УДК 57.043:63:37.022

Л. М. Отрешко
аспірант
С. Е. Левчук
к.б.н.
В. О. Кашпаров
д.б.н.
Л. В. Йощенко
Український науково-дослідний інституту сільськогосподарської радіології
Національного університету біоресурсів і природокористування України
Рецензент – член редколегії «Вісник ЖНАЕУ», д.с.-г.н. П. П. Надточій

ЗАБРУДНЕННЯ ^{90}Sr ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР У РЕГІОНАХ, ПРИЛЕГЛИХ ДО ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС

У 2012 р. у регіонах, прилеглих до зони відчуження Чорнобильської АЕС, був проведений моніторинг забруднення ґрунту та зерна. У зразках вимірювалась активність ^{137}Cs та ^{90}Sr, а також частка кальцію та ^{90}Sr в обмінній формі у ґрунті і кислотність ґрунтового розчину, на основі чого було встановлено коефіцієнти накопичення та переходу ^{90}Sr у зернову продукцію. Проведені експериментальні роботи ще раз підтвердили, що зернові культури і в даний час залишаються критичними з точки зору надходження в них ^{90}Sr, питома активність яких сягала 52 Бк/кг та більше 50 % відібраних проб зерна не відповідала вимогам гігієнічних нормативів ДР–2006 (20 Бк/кг).

Постановка проблеми

За роки, що минули після аварії на Чорнобильській АЕС, радіаційний стан істотно поліпшився, насамперед, за рахунок радіоактивного розпаду радіонуклідів, їх фіксації та заглиблення у ґрунтовий покрив, вжиття контрзаходів.

Відповідно до рішення 62 сесії Генеральної Асамблеї ООН від 12.11.2007 р. третє десятиріччя після Чорнобильської катастрофи (2006–2016 рр.) було проголошено «Десятиріччям реабілітації і стійкого розвитку постраждалих регіонів, здійснення якого повинне бути направлене на досягнення цілі повернення постраждалих общин до нормального життя і за можливості в ці ж самі строки».

© Л. М. Отрешко, С. Е. Левчук, В. О. Кашпаров, Л. В. Йощенко

Дані дослідження проводилися у рамках науково-дослідної роботи (номер держреєстрації 0112U003004) за темою «Наукове забезпечення, супровід і систематизація даних радіологічного контролю сільськогосподарської продукції, що виробляється на території, забрудненій внаслідок Чорнобильської катастрофи» Українським науково-дослідним інститутом сільськогосподарської радіології (УкрНДІСГР) НУБіП України.

Аналіз останніх досліджень та постановка завдання

Основні радіологічно значущі радіонукліди на пізній стадії ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС це – ^{90}Sr і ^{137}Cs [6]. Із кореневим забрудненням рослинницької продукції ^{137}Cs проблем на даному етапі немає. Моніторинг забруднення сільськогосподарської продукції, який проводився УкрНДІСГР протягом 1997–1999 рр., виявив досить складну динаміку забруднення зернових культур ^{90}Sr в регіонах, які примикають до Зони відчуження [3]. Дослідження показали, що для радіологічної ситуації, що склалася в Україні після аварії на Чорнобильській АЕС, перевищення нормованих значень ^{90}Sr у іншій сільськогосподарській продукції дуже малоймовірно.

У 2009 р. ці результати були ще раз підтверджені, причому вміст ^{90}Sr у зерні значно перевищував значення, які були отримані більше десяти років тому з тих самих полів [2]. Тобто, на окремих угіддях спостерігалося істотне збільшення біологічної доступності даного радіонукліду через його вилуговування з паливних часток.

Особливості поведінки ^{90}Sr чорнобильського походження в ланці ґрунт-рослина пов'язані з тим, що цей радіонуклід був викинутий із реактора під час аварії в основному у складі частинок ядерного палива (більше 90% активності). З часом йшло їх розчинення і радіонукліди переходили в ґрунт, про що свідчить зміна дисперсного складу паливних частинок, а також збільшення долі обмінного стронцію в ґрунті, і як наслідок цього – збільшення забруднення рослинності [1, 6].

