

ПРОГНОЗУВАННЯ НАСЛІДКІВ ЗАБРУДНЕННЯ КАРТОПЛІ ^{137}Cs ЗА УМОВ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ І ЗАСТОСУВАННЯ ДОБРИВ МІСЦЕВОГО ПОХОДЖЕННЯ

Єрмоленко С. М., Ілленко В. В., Лазарєв М. М.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ

illienko@nubip.edu.ua, alla.klepko@gmail.com

Регулярне використання деревної золи шляхом внесення її під різні культури, зокрема, на присадибних ділянках приватного сектору є звичайною практикою у сільськогосподарському виробництві. Найбільш розповсюджений є цей захід на дерново-підзолистих і торфових ґрунтах України, на яких, поряд із додаванням поживних мінеральних речовин за рахунок внесення золи відбувається нейтралізація підкислених або кислих ґрунтів. В роботі представлені результати багаторічних спостережень за рівнем радіоактивного забруднення (^{137}Cs) картоплі на дерново-підзолистому ґрунті при щорічному внесенні у ґрунт золи з різним рівнем забруднення радіоактивним цезієм, а також зроблений прогноз зміни питомої активності ^{137}Cs в картоплі за умов її вирощування при внесенні золи і перегною місцевого походження, починаючи з 2000 року і до 2050 року. На основі моніторингових досліджень визначено рівень радіоактивного забруднення деревної золи, що формується у приватних господарствах на забрудненій радіонуклідами території, а також отримані результати щодо радіоактивного забруднення перегною в приватних господарствах, що тримають корів. В експериментах для різних варіантів використовували золу з активністю від 1300 до 13 700 Бк/кг і за час досліджень не спостережали перевищення вимог ДР-06 (60 Бк/кг) щодо вмісту радіоактивного цезію у картоплі, а також не відбувалося суттєвих змін у значеннях коефіцієнту накопичення радіонуклідів з ґрунту у бульби картоплі. На основі отриманих результатів було зроблено прогнозні оцінки забруднення картоплі при застосуванні золи і перегною місцевого походження з максимальною активністю радіоактивного цезію, що спостерігалася при відборі проб у приватних господарствах. Отримані результати свідчать, що за умов щорічного внесення радіоактивної золи активністю 40 кБк/кг та при нормі внесення 1 т/га, ми спостерігаємо поступове зниження прогнозованого рівня питомої активності бульб картоплі. На 2000 рік цей показник складає 16,0 Бк/кг, що в 3,75 разів нижче допустимого рівня. До 2050 року прогнозована величина питомої активності ^{137}Cs в бульбах поступово зменшуватиметься до 10,4 Бк/кг, що нижче допустимих рівнів майже у 6 разів. Даний прогноз враховує зниження активності ^{137}Cs лише за рахунок його фізичного розпаду. *Ключові слова:* щільність забруднення території, питома активність ^{137}Cs , коефіцієнт накопичення, деревна зола, прогноз радіоактивного забруднення продукції.

Forecasting the consequences of potato contamination with ^{137}Cs under conditions of radioactive soil contamination and the use of locally sourced fertilisers. Yermolenko S., Illienko V., Lazarev M.

The regular utilisation of wood ash through its application to various crops, particularly on private agricultural plots, constitutes a prevalent agricultural practice. This practice is most widespread on sod-podzolic and peaty soils in Ukraine, where, in addition to adding nutrients, ash is used to neutralise acidified or acidic soils. The present paper sets out the findings of long-term observations of the level of radioactive contamination (^{137}Cs) of potatoes on sod-podzolic soil with annual application of ash with varying levels of radioactive caesium contamination to the soil. In addition, the paper forecasts changes in the ^{137}Cs activity concentration in potatoes grown with the application of ash and local humus from 2000 to 2050. The present study is based on monitoring studies which were carried out in order to determine the level of radioactive contamination of wood ash formed in private households in areas contaminated with radionuclides. Furthermore, the results obtained from these monitoring studies revealed the radioactive contamination of humus in private households that keep cows. In the course of the experiments, ash with ^{137}Cs activity concentration ranging from 1300 to 13700 Bq/kg was utilised for various variants. During the research, no exceedance of the PL-06 requirements (60 Bq/kg) for the content of radioactive caesium in potatoes was observed. Furthermore, no significant changes in the values of the radionuclide accumulation coefficient from the soil in potato tubers were detected. Based on the results obtained, predictive estimates were made of potato contamination when using ash and humus of local origin with the maximum activity of radioactive caesium observed during sampling in private farms. The findings demonstrate that the annual application of radioactive ash, with an activity of 40 kBq/kg and an application rate of 1 t/ha, results in a gradual decline in the predicted level of ^{137}Cs activity concentration in potato tubers. For the year 2000, the measured value of this indicator was found to be 16.0 Bq/kg, which is 3.75 times lower than the permissible level. By 2050, the predicted ^{137}Cs activity concentration in tubers will gradually decrease to 10.4 Bq/kg, which is almost six times lower than the permissible levels. This forecast incorporates the decline in ^{137}Cs activity attributable solely to its physical decay. *Key words:* territory contamination density, ^{137}Cs activity concentration, accumulation coefficient, wood ash, forecast of products radioactive contamination.

