

РАДІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ МІСЦЕВИХ ДОБРИВ НА РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНІЙ ТЕРИТОРІЇ

М.М. Лазарєв, С.М. Єрмоленко

*Національний університет біоресурсів і природокористування України
(м. Київ, Україна)*

e-mail: laz_rev@i.ua; ORCID: 0000-0001-6286-0063

e-mail: ogorbachiev@ukr.net; ORCID: 0009-0003-8677-4938

У сучасних умовах актуальним є вивчення можливостей підвищення стійкості держави, зокрема продовольчої безпеки України, за рахунок залучення до аграрного виробництва радіоактивно забруднених земель виведених із використання після аварії на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС) законом України. Проблеми реабілітації радіоактивно забруднених після аварії територій розглядалися майже відразу по проведенні первинної оцінки масштабів радіоактивного забруднення. Вже впродовж 90-х років проведено науково-дослідні роботи щодо можливості отримання доброякісної сільськогосподарської продукції на території з різним рівнем радіоактивного забруднення і різними властивостями ґрунтів. Велику роль у зниженні радіоактивності рослинницької продукції відігравали мінеральні добрива, зокрема калійні та кальцієві добрива. Враховуючи ситуацію із військовими діями, тимчасові втрати територій, зокрема сільськогосподарських, здоров'я мінеральних добрив, пошук і наукове обґрунтування застосування більш доступних засобів, що можуть вплинути на надходження радіонуклідів із ґрунту у рослини, набуває особливого і важливого значення. Одним із заходів, що допомагає приватному сектору підтримувати родючість ґрунтів на присадибних ділянках є використання золи, що утворюється після спалювання деревини і сільських печак. На основі моніторингових досліджень визначено рівень радіоактивного забруднення деревної золи, що формується у приватних господарствах на забрудненій радіонуклідами території, оцінити її вплив на забруднення ^{137}Cs картоплі за внесення золи у ґрунт. У роботі проаналізовано наявну інформацію та отримані нові дані щодо радіоактивного забруднення деревної золи після спалювання деревини. Сформований об'єм золи, забрудненої радіоактивним цезієм, навесні вноситься у ґрунт під різні культури, переважно картоплю. Показано, що у низці випадків рівень радіоактивного забруднення золи в оселях межує і, навіть, перевищує критерій віднесення її до радіоактивних відходів (>10 кБк/кг). Дослідження є продовженням попередніх трьох років, а одержані результати мали неоднозначну динаміку, тому ця робота відображає результати 5 років спостережень.

Ключові слова: цезій радіоактивний (^{137}Cs), зола деревна, щільність радіоактивного забруднення, питома активність ^{137}Cs , картопля.

ВСТУП

Враховуючи економічну ситуацію, що склалася в державі на сьогодні, населення, зокрема сільська спільнота радіоактивно забруднених територій Українського Полісся, змушена шукати більш «економічні» джерела енергії і використовує для обігріву особистих будівель у холодний період часу паливну деревину, що у поліських регіонах України має різні рівні радіонуклідного забруднення. Наслідком використання такої деревини є ризик отримання зольних залишків із концентруванням у них радіонуклідів. Враховуючи низку зольності де-

ревини, радіоактивність золи може у сотні разів перевищувати радіоактивність деревини, а зберігання такої золи і тим більш використання її як добрива може оцінюватися як додаткове джерело опромінення населення завдяки локальному підвищенню зовнішньої складової дози, так і формуванню внутрішньої дози опромінення за рахунок харчових продуктів, що виробляються на присадибних ділянках. Проблеми оцінки радіаційної ситуації на присадибних ділянках приватних господарств радіоактивно забруднених населених пунктів за останні 20 років майже не приділяється уваги ні з боку держави, ні з боку місцевих