Враховуючи довготривалість та високу вартість досліджень спостереження за ^{90}Sr, на відміну від ^{137}Cs, останнім часом в Україні майже не проводяться і це не може не викликати занепокоєння. Саме тому на основі попередніх досліджень у 2011 р. УкрНДІСГР НУБіП України розпочав моніторинг забруднення ґрунту та зерна найбільш критичних, з точки зору забруднення зерна ^{90}Sr ділянок. Проведена робота мала на меті, насамперед, визначення відповідності продукції вимогам нормативних документів щодо радіоактивного забруднення, а також встановлення найбільш критичних угідь, які потребують проведення контрзаходів для зменшення вмісту ^{90}Sr в продовольчому зерні.

Результати аналізів зразків, відібраних у 2011 р. на угіддях Іванківського району Київської області, підтвердили той факт, що дані території являються

критичними по накопиченню радіоактивного стронцію в зерні – близько 40 % проб не відповідало гігієнічним нормативам по вмісту ^{90}Sr в даних культурах [4]. Отримані результати підтвердили необхідність продовження радіологічного моніторингу забруднення ^{90}Sr постраждалих внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС територій, та спостереженням за вмістом даного радіонукліду у зернових культурах.

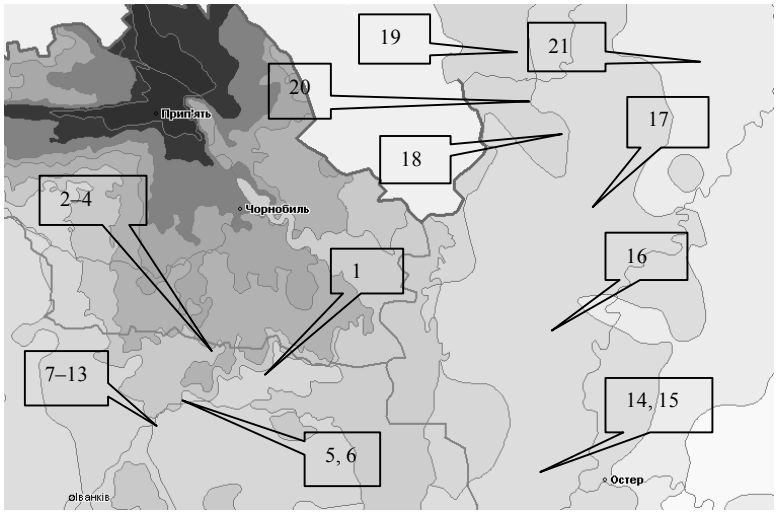
Об'єкти та методика досліджень

Приймаючи до уваги попередній досвід з вивчення забруднення зернової продукції ^{90}Sr та рекомендації щодо проведення моніторингу, для спостережень у 2012 р. були вибрані регіони, які безпосередньо прилягають до Зони відчуження. Основна увага приділялась північній частині Іванківського району Київської області та західним районам (Чернігівському та Козелецькому) Чернігівської області.

Спираючись на дані попередніх досліджень був визначений перелік населених пунктів для проведення експериментальних досліджень:

- Київська область: с. Дитятки (№ 2 – 4), с. Горностайпіль (№ 1), с. Хочева (№ 5, 6), с. Прибірськ (№ 7 – 13);

- Чернігівська область: с. Карпилівка (№ 14, 15) та с. Максим (№ 16) Козелецького району і с. Гончарівське (№ 17), с. Ковпита (№ 18), с. Ведельці (№ 19), с. Пакуль (№ 20) та с.м.т. Михайло-Коцюбинське (№ 21) Чернігівського району (рис. 1).



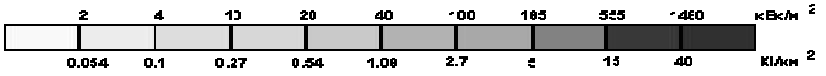


Рис. 1 **Карта щільності забруднення ґрунту ^{90}Sr. 1–21 – місця відбору проб**

Проби ґрунту відбиралися на орних сільськогосподарських угіддях за допомогою циліндричного пробовідбірника діаметром 37 мм методом конверту (5 уколів) на ріллі, на глибину орного шару – 20 см (згідно з СОУ 74.14–37–425:2006; СОУ 74.14–37–424:2006). У кожній точці пробовідбору з допомогою GPS встановлювалася географічна координата. На цих же угіддях у районі відбору ґрунту відбирались і проби зерна (згідно з СОУ 01.1–37–426:2006).