Актуальність дослідження. 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 з концентруванням у них радіонуклідів. Враховуючи низку зольності деревини радіоактивність золи може у сотні разів перевищувати радіоактивність деревини, а зберігання такої золи і тим більш використання її у якості добрива може оцінюватися як додаткове джерело опромінення населення за рахунок локального підвищення зовнішньої складової дози так і формування внутрішньої дози опромінення за рахунок продуктів харчування, що виробляються на присадибних ділянках. Проблемі 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. Тому на сьогоднішній день 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 з перших обмежувальних параметрів щодо застосування місцевих добрив на радіоактивно забруднених територіях були опубліковані у книзі Б. С. Прістера (1988) із співавторами «Основи сільськогосподарської радіології» виданої у 1988 році, де рекомендовано використовувати місцеві добрива з питомою активністю, що перевищує питому активність ґрунту не більш як у десять разів. Але дані рекомендації стосувалися використання органічних добрив (торф, гній) [1]. На той час, коли відбувалася тотальна газифікація сільських населених пунктів, зокрема на забрудненій радіонуклідами території, дана проблема не виглядала актуальною.

На сьогодні використання газу для опалення домівок у сільській місцевості майже припинено і використовується 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 з підвищенням вмістом радіоактивного цезію [2, 3].

Мета дослідження: з'ясувати динаміку забруднення картоплі за ^{137}Cs при використанні деревної золи з радіоактивно забрудненої лісової екосистеми в якості мінеральних добрив.

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 паливної деревини (ПД) та паливних пучках/хмизі для особистих підсобних господарств на рівні 600 Бк/кг по ^{137}Cs і 60 Бк/кг по ^{90}Sr . Але радіаційна ситуація на забрудненій радіонуклідами території, зокрема у північній частині Житомирської та Київської областей, останнім часом змінюється у бік збільшення питомої активності радіонуклідів у компонентах деревостану та зростання сумарного вмісту радіонуклідів у деревині [10]. Оцінки динаміки зміни площ лісових ділянок, в яких буде можливе виробництво деревини з питомою активністю ^{137}Cs менше 600 Бк · кг⁻¹, показали, що в даний час для виробництва паливної деревини можна використовувати біля 60 % всіх площ лісництва 2-ої зони Житомирської області, через 10 років ця площа збільшиться до 69 % і в 2037 році складе 87 % від загальної площі. Лише через 30 років у всіх лісництвах можливо буде заготовлювати паливну деревину без обмежень

Існуючи нормативи радіоактивного забруднення паливної деревини, були розраховані таким чином, що у особистих підсобних господарствах при використанні золи у якості добрива за таких рівнів забруднення паливної деревини, не буде відмічатися перевищення допустимих рівнів забруднення радіонуклідами сільськогосподарської продукції (картоплі) [11].

Другим обмежувачим фактором застосування деревної золи у якості добрива є «Рекомендації з ведення сільськогосподарського виробництва на забрудненій радіонуклідами території», де рекомендовано використовувати золу можна, 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 використання у якості паливної деревини; по-друге навіть за таких нормативів зола, що залишається після спалювання деревини, із-за низької зольності має високу радіоактивність, що набагато перевищує питому активність ґрунту у більшості населених пунктів поліської зони і зола може бути додатковим джерелом опромінення населення [12–14].

