. у кожній із відібраних проб зерна вміст  $^{90}\text{Sr}$  (див. табл. 2) перевищував ДР-2006 (20 Бк/кг), відповідно жодна з проб зерна не відповідала вимогам нормативних документів по вмісту радіонуклідів у продовольчому зерні.

Порівняно з 1997 - 2011 рр., не зважаючи на радіоактивний розпад, за рахунок вилуговування радіонуклідів із матриці паливних частинок [3 - 6] вміст  $^{90}\text{Sr}$  в зерні у 2012 - 2013 рр. не зменшився (див. табл. 1 і 2). Цікавим є той факт, що останніми роками в окремих пробах зерна вміст  $^{90}\text{Sr}$  значно перевищував значення, які були отримані 10 років тому на тих самих полях. Тобто на окремих угіддях спостерігається збільшення біологічної доступності  $^{90}\text{Sr}$ . У 2013 р. спостерігалось деяке збільшення питомої активності  $^{90}\text{Sr}$  в зерні жита та вівса порівняно з 2012 р., зумовлене, імовірно, різними ґрунтово-кліматичними умовами проростання.

Порівнюючи дані забруднення зернових культур  $^{90}\text{Sr}$ , які отримані протягом останніх 17 років (1997 - 2013 рр.), можна зробити висновок, що через специфіку паливної компоненти чорнобильських радіоактивних випадань, довготривалого процесу вилуговування із матриці паливних частинок  $^{90}\text{Sr}$ , зумовленого кислотністю середовища та властивостями самих частинок, динаміка переходу  $^{90}\text{Sr}$  з ґрунту у рослини кардинально відрізняється від існуючих раніш уявлень. За цей час забруднення  $^{90}\text{Sr}$  сільськогосподарських угідь зменшилось за рахунок його фізичного розпаду приблизно на 33 %, що за інших умов мало б призвести до зменшення його надходження в зерно. Не зважаючи на радіоактивний розпад, процес вилуговування радіонуклідів з паливних частинок призводить до збільшення активності в ґрунті  $^{90}\text{Sr}$  в мобільній формі та забрудненню рослинності. Саме тому в останні роки ситуація із забрудненням зерна цим радіонуклідом погіршилась. Особливо це стосується Іванківського району, де існують найбільш високі рівні забруднення  $^{90}\text{Sr}$  ґрунту за межами зони відчуження ЧАЕС.

Таблиця 1. Результати досліджень ґрунту і зерна у 2012 р.

Загальний № проби	Назва населеного пункту	Координати		Назва культури	Питома активність в ґрунті, Бк/кг		Са, мг/екв на 100 г	Питома активність в зерні, Бк/кг		Кп <sup>90</sup> Sr	Кн <sup>90</sup> Sr	Відповідність ДР-2006
		N	E		<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs		<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs			
1_2012	Горностаїпіль	51.06876	30.22932	жито	56 ± 3	184 ± 18	1.75	14 ± 1	< 4	1,0 ± 0,1	0,25 ± 0,03	так
2_2012					29 ± 3	170 ± 19	0.94	34 ± 3	< 3	1,17 ± 0,17	2,3 ± 0,4	ні
3_2012	Дитятки	51.11281	30.12245	овес	59 ± 5	208 ± 21	3.21	21 ± 3	8 ± 2	1,4 ± 0,2	0,36 ± 0,05	ні
4_2012					74 ± 5	242 ± 24	1.94	44 ± 3	8 ± 3	0,59 ± 0,06	2,4 ± 0,2	ні
5_2012		51.025024	30.053318	жито	19 ± 2	170 ± 14	2.2	12 ± 2	< 4	1,4 ± 0,3	0,63 ± 0,11	так
6_2012					32 ± 3	156 ± 17	1.97	19 ± 2	6 ± 2	0,59 ± 0,08	2,4 ± 0,2	ні
7_2012	Прибріськ	51.02204	30.048033	жито	30 ± 4	171 ± 19	0.91	16 ± 2	< 4	2,1 ± 0,3	0,53 ± 0,08	ні
8_2012					43 ± 4	136 ± 15	2.28	21 ± 2	< 3	0,49 ± 0,06	1,9 ± 0,2	ні
9_2012		51.010592	30.001401	пшениця	27 ± 2	151 ± 15	2.5	52 ± 4	< 4	6,1 ± 1,0	1,93 ± 0,22	ні
10_2012					33 ± 4	114 ± 11	1.86	16 ± 1	< 4	0,48 ± 0,07	1,9 ± 0,3	ні
11_2012	Пригодовичі	51.00612	29.9889	пшениця	20 ± 4	123 ± 12	2.3	23 ± 2	< 4	4,5 ± 0,9	1,15 ± 0,24	ні
12_2012					24 ± 4	120 ± 14	1.63	15 ± 2	< 3	0,63 ± 0,11	2,5 ± 0,4	так
13_2012		50.98716	29.95564	пшениця	32 ± 4	122 ± 15	3.18	20 ± 2	< 4	0,63 ± 0,10	2,5 ± 0,4	ні

Таблиця 2. Результати досліджень ґрунту і зерна у 2013 р.