Вміст ^{137}Cs у попередньо підготовлених пробах визначався на високоефективному гама-спектрометрі з напівпровідниковим детектором із високочистого германію "GEM-30185" фірми "EG & ORTEC" США.

Активність ^{90}Sr визначали за стандартною радіохімічною методикою [8]. Після радіохімічного виділення ^{90}Sr, його активність у зразках визначалася за активністю його дочірнього радіонукліда ^{90}Y [5, 7]. Вимірювання активності рівноважного ^{90}Y проводилось на бета-спектрометрі СЕБ-01 (АКП, Україна).

Обстежені площі, зайняті під сільськогосподарські культури в господарствах Іванківського району, представлені в основному слабокислими дерново-підзолистими супіщаними і легкосуглинистими ґрунтами з дуже низьким забезпеченням обмінним кальцієм. Такі типи ґрунтів є типовими для цього регіону. Із зернових культур в основному культивуються жито, пшениця та овес. Щільність забруднення ^{90}Sr обстежених територій, зайнятих під вирощування сільськогосподарської продукції, коливається в межах 5 – 20 кБк/м^2 (табл. 1).

Ґрунтовий покрив обстеженої території Чернігівської області на 90 % представлений дерново-підзолистими ґрунтами легкого гранулометричного складу з низьким вмістом обмінного кальцію. Як за гранулометричним складом, так і за іншими показниками, для дерново-підзолистих ґрунтів характерний низький рівень родючості. Наявність у ґрунтовому вбирному комплексі водню і алюмінію, недостатня насиченість основами обумовлюють підвищену кислотність цих ґрунтів. За ступенем кислотності ґрунти обстежених полів, в основному, слабокислі. Вони характеризуються невисоким вмістом гумусу (середньозважений вміст гумусу – 1,6 %). У цілому ґрунтові умови сприятливі для інтенсивної міграції і біологічної доступності радіостронцію.

Щільність забруднення обстежених угідь радіостронцієм дещо нижча ніж для Іванківського району Київської області (табл. 2., рис. 1) і для більшості полів не перевищувала 6 кБк/м^2.

Результати досліджень

Проведені експериментальні роботи показали, що в даний час ^{90}Sr знаходиться в ґрунтах обстежених угідь, в основному, в доступній для засвоєння рослинами формі. Близько 60–80 % цього радіонукліда на Київщині та близько 40–60 % – на Чернігівщині знаходиться в ґрунті в обмінній формі. Результати досліджень в черговий раз підтвердили, що частка обмінної форми стронцію залежить від кислотності ґрунту (табл. 1, 2).

Таблиця 1. **Результати досліджень ґрунту та зерна в Іванківському районі Київської області (2012 р.)**