Матеріали та методи. Накопичені результати польових експериментів впродовж 2017 по

2024 рр. на дослідній ділянці розташованої поряд з с. Христинівка Народицької селищної територіальної громади Коростенського району Житомирської області, дозволили провести розрахунок зміни питомої активності картоплі за період від 2000 до 2050 року. При цьому було розглянуто кілька варіантів внесення: тільки зола, тільки перегній, зола і перегній одночасно.

Щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs на дослідних ділянках складала 118 ± 20 кБк/м² (питома активність ґрунту 465 ± 60 Бк/кг), площа елементарної ділянки у досліді близько 3 м² (1,75 м × 1,75 м). Ширина захисних смуг між елементарними ділянками – 0,5 м. Доза внесення золи на елементарних ділянках становила 1 т/га (0,1 кг/м²), або 0,3 кг/ділянка. Всього у кожному досліді було 6 варіантів у 3-х кратній повторності. Зразки золи вагою від 0,2 до 2 кг відбиралися безпосередньо у місцях утворення (печах, грубах та ін.) в приватних господарствах населених пунктів Овруцького і Народицького районів Житомирської області.

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 в попередньо підготовлених пробах золи проводилося на гамма-спектрометрі із сцинтиляційним детектором СЕГ-001-63 (АКП, Україна). Вимірювання проводили в поліетиленових ємностях Марінеллі об'ємом 1000 см³ та у ємностях Дента, об'ємом 130 см³. Похибка вимірювання знаходилася у діапазоні 8–11 %, залежно від активності зразків. Встановлені загальноприйнятими методами окремі агрохімічні показники дерново-підзолистого ґрунту дослідної ділянки, а саме: $\text{pH}_{\text{KCl}} - 6,2 \pm 0,2$; обмінний калій (за Кірсановим) – 170 ± 20 мг/кг; гумус – $2,3 \pm 0,2$). При таких показниках, коефіцієнт переходу (КП) буде складати $8,47 \cdot 10^{-2}$ (Бк/кг)/(кБк/м²). Прогноз є справедливим лише для даних ґрунтових умов або для значень КП, які є наближеними до тих, що використовувалися у розрахунках.

При проведенні прогнозування було враховано зменшення активності ^{137}Cs за рахунок фізичного розпаду як у ґрунті, так і для питомої активності у золі та перегної. Також прогноз передбачав, що зола та перегній вноситимуться щорічно, активність радіонуклідів у ґрунті при цьому накопичуватиметься. Для консервативного прогнозного розрахунку використовували максимальне значення питомої активності золи, що зустрічалася при відборі зразків – 40 кБк/кг, а вихідна питома активність ^{137}Cs у картоплі складала 10 ± 1 Бк/кг.

Виклад основного матеріалу. 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 районів (сmt. Народичі та Селець) Житомирської області проводили на протязі 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 радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи» [15] (табл. 1).

Як видно з результатів таблиці 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 досліджень не спостерігається.

У таблиці 2 представлені усередненні значення питомої активності ^{137}Cs в бульбах картоплі сорту «Слов'янка» на дерново-підзолистому ґрунті в умовах польового досліді при застосуванні в якості добрива деревної золи з різними рівнями радіонуклідного забруднення.

З результатів представлених у таблиці 3 наглядно видно, що у 2022 році рівень радіоактивного забруднення бульб картоплі у варіантах з привнесенням додаткової активності разом з золою (питома активність золи 8,7 і 13,7 кБк/кг) був у 2 рази вищим за показники питомої активності картоплі на контрольній ділянці. Але аналізуючи результати питомої активності ^{137}Cs в бульбах картоплі у 2023 і 2024 роках можна зауважити, що даний показник продовжує бути вищим у варіантах з максимальною радіоактивністю ^{137}Cs в золі, але перевищення вимог ДР-06 не спостерігається. Такім чином привнесення радіоактивності (^{137}Cs) в ґрунт під картоплю із золою радіоактивність якої в 10 разів перевищує радіоактивність ґрунту не приводить до достовірного підвищення радіоактивності картоплі. Збільшення радіоактивності золи до 30 разів у порівнянні з питомою активністю ^{137}Cs в ґрунті призводить до достовірного 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 перевищення питомої активності ^{137}Cs в золі над питомою радіоактивністю ґрунту не може слугувати обмеженням для її застосування на дерново – підзолистих ґрунтах зі щільністю радіоактивного забруднення ^{137}Cs 118 кБк/м², як у нашому досліді.