Загальний № проби	Назва населеного пункту	Координати		Назва культури	Питома активність в ґрунті, Бк/кг		Са, мг/екв на 100 г	Питома активність в зерні, Бк/кг		Кп <sup>90</sup> Sr	Кн <sup>90</sup> Sr	Відповідність ДР-2006
		N	E		<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs		<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs			
2013_1	Зорин	51.058380	30.189570	овес	50 ± 10	140 ± 14	3.38	40 ± 14	12 ± 6	3,03	0,80 ± 0,33	ні
2013_2	Горностаїпіль	51.075759	30.285121	овес	85 ± 16	230 ± 25	5.69	39 ± 12	< 16	1,83	0,46 ± 0,17	ні
2013_3					26 ± 5	200 ± 20	3.38	55 ± 3	< 12	2,12 ± 0,64	7,14	ні
2013_4	Дитятки	51.111546	30.122870	овес	45 ± 9	178 ± 18	2.81	40 ± 12	16 ± 4	4,48	0,89 ± 0,32	ні
2013_5					56 ± 11	210 ± 21	3.19	46 ± 14	24 ± 11	0,82 ± 0,29	3,05	ні
2013_6	Прибріськ	51.022164	30.049180	овес	72 ± 13	165 ± 17	1.88	55 ± 12	25 ± 7	3,37	0,76 ± 0,22	ні
2013_7					51 ± 10	136 ± 15	2.31	36 ± 13	< 6	0,70 ± 0,28	3,28	ні
2013_8		51.006513	29.993307	овес	40 ± 8	145 ± 16	1.69	59 ± 13	< 12	5,22	1,48 ± 0,45	ні
2013_9					17 ± 4	117 ± 13	1.81	55 ± 12	< 12	3,24 ± 1,10	10,38	ні
2013_10	Пригодовичі	50.985038	29.957754	жито	27 ± 6	124 ± 11	1.56	50 ± 12	26 ± 12	6,1	1,85 ± 0,62	ні
2013_11					32 ± 9	115 ± 13	5.25	24 ± 13	< 11	0,75 ± 0,45	2,4	ні

На підставі отриманих експериментальних результатів були розраховані коефіцієнти накопичення ( $K_n$ )  $^{90}\text{Sr}$  зерном: відношення питомої активності  $^{90}\text{Sr}$  в зерні (Бк/кг) до його питомої активності в 20-сантиметровому орному шарі сухо-го ґрунту (Бк/кг) (див. табл. 1 і 2). Не спостерігалось достовірних відмінностей середніх значень  $K_n$   $^{90}\text{Sr}$  у зерно різних культур: жита ( $1,1 \pm 0,9$ , діапазон  $0,25 \div 3,2$ ), вівса ( $0,8 \pm 0,3$ , діапазон  $0,4 \div 1,5$ ) і пшениці ( $0,9 \pm 0,6$ , діапазон  $0,5 \div 1,9$ ) у 2012 - 2013 рр., які на порядок величини перевищували рекомендовані МАГАТЕ значення для піщаних ґрунтів ( $0,04$ , діапазон  $0,002 \div 0,7$ ) [15]. Такі відмінності обумовлені низьким вмістом у ґрунті обмінного кальцію та кислотою реакцією ґрунтового розчину.

### Висновки

Таким чином, проведені УкрНДІСГР НУБіП України експериментальні роботи в 2012 - 2013 рр. підтвердили, що зернові культури в Іванківському районі й у даний час залишаються критичними з точки зору надходження до них  $^{90}\text{Sr}$ . Особливо критичними є території зони гарантованого добровільного відселення (3-я зона), що межують з зоною відчуження ЧАЕС. Усі відібрані в 2013 р. проби зерна не відповідали вимогам нормативних документів стосовно вмісту радіонуклідів в харчовому зерні - ДР-2006

(20 Бк/кг). Необхідно зауважити, що це стосується тільки продовольчого зерна. Якщо зерно виробляється для інших цілей (фуражне, в якості сировини для виробництва спирту тощо), то для нього не вводяться обмеження за вмістом  $^{90}\text{Sr}$ .

Отримані значення  $K_n$   $^{90}\text{Sr}$  в зерно жита ( $1,1 \pm 0,9$ , діапазон  $0,25 \div 3,2$ ), вівса ( $0,8 \pm 0,3$ , діапазон  $0,4 \div 1,5$ ) та пшениці ( $0,9 \pm 0,6$ , діапазон  $0,5 \div 1,9$ ) у 2012 - 2013 рр. для дерново-підзолистих піщаних і супіщаних ґрунтів українського Полісся на порядок величини перевищують рекомендовані МАГАТЕ значення для піщаних ґрунтів ( $0,04$ , діапазон  $0,002 \div 0,7$ ), що необхідно враховувати при прогнозуванні радіологічного стану.