№ проби	Назва н.п.	Назва культури	Активність ^{90}Sr в ґрунті, Бк/кг	Вміст обмінного ^{90}Sr в ґрунті, %	Ca, мг/екв на 100г гр	pH	Щільність забруднення ґрунту ^{90}Sr, кБк/м^2	Кн ^{90}Sr	Кп ^{90}Sr	Активність зерна, Бк/кг		Відповідність зерна ДР-2006
										^{90}Sr	^{137}Cs	
1	Горно-стайпіль	жито	56 ± 4[a]	57 ± 2	1,75	7,2	14 ± 2	0,25 ± 0,03	1,0 ± 0,1	14	3,6	так
2	Дитятки	жито	29 ± 2	65 ± 2	0,94	5,8	15 ± 3	0,57 ± 0,10	2,3 ± 0,4	34	3,3	ні
3		овес	59 ± 4	78 ± 4	3,21	6,4	15 ± 1	0,36 ± 0,05	1,4 ± 0,2	21	7,9	ні
4		жито	74 ± 12	78 ± 4	1,94	5,9	19 ± 1	0,59 ± 0,06	2,4 ± 0,2	44	7,6	ні
5	Хочева	жито	19 ± 2	37 ± 1	2,20	6,2	9 ± 2	0,34 ± 0,08	1,4 ± 0,3	12	<4	так
6		жито	32 ± 3	72 ± 3	1,97	6,3	8 ± 1	0,59 ± 0,06	2,4 ± 0,2	19	6,3	ні
7	Прибірськ	жито	30 ± 3	87 ± 2	0,91	5,9	8 ± 1	0,53 ± 0,08	2,1 ± 0,3	16	<4	ні
8		пшениця	43 ± 4	58 ± 3	2,28	8,1	11 ± 1	0,49 ± 0,06	1,9 ± 0,2	21	2,5	ні
9		пшениця	27 ± 2	70 ± 2	2,50	5,7	9 ± 1	1,53 ± 0,26	6,1 ± 1,0	52	<4	ні
10		жито	33 ± 4	55 ± 3	1,86	6,3	8 ± 1	0,48 ± 0,07	1,9 ± 0,3	16	3,6	ні
11		пшениця	20 ± 4	65 ± 3	2,30	7,6	5 ± 1	1,15 ±0,24	4,5 ± 0,9	23	<3,7	ні
12		пшениця	24 ± 4	88 ± 3	1,63	6,0	6 ± 1	0,63 ± 0,11	2,5 ± 0,4	15	3,0	так
13		пшениця	32 ± 4	72 ± 4	3,18	6,3	8 ± 1	0,63 ± 0,10	2,5 ± 0,4	20	<3,7	ні

[a] – невизначеність вимірювання (1σ)

Як свідчать результати проведених радіохімічних досліджень, вміст ^{90}Sr в зернових культурах у цілому коливався від 2 до 52 Бк/кг зерна. Отримані результати показали, що стронцій при одних і тих самих умовах дещо більш інтенсивно накопичується у зерні вівса в порівнянні з озимими пшеницею та житом.

Цьогорічні дослідження виявили, що 77 % відібраних у Іванківському районі проб зерна не відповідали вимогам нормативних документів по вмісту радіонуклідів (ДР–2006). Вміст ^{137}Cs у більшості проб був на рівні мінімально, детектована активність (МДА) 1–4 Бк/кг, тоді як питома активність ^{90}Sr варіювала в межах 12–52 Бк/кг (допустимий вміст в продовольчому зерні – 20 Бк/кг) (див. табл. 1). За даними агрохімічних аналізів вміст обмінного кальцію у відібраних пробах варіював у досить вузькому діапазоні 0,9–3,2 мг-екв./100 г ґрунту (середнє значення 2 мг-екв./100 г ґрунту).

Що стосується результатів досліджень у Чернігівській області, то за даними агрохімічних аналізів вміст рухомого кальцію у відібраних пробах варіював у досить вузькому діапазоні 1,7–5,3 мг-екв./100 г (середнє значення 3 мг-екв./100 г). У порівнянні з результатами аналізів у Київській області тут ситуація із забрудненням зерна ^{90}Sr значно краща – лише одна проба не відповідала ДР – 2006. Вміст ^{137}Cs в зерні також був майже вдвічі нижчим, порівняно з результатами у Київській області. Забруднення зерна озимого жита, яке є основною сировиною для виробництва хліба і хлібопродуктів, було нижчим і у всіх випадках відповідало встановленим нормативам (табл. 2).