Результати прогнозування питомої активності бульб картоплі при виконанні вищеописаних умов, та без урахування процесів фіксації радіонуклідів ґрунтовими мінералами та можливих змін доступності за впливу інших факторів навколишнього природного середовища, зображені на рис. 1.

Таблиця 1

Питома активність ^{137}Cs у деревній золі окремих населених пунктів північних районів Житомирської області

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. Бугунь	75	6722 ± 5800	7600 ± 5240	7000 ± 3200
Народицький	смт. Народичі	226	10 901 ± 10 860	11 900 ± 10 600	14 000 ± 8600
	с.Селець	230	12 300 ± 8860	16 520 ± 18 600	15 500 ± 12 000

Таблиця 2

Питома активність ^{137}Cs у бульбах на дерново-підзолистому ґрунті для картоплі сорту «Слов'янка» в умовах польового дослідження за 2022–2024 роки (середнє ± STD)

№ варіанту. 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 (2024р)
Контроль	1	1,6 ± 1,8	2,2 ± 2,0	2,6 ± 1,4
1390	1	3,7 ± 0,5	3,5 ± 1,8	3,8 ± 1,4
3500	1	4,0 ± 0,8	4,8 ± 2,0	5,4 ± 2,0
6700	1	5,2 ± 0,4	5,0 ± 1,6	6,0 ± 1,6
8700	1	6,4 ± 1,0	8,0 ± 1,9	7,0 ± 2,5
13700	1	9,0 ± 0,8	5,5 ± 1,6	8,5 ± 2,0

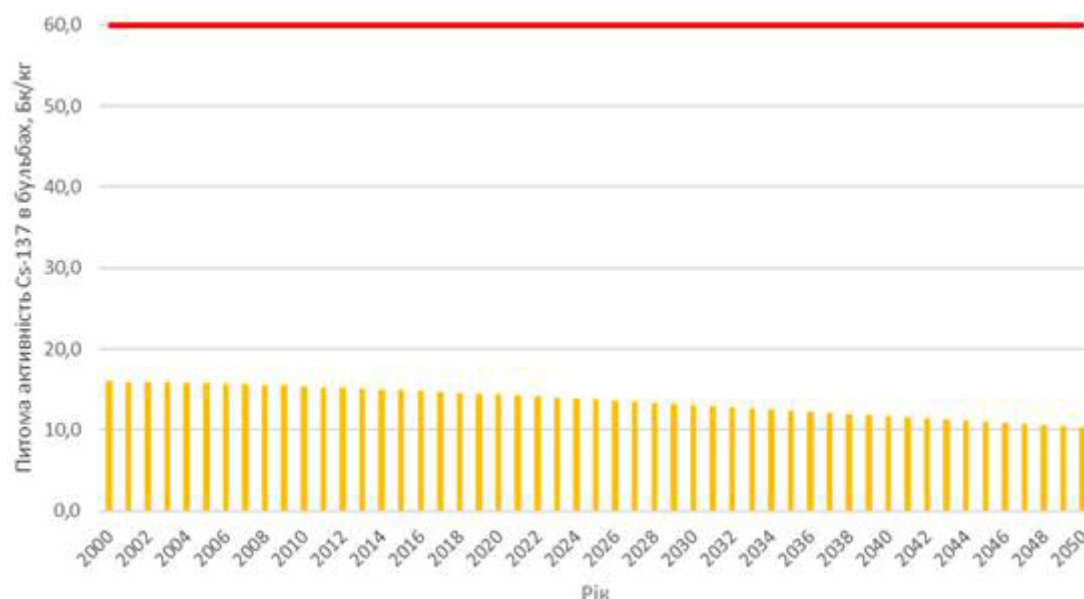


Рис. 1. Прогнозований рівень забруднення картоплі за внесення золи забрудненої ^{137}Cs , Бк/кг (ДР-2006 для картоплі 60 Бк/кг)

Аналізуючи отримані розрахункові дані, можна відзначити, що за умов щорічного внесення радіоактивної золи активністю 40 кБк/кг та при нормі внесення 1 т/га, ми спостерігаємо поступове зниження прогнозованого рівня питомої активності бульб картоплі. На 2000 рік цей показник складає 16,0 Бк/кг, що в 3,7 разів нижче допустимого рівня. До 2050 року прогнозована величина питомої актив-

ності ^{137}Cs в бульбах поступово зменшуватиметься до 10,4 Бк/кг, що нижче допустимих рівнів майже у 6 разів. Даний прогноз враховує зниження активності ^{137}Cs лише за рахунок його фізичного розпаду.