органів влади. Є нечисельні наукові дослідження колективів Поліського національного університету, Інституту агроекології і природокористування НААН, НУБіП України. Тому на сьогодні відсутні чіткі уявлення щодо закономірностей впливу привнесення радіоактивної золи у ґрунт під городину: відсутні рекомендації щодо обмеження радіоактивності золи, що вноситься; співвідношення радіоактивності золи і ґрунту; накопичення додаткової радіоактивності різними сільськогосподарськими культурами тощо. Одним із перших обмежувальних параметрів щодо застосування місцевих добрив на радіоактивно забруднених територіях були опубліковані у книзі Б.С. Прістера із співавт. «Основи сільськогосподарської радіології» виданої у 1988 р., де запропоновано використовувати місцеві добрива з питомою активністю, що перевищує питому активність ґрунту не більш як у десять разів. Однак дані рекомендації стосувалися застосування органічних добрив (торф, гній) [1]. На той час, коли відбувалася тотальна газифікація сільських населених пунктів, зокрема на забрудненій радіонуклідами території, ця проблема не виглядала актуальною.

Наразі використання газу для опалення домівок у сільській місцевості майже припинено і застосовується виключно паливна деревина, а зола після спалювання вноситься у ґрунт на присадибних ділянках, що може призвести до збільшення радіонуклідного забруднення ділянки та додаткового внутрішнього опромінення людини внаслідок споживання продукції, отриманої з даних ділянок із підвищеним вмістом радіоактивного цезію [2; 3].

Мета дослідження — з'ясувати динаміку забруднення картоплі за ^{137}Cs за використання деревної золи з радіоактивно забрудненої лісової екосистеми як мінеральні добрива.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблема радіоактивного забруднення лісових екосистем і деревної продукції в Україні після аварії на ЧАЕС досить

широко висвітлена у науковій літературі [4–7] і має декілька прикладних аспектів. Перша проблема пов'язана із радіологічними параметрами обмеження використання деревної продукції, що виробляється на забрудненій радіонуклідами території (ГНПАР-2005- гігієнічний норматив питомої активності радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у деревині та продукції з деревини) [8; 9], що обмежують вміст ^{137}Cs і ^{90}Sr у паливній деревині (ПД) та паливних пучках/хмізі для особистих підсобних господарств на рівні 600 Бк/кг по ^{137}Cs і 60 Бк/кг по ^{90}Sr . Однак радіаційна ситуація на забрудненій радіонуклідами території, зокрема у північній частині Житомирської та Київської обл., останнім часом змінюється у бік підвищення питомої активності радіонуклідів у компонентах деревостану та зростання сумарного вмісту радіонуклідів у деревині [10]. Оцінювання динаміки зміни площ лісових ділянок, в яких буде можливе виробництво деревини з питомою активністю ^{137}Cs менше 600 Бк·кг⁻¹, показали, що нині для виробництва паливної деревини можна використовувати близько 60% всіх площ лісництва 2-ї зони Житомирської обл., через 10 років ця площа сягатиме до 69% і в 2037 р. становитиме 87% від загальної площі. Лише через 50 років у всіх лісництвах можливо буде заготовлювати паливну деревину без обмежень. Тобто з часом після аварії на ЧАЕС збільшаться площі лісових екосистем, де можна заготовляти деревину для палива відповідно до встановлених нормативів.

Існуючі нормативи були розраховані так, що в особистих підсобних господарствах за використання золи як добрива за таких рівнів забруднення паливної деревини, не буде відмічатися перевищення допустимих рівнів забруднення радіонуклідами сільськогосподарської продукції (картоплі) [11].

Другим обмежувальним чинником застосування деревної золи як добрива є «Рекомендації з ведення сільськогосподарського виробництва на забрудненій радіонуклідами території», де запропоновано використовувати золу, якщо питома

радіоактивність золи не перевищує питому активність ґрунту, в якій вона вноситься. Обидва обмеження мають досить наявні протиріччя: по-перше, є публікації, де розглядаються ці питання і стверджується, що ці нормативи є занадто жорсткими, зокрема по ^{90}Sr , тому що великі масиви лісу підпадають під заборону їх застосування як паливної деревини; по-друге, навіть за таких нормативів зола, що залишається після спалювання деревини, через низьку зольність має високу радіоактивність, що набагато перевищує питому активність ґрунту у більшості населених пунктів поліської зони і зола може бути додатковим джерелом опромінення населення [12; 13].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В експериментах використовували золу із вмістом ^{137}Cs , що відібрана в приватних господарствах населених пунктів Овруцького і Народицького р-нів Житомирської обл. під час виконання моніторингових досліджень [14].