Дані дослідження підтвердили, що території, прилеглі до зони відчуження ЧАЕС, все ще потребують радіологічного спостереження, а продукція, що виробляється у даному регіоні, потребує постійного радіологічного контролю в майбутньому.

За підтримку у проведенні досліджень автори висловлюють вдячність НУБіП України, дослідницькій угоді МАГАТЕ № 17928 «Поведінка у довкіллі та біологічний вплив чорнобильських радіоактивних частинок» та проекту Європейської комісії № 604974 «Координація та впровадження пан-європейського інструменту для радіоекології (СОМЕТ)».

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Kashparov V.A., Lundin S.M., Khomutinin Yu.V. et al.* Soil contamination with  $^{90}\text{Sr}$  in the near zone of the Chernobyl accident // *J. of Environment Radioactivity*. - 2001. - Vol. 56, Iss. 3. - P. 285 - 298.
2. *Kashparov V.A., Lundin S.M., Zvarich S.I. et al.* Territory contamination with the radionuclides representing the fuel component of Chernobyl fallout // *The Science of the Total Environment*. - 2003. - Vol. 317, Iss. 1 - 3. - P. 105 - 119.
3. *Kashparov V.A., Oughton D.H., Zvarich S.I. et al.* Kinetics of fuel particle weathering and  $^{90}\text{Sr}$  mobility in the Chernobyl 30-km exclusion zone // *Health Physics*. - 1999. - Vol. 76, No. 3. - P. 251 - 259.
4. *Kashparov V.A., Protsak V.P., Ahamdach N. et al.* Dissolution kinetics of particles of irradiated Chernobyl nuclear fuel: influence of pH and oxidation state on the release of radionuclides in contaminated soil of Chernobyl // *J. of Nuclear Materials*. - 2000. - Vol. 279. - P. 225 - 233.
5. *Kashparov V.A., Ahamdach N., Zvarich S.I. et al.* Kinetics of dissolution of Chernobyl fuel particles in soil in natural conditions // *J. of Environmental Radioactivity*. - 2004. - Vol. 72, Iss. 3. - P. 335 - 353.
6. *Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience* // *Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment'* / Ed. by L. Anspaugh and M. Balonov. Radiological assessment reports series, Vienna: IAEA, 2006. - STI/PUB/1239. - 166 p.
7. *Fesenko S.V., Alexakhin R.M., Balonov M.I. et al.* An extended critical review of twenty years of countermeasures used in agriculture after the Chernobyl accident // *Science of The Total Environment*. - 2007. - Vol. 383 (1). - P. 1 - 24.
8. *Кашипаров В.А., Левчук С.Е., Отрешко Л.М., Малюштан И.М.* Загрязнение сельскохозяйственной продукции  $^{90}\text{Sr}$  в Украине в отдаленный период после Чернобыльской аварии // *Радиационная биология. Радиоэкология*. - 2013. - Т. 53, № 6. - С. 639 - 650.
9. *Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього.* - К.: КІМ, 2011. - 356 с.
10. *Кашипаров В.О., Лундін С.М., Левчук С.Е. та ін.* Комплексний моніторинг забруднення сільськогосподарської продукції  $^{90}\text{Sr}$  // *Вісник аграрної науки. Спец. вип., квітень 2001.* - С. 38 - 43.
11. *СОУ 74.14-37-425:2006* «Якість ґрунту. Методи відбору проб ґрунту для радіаційного контролю». - К.: Міністерство аграрної політики України, 2006. - 15 с.
12. *СОУ 01.1-37-426:2006* «Якість продукції рослинництва. Методи відбору проб для радіаційного контролю». - К.: Міністерство аграрної політики України, 2006. - 19 с.
13. *Методические указания по определению стронция-90 и цезия-137 в почвах и растениях.* - М.:

- ЦИНАО, 1985. - 46 с.
14. *Агрохімічний аналіз: підручник*: / М. М. Городній А. П. Лісовал, А. В. Бикін та ін.; За ред. М. М. Горднього. - К.: Арістей, 2004. - 522 с.
15. *Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and fresh-water environments*. - Vienna: IAEA-TRS-472, 2010. - 194 p.