На рис. 2 відображено результати прогнозування питомої активності бульб картоплі за умов щорічного внесення перегною з питомою активністю ^{137}Cs на 2000 рік 4 кБк/кг. Для цього року розрахункова



Рис. 2. Прогнозований рівень забруднення картоплі за внесення перегною забрудненого ^{137}Cs , Бк/кг (ДР-2006 для картоплі 60 Бк/кг)

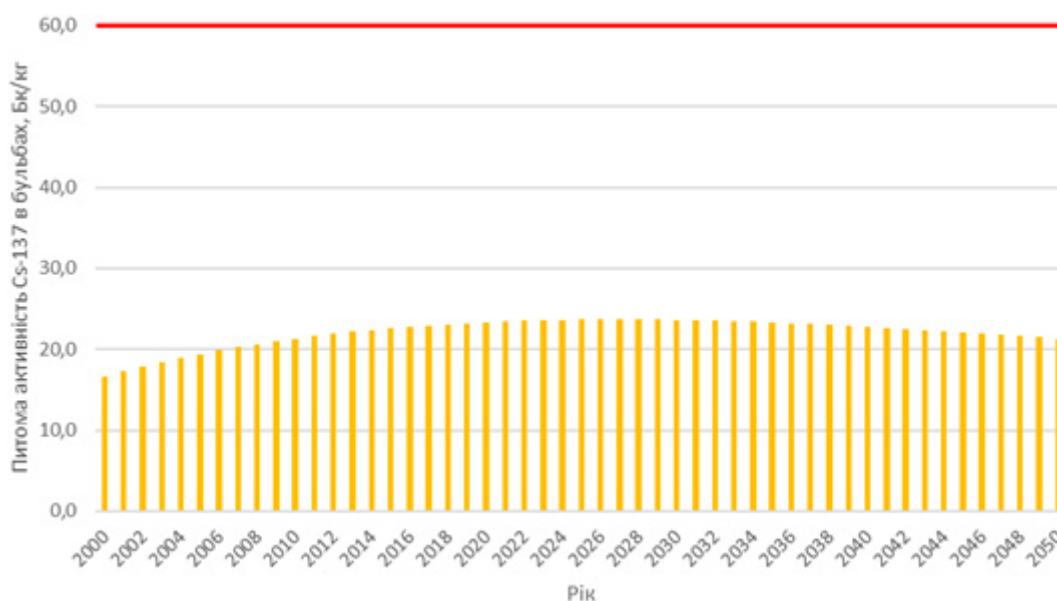


Рис. 3. Прогнозований рівень забруднення картоплі за одночасного внесення золи та перегною забруднених ^{137}Cs , Бк/кг (ДР-2006 для картоплі 60 Бк/кг)

величина питомої активності радіонукліду в бульбах складала 16,3 Бк/кг.

Результати розрахунків прогнозованого рівня радіоактивного забруднення картоплі, що представлені на рис. 2 наглядно показують не суттєве зростання значення питомої активності ^{137}Cs в бульбах протягом періоду 2000–2019 рр. При цьому у 2019 році прогнозований найвищий рівень забруднення бульб – 18,9 Бк/кг, що в 3 рази нижче допустимого рівня. Після 2019 року питома активність радіонукліду в бульбах поступово знижується і до 2050 року прогнозована величина питомої актив-

ності ^{137}Cs в бульбах поступово зменшуватиметься до 16 Бк/кг.

На рис. 3 відображено результати прогнозування питомої активності бульб картоплі за умов щорічного внесення перегною та золи. Як і у випадку внесення перегною, ми відмічаємо збільшення питомої активності ^{137}Cs в бульбах, але відбувається це в період з 2000 по 2026 рр.