Зразки золи вагою від 0,2 до 2 кг відбиралися безпосередньо у місцях утворення (печах, грубах та ін.).

Гамма-спектрометричні дослідження відібраних зразків золи проводились у лабораторії ядерно-фізичних методів аналізу і радіохімії УкрНДІСГР та на кафедрі загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності НУБіП України. Перед гамма-спектрометрією на вміст ^{137}Cs зразки золи було висушено до повітряно-сухого стану, просіяно через сито з діаметром отворів 1 мм та ретельно гомогенізовано.

Вимірювання питомої активності ^{137}Cs у попередньо підготовлених пробах золи здійснювалося на гамма-спектрометрі зі скінтіляційним детектором СЕГ-001-63 (АКП, Україна). Вимірювання виконували в поліетиленових ємностях Марінеллі об'ємом 1000 см^3 та у ємностях Дента, об'ємом 130 см^3 . Похибка вимірювання знаходилася у діапазоні 8–11%, залежно від активності зразків.

Всього визначання вмісту ^{137}Cs було у 52 зразках золи паливної деревини, з яких

для подальшої роботи сформовано 4 зразки золи по 2 кг з активністю 1,3; 6,0; 8,0 і 13,0 кБк/кг.

З метою встановлення інтенсивності переходу ^{137}Cs з ґрунту у клубні картоплі за застосування радіоактивної золи як добрива використовували полігон, що сформований УкрНДІСГР НУБіП України у другій зоні радіоактивного забруднення (н. п. Христинівка Народицької ОТГ). За попередніми дослідженнями було визначено щільність радіоактивного забруднення ґрунту ^{137}Cs — 115 кБк/м^2 (питома активність $450\pm 60\text{ Бк/кг}$).

Площа елементарної ділянки у дослідях близько 3 м^2 ($1,75\text{ м} \times 1,75\text{ м}$). Ширина захисних смуг між елементарними ділянками — 0,5 м. Доза внесення золи на елементарних ділянках становила 1 т/га ($0,1\text{ кг/м}^2$), або $0,3\text{ кг/ділянка}$. Всього у кожному досліді було 6 варіантів у 3-кратній повторності.

Для оцінювання переходу ^{137}Cs у ланці ґрунт–рослина застосовували метод «спряжених» проб.

Зразки бульб картоплі у польовому досліді після досягнення стиглості відбиралися на елементарних ділянках з обліком усього врожаю кожного куща, поміщались у поліетиленові мішки та маркувалися. Після доставки в лабораторію, для кожної повторності дослідних варіантів було сформовано представницькі проби.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Дослідження забруднення ^{137}Cs деревної золи в приватних господарствах здійснено у 3 населених пунктах Овруцького (с. Бігунь, с. Можари, с. Піщаниця) та 2 населених пунктах Народицького р-нів (с-ще Народичі та Селець) Житомирської обл. проводили впродовж декількох років — 2017 р., 2022 р. і 2024 р. Дані населені пункти, знаходяться на різній відстані відносно ЧАЕС, на територіях із різною щільністю забруднення ^{137}Cs і у різних зонах радіоактивного забруднення відповідно до Закону України «Про правовий режим території, що зазнала радіоактивно-

Таблиця 1. Питома активність ^{137}Cs у деревній золі окремих населених пунктів північних районів Житомирської обл.