Табл. 2. **Результати досліджень ґрунту та зерна у Чернігівській області (2012 р.)**

№ проби	Назва н.п.	Назва культури	Активність ^{90}Sr в ґрунті, Бк/кг	Вміст обмінного ^{90}Sr в ґрунті, %	Ca, мг/екв на 100г гр	pH	Щільність забруднення ґрунту ^{90}Sr, кБк/м^2	Кн ^{90}Sr	Кп ^{90}Sr	Активність зерна, Бк/кг		Відповідність ДР-2006
										^{90}Sr	^{137}Cs	
14	Карпилівка	овес	25 ± 3[a]	48 ± 2	1,86	5,6	3,6 ± 1,1	1,18 ± 0,50	4,7 ± 2,0	28	1,1	ні
15		жито	26 ± 3	42 ± 2	4,0	5,6	4,3 ± 1,3	1,62 ± 0,69	6,5 ± 2,7	6	<3,4	так
16	Максим	жито	21 ± 2	43 ± 2	5,0	6,2	4,8 ± 0,5	0,14 ± 0,06	0,6 ± 0,3	3	<4,6	так
17	Гончарівське	ячмінь	12 ± 2	58 ± 2	2,81	6,5	3,1 ± 0,6	0,17 ± 0,07	0,7 ± 0,3	2	<2	так
18	Ковпита	жито	16 ± 2	44 ± 2	2,75	5,9	4,5 ± 0,7	0,31 ± 0,08	1,1 ± 0,3	5	<3,5	так
19	Ведельці	жито	10 ± 3	40 ± 2	3,44	5,7	2,6 ± 0,6	0,20 ± 0,09	0,8 ± 0,4	2	<1,1	так
20	Пакуль	жито	16 ± 2	63 ± 2	4,59	7,0	4,1 ± 0,6	0,25 ± 0,06	1,0 ± 0,2	4	<1,1	так
21	Михайло-Коцюбинське	жито	13 ± 3	31 ± 2	1,69	5,4	4,1 ± 0,6	0,25 ± 0,11	0,8 ± 0,4	3	<4	так

[a] – невизначеність вимірювання (1σ)

Для параметризації інтенсивності кореневого надходження ^{90}Sr в зерно були розраховані коефіцієнти накопичення (Кн, Бк/кг:Бк/кг) та переходу (Кп, Бк/кг:кБк/м^2) ^{90}Sr з ґрунту в зерно[4]. Якщо порівнювати результати досліджень за областями, то Кн у Київській області в більшості випадків становили 0,53 – 0,63, тоді як ці ж коефіцієнт у Чернігівській області були меншими і в

середньому становили 0,2. Схожа ситуація спостерігалася і з Кп, які становили: на Київщині – близько 2,5, а на Чернігівщині – в середньому становили 1. Коефіцієнти переходу та коефіцієнти накопичення ^{90}Sr в зерно мали чітко виражену оберненопропорційну залежність від вмісту в ґрунті обмінного кальцію та добре узгоджуються з отриманими раніше даними для цих типів ґрунтів.

Після проведених вимірювань, для практичного використання отриманих результатів нами було побудовано номограму залежності щільності забруднення ^{90}Sr території від вмісту рухомого кальцію в ґрунті при якому вміст ^{90}Sr в зерні може перевищувати ДР–2006 (рис. 2).

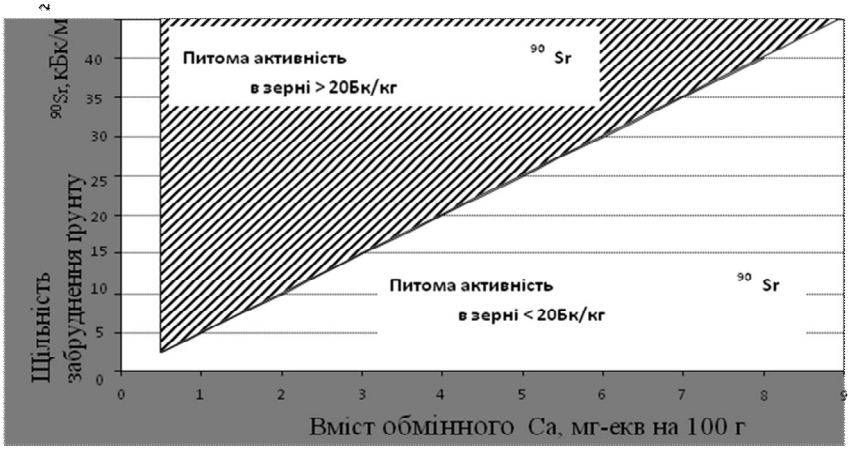


Рис. 2 **Номограма залежності щільності забруднення ^{90}Sr території від вмісту рухомого кальцію в ґрунті**

Висновки та перспективи подальших досліджень

1. За оцінками динаміки вмісту ^{90}Sr в зерні протягом останніх 15 років чітко спостерігається погіршення ситуації, особливо це стосується Іванківського району Київської області. Дана проблема зумовлена зменшенням обсягів контрзаходів – вапнуванням кислих ґрунтів, внесенням мінеральних та органічних добрив тощо.