Результати розрахунків прогнозованого рівня радіоактивного забруднення картоплі, що представлені рис. 3 свідчать про те, що питома активність радіонукліду в бульбах досягне плато і триматиметься на

рівні 23,7 Бк/кг протягом трьох років до 2028 р. Після 2028 року питома активність радіонукліду в бульбах поступово знижується. До 2050 року прогнозована величина питомої активності ^{137}Cs в бульбах за прогнозом знизиться до 21,3 Бк/кг, що є нижче значень ДР-2006 [16] практично в три рази.

Щоб досягти прогнозованого перевищення значень питомої активності ^{137}Cs в бульбах картоплі (вище 60 Бк/кг) ми збільшили початкову щільність забруднення ґрунту до 705 кБк/м² (19 Кі/км²). При збереженні сталих значень КП, рівнів радіонуклідного забруднення та норм внесення золи і перегною, ми прогнозуємо поступове зменшення питомої активності бульб на весь розглянутий проміжок часу від 2000 по 2050 рр. Згідно прогнозу на 2050 рік питома активність бульб буде становити близько 30 Бк/кг.

Таким чином отримані результати в умовах польових дослідів і прогнозні оцінки радіоактивного забруднення картоплі на дерново підзолистих ґрунтах з привнесенням додаткової радіоактивності за рахунок деревної золи і перегною показують, що на території радіоактивно забрудненого Українського Полісся, де законом України [15] дозволено ведення аграрного виробництва, можна виробляти картоплю з вмістом ^{137}Cs відповідно до вимог існуючих на сьогодні Державних гігієнічних нормативів.

Головні висновки. Зола є унікальним комплексним добривом і характеризується як джерело багатьох біогенних макро- та мікроелементів, проявляє властивості меліоративного характеру покращуючи механічні властивості ґрунту, нейтралізує кислоти ґрунту. Рівень радіоактивного забруднення деревної золи ^{137}Cs у приватних господарствах с. 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. Народичі не призвело до перевищення вимог державних гігієнічних нормативів у картоплі. Питома активність ^{137}Cs в картоплі коливалася від 8 до 22 Бк/кг (допустимий рівень радіоактивного забруд-

нення картоплі за ДР-06 – 60 Бк/кг). Встановлено, що застосування забрудненої ^{137}Cs деревної золи з різною питомою активністю (від 1300 до 13 700 Бк/кг) у якості добрива під картоплю на дерново-середньопідзолистому оглеєнному ґрунті з питомою активністю ^{137}Cs в ґрунті 460 кБк/кг не призводить до перевищення встановленого ДР-2006 допустимого рівня вмісту ^{137}Cs в бульбах картоплі, але помітна тенденція до збільшення радіоактивності бульб картоплі при зростанні радіоактивності золи.

Зроблені розрахунки прогнозу питомої активності бульб картоплі за використання радіоактивної золи і перегною на забрудненій радіонуклідами території. За розрахунками показано, що за умов щорічного (на протязі 50 років) внесення радіоактивної золи із питомою активністю ^{137}Cs до 40 кБк/кг і перегною – до 4 кБк/кг при нормах, відповідно, 1 т/га і 20 т/га на угіддях із щільністю радіоактивного забруднення ґрунту до 185 кБк/м² не призведе до перевищення вимог державних санітарно-гігієнічних нормативів вмісту ^{137}Cs в картоплі (60 Бк/кг), вирощеної за даних ґрунтових умов.

Наш прогноз враховує зменшення активності ^{137}Cs в ґрунті та органічних добривах місцевого походження за рахунок фізичного розпаду радіонукліду. Та не враховує процеси, пов'язані зі зменшенням доступності ^{137}Cs за рахунок інших факторів навколишнього середовища.

Ризик отримання картоплі з питомою активністю бульб вище за значення допустимого рівня (60 Бк/кг) для розглянутих ґрунтових умов значно зростає при досягненні наступних умов: щільність забруднення ґрунту вище 705 кБк/м², використання золи активністю ^{137}Cs вище 400 кБк/кг (внесення 1 т/га) або перегною активністю вище 19,5 кБк/кг (внесення 20 т/га).

Подяки. Висловлюємо подяку співробітникам інституту сільськогосподарської радіології за посильну технічну допомогу завдяки якій дослідження стало можливим.