Область/район	Населений пункт	^{137}Cs , кБк/м ² [12]	Питома активність ^{137}Cs у золі, Бк/кг		
			2017 р.	2022 р.	2024 р.
Овруцький	с. Можари	43	4752±5338	6230±4640	5400±2200
	с. Піщаниця	93	3765±3842	4860±4880	4600±3200
	с. Бігунь	75	6722±5800	7600±5240	7000±3200
Народицький	с-ще Народичі	226	10901±10860	11900±10600	14000±8600
	с. Селець	230	12300±8860	16520±18600	15500±12000

го забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи» [15] (табл. 1).

Як видно з результатів табл. 1 питома активність ^{137}Cs у зразках золи паливної деревини коливається у широкому діапазоні і тенденції щодо зниження активності радіонуклідів у деревній золі впродовж часу спостережень не спостерігається. Це підкреслює висновки співробітників НУБіП України, що площа лісових ділянок, в яких буде можливе виробництво деревини з питомаю активністю ^{137}Cs менше 600 Бк·кг⁻¹ у другій зоні радіоактивного забруднення на початку ХХІ ст. становили на рівні 50–60% і збільшення таких площ буде відбуватися повільно сягаючи майже 90% у 2037 р. і лише через 30 років у всіх лісогосподарських підприємствах можна у майбутньому заготовляти паливну деревину без обмежень [10]. Все це свідчить про те, що ситуація із застосуванням радіоактивної золи на присадибних ділянках мешканців територій, що забруднені чорнобильськими радіонуклідами, буде ще тривати довгий час. Дана ситуація може бути пояснена тим, що на сьогодні відсутня організована заготівля паливної деревини для місцевого населення і часто мешканці заготовляють поряд із стовбурами дерев гілки, активність яких може істотно перевищувати радіоактивність стовбура [16; 17].

Результати, що представлені у табл. 1 показують, що у цих населених пунктах питома активність золи, що утворюється у печах сільських мешканців під час спалювання паливної деревини у 2022 і 2024 рр. дещо збільшилася порівняно із дослід-

женнями, що були проведені в 2017 р. До того ж у 2017 р. 4,5% відібраних зразків золи у приватних господарствах с. Можари за критерієм питомої активності ^{137}Cs (10 кБк/кг) є низькоактивними радіоактивними відходами відповідно до положень ОСПУ-2005 [18], а 2022 р. вказаний норматив перевищений у 7% приватних господарств досліджених населених пунктів. У населеному пункті Піщаниця цей показник у 2022 р. збільшився до 10% порівняно із 7% у 2017 р., у с-щі Народичі від 22% до 27%.

Радіоекологічні аспекти цієї проблеми поки що не знайшли дискусійного характеру у науковій літературі, але можна констатувати, що сільські будинки (вірніше печі) поступово перетворюються на сховище радіоактивних відходів, що залишаються від спалювання деревини. Другий аспект цієї проблеми стосується традиційного використання деревної золи з невідомими рівнями радіонуклідного забруднення сільським населенням як добрива-меліоранта для підвищення родючості ґрунту присадибних ділянок, на яких вирощують городину, переважно картоплю.

Якщо розглядати ситуацію, коли радіоактивна зола за тривалого її внесення в ґрунт під картоплю може розглядатися як джерело вторинного забруднення ґрунту і рослинної продукції, то така ситуація має відображатися на рівнях забруднення картоплі радіоактивним цезієм. Наші дослідження виявили, що у вищевказаних населених пунктах питома активність ^{137}Cs не перевищувала вимоги існуючих нормативів (ДР-06) [19].

З результатів представлених у *табл. 2* видно, що в жодному населеному пункті питома активність ^{137}Cs у бульбах не перевищує вимог державних гігієнічних нормативів — 60 Бк/кг і це за умов, коли мешканці цих населених пунктів регулярно використовують золу як добриво. Тобто правомірність рекомендацій щодо обмеження використання місцевих добрив із питомою активністю не вище за питому активність ґрунту виглядає занадто жорсткою. Питома активність ґрунту, на яких відбиралися проби бульб картоплі на торфових і дерново-підзолистих ґрунтах коливалась у межах 300–600 Бк/кг. Більш високі рівні забруднення картоплі пояснюються властивостями торфових ґрунтів, а саме високими коефіцієнтами переходу.