**Л. Н. Отрешко, С. Е. Левчук, Л. В. Йошенко**

*Український науково-дослідницький інститут сільськогосподарської радіології  
Національного університету біоресурсів і природоиспользования України, Київ*

### **СОДЕРЖАНИЕ <sup>90</sup>Sr В ЗЕРНЕ НА ТОПЛИВНЫХ СЛЕДАХ ЧЕРНОБЫЛЬСКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЙ**

В 2012 - 2013 гг. из всех полей Иванковского района Киевской области, прилегающих к зоне отчуждения ЧАЭС, где выращивались зерновые культуры, был проведен отбор проб почвы и зерна. Во всех отобранных пробах измерялась активность <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr, в почвенных пробах определялись также доля <sup>90</sup>Sr и кальция в обменной форме и кислотность почвенного раствора. Была уточнена зависимость коэффициентов перехода <sup>90</sup>Sr в зерно. При проведении исследовательских работ отбор проб происходил согласно СОУ 74.14-37-425:2006, СОУ 74.14-37-424:2006 и СОУ 01.1-37-426:2006. Активность <sup>90</sup>Sr определялась по стандартной радиохимической методике.

*Ключевые слова:* Чернобыльская авария, удельная активность, топливные частицы, допустимые уровни, коэффициент перехода, контрмеры.

**L. N. Otreshko, S. E. Levchuk, L. V. Yoschenko**

*Ukrainian Institute of Agricultural Radiology  
of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv*

### **CONCENTRATION OF <sup>90</sup>Sr IN GRAIN ON FUEL TRACES OF THE CHORNOBYL RADIOACTIVE FALLOUT**

During 2012 - 2014 sampling of soil and grain in Ivankiv district of Kyiv region at all fields adjacent to the ChNPP exclusion zone was carried out, where the cereal crops were planted. In all samples <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr activities were measured. Besides, in soil samples the exchangeable fractions of <sup>90</sup>Sr and calcium and acidity of soil solution were determined. Dependence of <sup>90</sup>Sr soil-grain transfer factors was specified. In conducting research works by sampling occurred 74.14-37-425:2006 SOU, SOU SOU 74.14-37-424:2006 and 01.1-37-426:2006. The activity of <sup>90</sup>Sr was determined by standard radiochemical method.

*Keywords:* Chernobyl accident, specific activity, fuel particles, permissible levels, transfer factors, countermeasures.

#### REFERENCES

1. *Kashparov V.A., Lundin S.M., Khomutinin et al. // J. of Environment Radioactivity*. - 2001. - Vol. 56, Iss. 3. - P. 285 - 298.
2. *Kashparov V.A., Lundin S.M., Zvarich S.I. et al. // The Science of the Total Environment*. - 2003. - Vol. 317, Iss. 1 - 3. - P. 105 - 119.
3. *Kashparov V.A., Oughton D.H., Zvarich S.I. et al. // Health Physics*. - 1999. - Vol. 76, No. 3. - P. 251 - 259.
4. *Kashparov V.A., Protsak V.P., Ahamdach N. et al. // J. of Nuclear Materials*. - 2000. - Vol. 279. - P. 225 - 233.
5. *Kashparov V.A., Ahamdach N., Zvarich S.I. et al. // J. of Environmental Radioactivity*. - 2004. - Vol. 72, Iss. 3. - P. 335 - 353.
6. *Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience // Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment' / Ed. by L. Anspaugh and M. Balonov. Radiological assessment reports series, Vienna: IAEA, 2006. - STI/PUB/1239. - 166 p.*
7. *Fesenko S.V., Alexakhin R.M., Balonov M.I. et al. // Science of the Total Environment*. - 2007. - Vol. 383 (1). - P. 1 - 24.
8. *Kashparov V.A., Levchuk S.E., Otreshko L.M., Maloshtan I.M. // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. - 2013. - Vol. 53, No. 6. - P. 639 - 650. (Rus)
9. *Twenty-five Years after Chernobyl Accident. Safety for the Future*. - Kyiv, KIM, 2011. - 356 p. (Ukr)
10. *Kashparov V.O., Lundin S.M., Levchuk S.E. et al. // Visnyk agrarnoyi nauky. Spes. Iss., April, 2001. - P. 38 - 43. (Ukr)*
11. *COY 74.14-37-425:2006 "The quality of the soil. Methods of soil sampling for radiation control"*. - Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine, 2006. - 15 p. (Ukr)
12. *COY 01.1-37-426:2006 "The quality of crop production. Methods of sampling for radiation monitoring"*. - Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine, 2006. - 19 p. (Ukr)
13. *Methodological guidelines for strontium-90 and cesium-137 determination in soils and plants*. - Moscow: TSINAO, 1985. - 46 p. (Rus)
14. *Agrochemical analysis: Tutorial / M. M. Gorodnij A. P. Lisoval, A. V. Bykinet al.; Ed. by M. M. Gorodnij*. - Kyiv: Aristej, 2004. - 522 p. (Ukr)
15. *Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and fresh-water environments*. - Vienna: IAEA-TRS-472, 2010. - 194 p.

Надійшла 15.04.2014

Received 15.04.2014