Фінансування. Дослідження проведені за фінансової підтримки МОН України за договором 110/4-пр 2022–2023 рр. «Оцінка ролі вторинного радіоактивного забруднення агроєкосистем органічними добривами».

Література

1. Прістер Б. С. Основи сільськогосподарської радіології. Київ, 1988. 232 с.
2. Лазарев М. М., Косарчук О. В., Поліщук С. В., Левчук С. Є. Радіоекологічна оцінка деревної золи в населених пунктах півночі Житомирського Полісся. Агроєкологічний журнал. 2017. № 4. С. 29–36.
3. Лазарев М. М., Отрешко Л. М., Косарчук О. В., Поліщук С. В., Йошенко Л. В. Обґрунтування можливості використання паливної деревини з північних районів Полісся. Науково-технічний журнал Чорнобильської зони відчуження. Славутич, 2019. Вип. 19. С. 46–58.
4. Краснов В. П. Радіоекологія лісів Полісся України. Житомир : Волинь, 1998. 128 с.
5. Кашпаров В. О. Звіт «Чорнобиль: 30 років спадщини радіоактивного забруднення». Замовлено Greenpeace, Бельгія. Київ, 2016. 59 с.
6. Ладіджієне Р., Орендєне А., Пілкіте Л., Скріпкєне А., Жукаускайте В., Кєвінас Р. Radiological investigation of wood used for combustion. *Ekologija*. 2011. Vol. 56, no. 3–4. P. 87–93. <http://dx.doi.org/10.2478/v10055-010-0012-x>
7. Zibitsev S. V. Theoretical and methodological substantiation of monitoring of forests in zones of radioactive contamination as a result of the accident at the Chornobyl NPP : Thesis of doctor agr. science. Kyiv : National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 2012. 463 p.

8. Гігієнічний норматив питомої активності радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у деревині та продукції з деревини (ГНПАР-2005): [затв. Наказом МОЗ України від 31.10.2005 № 573]. Офіц. вид. Київ, 2005. 3 с.
9. Отрешко Л. М., Йощенко Л. В., Поліщук С. В., Косарчук О. В. Матеріали проекту Глобального екологічного фонду (UNEP-GEF) «Збереження, оптимізація й управління запасами вуглецю та біологічним різноманіттям у Чорнобильській зоні відчуження». Наукові доповіді НУБіП України. 2018. № 1 (71), вип. 19. С. 58–67.
10. Повернення в господарське використання для виробництва біоенергоресурсів відчужених радіоактивно забруднених територій : звіт про НДР (заключ.) № держреєстрації 0109U000780 / УкрНДІСГР НУБіП України ; керівник робіт Кашпаров В. О. Київ, 2013. 366 с.
11. Лось І. П., Шабуніна Н. Д., Орлов О. О., Краснов В. П., Ландін В. П. Обґрунтування нормативу вмісту радіонуклідів у паливній деревині та оцінка його обґрунтованості. Довкілля та здоров'я. 2008. № 2. С. 19–22.
12. Ландін П. П. Чорнобильська катастрофа. Актуальні проблеми, напрямки та шляхи їх вирішення : зб. тез міжнар. наук.-практ. конф. (м. Житомир, 26–27 квіт. 2018 р.). Житомир : ЖНАЕУ, 2018.
13. Якименко А. Н., Швиденко І. К., Райчук Л. А., Паньковская Г. П. Визначення рівня радіаційного забруднення бульб картоплі, вирощеної в умовах Українського Полісся. Науковий вісник НЛТУ України. 2013. Вип. 23.4. С. 105–110.
14. Косарчук О. В., Поліщук С. В. Радіологічні наслідки використання забрудненої радіонуклідами золи на сільськогосподарських угіддях. Чорнобильська катастрофа. Актуальні проблеми, напрямки та шляхи їх вирішення : зб. тез міжнар. наук.-практ. конф. (м. Житомир, 26–27 квіт. 2018 р.). Житомир : ЖНАЕУ, 2018. С. 45–50.
15. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи: Закон України від 27.02.1991 р. № 791а-ХІІ: станом на 01 жовт. 2023 р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/791%D0%B0-12#Text>.
16. Державні гігієнічні нормативи «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді», ГН 6.6.1.1-130-2006. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE12719.html

Дата першого надходження рукопису до видання: 26.11.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 15.12.2025

Дата публікації: 31.12.2025