У *табл. 3* подані усереднені значення питомої активності ^{137}Cs у бульбах картоплі сорту Слав'янка на дерново-підзолистому ґрунті в умовах польового дослідження за застосування як добрива деревної золи з різними рівнями радіонуклідного забруднення.

Отже у *табл. 3* наочно представлено, що в 2022 р. рівень радіоактивного забруднення бульб картоплі у варіантах зі привнесенням додаткової активності разом із золою (питома активність золи 8,7 і 13,7 кБк/кг) був у 2–3 рази вищим за показники питомої активності картоплі на контрольній ділянці. Втім аналізуючи результати питомої активності ^{137}Cs у бульбах картоплі в 2023 і 2024 рр. можна зауважити, що цей показник продовжує бути високим у варіантах із максимальною

Таблиця 2. Питома активність ^{137}Cs у бульбах картоплі відібраних у критичних населених пунктах Рокитнівського рну Рівненської обл. та с-ща Народичі Житомирської обл. (середнє $\pm$ STD) (2022–2025 рр.)

Населені пункти	Динаміка питомої активності ^{137}Cs у бульбах, Бк/кг $\pm$ STD			
	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2025 р.
<i>Рівненська обл. (торфові ґрунти)</i>				
с. Старе Село	16 $\pm$ 9	20 $\pm$ 15	14 $\pm$ 13	17 $\pm$ 10
с. Вежиця	17 $\pm$ 17	12 $\pm$ 6	15 $\pm$ 11	17 $\pm$ 17
с. Дроздинь	21 $\pm$ 12	24 $\pm$ 21	26 $\pm$ 20	22 $\pm$ 14
с. Переходичі	21 $\pm$ 11	11 $\pm$ 5	9 $\pm$ 3	23 $\pm$ 10
<i>Житомирська обл. (дерново-підзолисті ґрунти)</i>				
с-ще Народичі	2 $\pm$ 1	5 $\pm$ 1	4 $\pm$ 2	6 $\pm$ 2
с. Можари	12 $\pm$ 7	9 $\pm$ 5	8 $\pm$ 5	9 $\pm$ 2
с. Піщаниця	18 $\pm$ 6	15 $\pm$ 4	24 $\pm$ 12	18 $\pm$ 7

Таблиця 3. Питома активність ^{137}Cs у бульбах на дерново-підзолистому ґрунті для картоплі сорту Слав'янка в умовах польового дослідження за 2022–2024 рр. (середнє $\pm$ STD)

№ варіанта Питома активність ^{137}Cs у золі, Бк/кг	Доза внесення золи, т/га	Питома активність ^{137}Cs у бульбах, Бк/кг (2022 р.)	Питома активність ^{137}Cs у бульбах, Бк/кг (2023 р.)	Питома активність ^{137}Cs у бульбах, Бк/кг (2024 р.)
Контроль	1	1,6 $\pm$ 1,8	2,2 $\pm$ 2,0	2,6 $\pm$ 1,4
1390	1	3,7 $\pm$ 0,5	3,5 $\pm$ 1,8	3,8 $\pm$ 1,4
3500	1	4,0 $\pm$ 0,8	4,8 $\pm$ 2,0	5,4 $\pm$ 2,0
6700	1	5,2 $\pm$ 0,4	5,0 $\pm$ 1,6	6,0 $\pm$ 1,6
8700	1	6,4 $\pm$ 1,0	8,0 $\pm$ 1,9	7,0 $\pm$ 2,5
13700	1	9,0 $\pm$ 0,8	5,5 $\pm$ 1,6	8,5 $\pm$ 2,0