2. У 2012 р. було ще раз підтверджено, що динаміка середньої питомої активності ^{90}Sr в зерні в населених пунктах Іванківського району узгоджується з прогнозними оцінками біологічної доступності цього радіонукліду, які були зроблені на основі емпіричної моделі ще у 2001 р [4].

3. Проведені УкрНДІСГР НУБіП України експериментальні роботи у 2012 р. підтвердили, що зернові культури і в даний час залишаються критичними з точки зору надходження в них ^{90}Sr, а постраждалі, внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, території потребують проведення належних контрзаходів

та постійного радіологічного спостереження. Особливо критичними є території зони гарантованого добровільного відселення (3-я зона) Іванківського району та придніпровські регіони Чернігівської області, що межують з зоною відчуження Чорнобильської АЕС. Необхідно відмітити, 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 по вмісту ^{90}Sr.

Враховуючи практично повну відсутність радіаційного контролю вмісту ^{90}Sr в продукції на Україні, зумовлену довготривалістю, високою вартістю та складністю вимірювань, перспективами подальших досліджень є необхідність продовження проведення моніторингових робіт по встановленню вмісту ^{90}Sr в зерні, виявлення критичних сільськогосподарських угідь та планування застосування контрзаходів.

Література

1. *Кашпаров В. А.* Кинетика растворения чернобыльских топливных частиц и выщелачивания из них радионуклидов в почвах Зоны отчуждения / *Кашпаров В. А., Иванов Ю. А., Зварич С. И., Процак В. П., Хомутинин Ю. В.* // Проблеми Чорнобильської зони відчуження. – 1998. – Вип. 5. – С. 18–24.
2. Комплексний моніторинг забруднення сільськогосподарської продукції ^{90}Sr / [*Кашпаров В. О., Лундін С. М., Левчук С. Е.* та ін.] // Вісник аграрної науки: спец. випуск. – 2001. – С. 38–43.
3. *Кашпаров В. О.* Радіологічні проблеми ведення сільськогосподарського виробництва на забрудненій в результаті Чорнобильської катастрофи території України / *В. О. Кашпаров, С. В. Поліщук, Л. М. Отрешко* // Чорнобильський науковий вісник, Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. – 2011. – № 2 (38). – С. 13–30.
4. *Отрешко Л. М.* Значення паливних частинок у забрудненні зернової продукції ^{90}Sr в Іванівському районі Київської області / *Л. М. Отрешко, В. О. Кашпаров, С Е. Левчук, І. М. Малоштан* // Ядерна фізика та енергетика. – 2012. – Т. 13, № 1. – С. 89–97.
5. *Павлоцкая Ф. И.* Основные принципы радиохимического анализа объектов природной среды и методы определения радионуклидов стронция и трансурановых элементов / *Павлоцкая Ф. И.* // Журнал аналитической химии. – 1997. – Т. 52, № 2. – С. 126–143.
6. Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience : Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment' / [Ed. Anspaugh L. and Balonov M.] Radiological assessment reports series. – IAEA : STI/PUB/1239, 2006. – 166 p.

7. ISO 18589 – 5 : 2009 Measurement of radioactivity in the environment – Soil – Part 5: Measurement of strontium 90
8. *Prister B. S.* Countermeasures used in the Ukraine to produce forage and animal food products with radionuclide levels below intervention limits after the Chernobyl accident / *B. S. Prister, G. P. Perepelyatnikov, L. V.* Perepelyatnikova // Sci. Total Environ. – 1993. – V. 137. – P. 183–198.