радіоактивністю ^{137}Cs у золі, але перевищення вимог ДР-06 не спостерігається. Тому привнесення радіоактивності (^{137}Cs) у ґрунт під картоплю із золою, радіоактивність якої в 10 разів перевищує радіоактивність ґрунту не приводить до достовірного збільшення радіоактивності картоплі. Зростання радіоактивності золи до 30 разів порівняно з питомою активністю ^{137}Cs у ґрунті зумовлює достовірне підвищення питомої активності радіоактивного ізотопу в картоплі. Враховуючи те, що питома активність картоплі у жодному варіанті не перевищувала вимоги ДР-06, то і 30-кратне збільшення питомої активності ^{137}Cs у золі над питомою радіоактивністю ґрунту не може слугувати обмеженням для її застосування на дерново-підзолистих ґрунтах зі щільністю радіоактивного забруднення ^{137}Cs 115 кБк/м², як у нашому досліді. Це питання не можна трактувати однозначно з точки зору впливу додаткового використання радіоактивної золи під різні сільськогосподарські культури, зокрема овочеві, але проблема заслуговує на увагу, особливо у часи військових дій, коли обмежений доступ до мінеральних добрив і калію зокрема. Відомо, що деревна зола є джерелом багатьох мінеральних речовин і застосування її у рекомендованих дозах 1 т на га може задовільнити фізіологічні потреби рослин у калії, якій є конкурентом для цезію, а здатність золи впливати на зменшення кислотності ґрунту, за рахунок лужно-земельних металів, сприяє зменшенню доступності радіонуклідів.

Зазначенні аспекти потребують проведення подальших досліджень та розроблення відповідних рекомендацій щодо поводження із забрудненою радіонуклідами золою.

ВИСНОВКИ

Зола є унікальним комплексним добривом і характеризується як джерело багатьох біогенних макро- та мікроелементів, прояв-

ляє властивості меліоративного характеру покращуючи механічні властивості ґрунту, нейтралізує кислі ґрунти. Дослідження щодо вивчення наслідків багаторазового застосування радіоактивно забрудненої золи під вирощування картоплі показало, що в населених пунктах другої зони «Зони безумовного (обов'язкового) відселення» на прикладі с-ща Народичі відсутній радіологічний контроль під час заготівлі паливної деревини для опалення домівок.

Рівень радіоактивного забруднення деревної золи ^{137}Cs у приватних господарствах с-ща Народичі коливався від 4000 Бк/кг до 22 000 Бк/кг (рівень забруднення вище за 10 000 Бк/кг класифікується як радіоактивні відходи). Маса золи, що накопичується у приватних господарствах за зимовий період, коливається від 60 до 100 кг.

Встановлено, що використання радіоактивної золи на присадибних ділянках мешканців с-ща Народичі не призвело до перевищення вимог державних гігієнічних нормативів у картоплі. Питома активність ^{137}Cs у картоплі була в межах від 8 до 22 Бк/кг (допустимий рівень радіоактивного забруднення картоплі за ДР-06 — 60 Бк/кг). Встановлено, що застосування забрудненої ^{137}Cs деревної золи з різною питомою активністю (1300–13700 Бк/кг) як добрива під картоплю на дерново-середньопідзолистому оглеєному ґрунті з питомою активністю ^{137}Cs у ґрунті не спричинило перевищення встановленого ДР-2006 допустимого рівня вмісту ^{137}Cs у бульбах картоплі, але помітна тенденція до збільшення радіоактивності бульб картоплі за зростання радіоактивності золи.

Залишається не визначеним питання максимально граничних значень рівнів радіоактивного забруднення деревної золи на території з різною щільністю радіоактивного забруднення, що дасть можливість отримати картоплю відповідно до вимог санітарно-гігієнічних нормативів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пристер, Б. С. (1988). *Основи сільськогосподарської радіології*. Київ.
2. Лазарев, М. М., Косарчук, О. В., Поліщук, С. В.,

- & Левчук, С. Є. (2017). Радіоекологічна оцінка деревної золи в населених пунктах півночі Житомирського Полісся. *Агроекологічний журнал*, 4, 29–36.

