

І. М. Малоштан, С. В. Поліщук, В. О. Кашпаров

*Український науково-дослідний інститут сільськогосподарської радіології
Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ***ОЦІНКА РАДІОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНТРЗАХОДІВ
НА ТОРФ'ЯНО-БОЛОТНИХ ҐРУНТАХ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ**

Протягом 3 років (2013 - 2015) в умовах дрібноділянкового польового дослідження отримано значення коефіцієнтів накопичення ^{137}Cs (контроль $6,1 \pm 0,8$) після разового застосування агрохімічних контрзаходів на торф'яно-болотних ґрунтах Рокитнівського району Рівненської області, що характеризуються аномально високою біологічною доступністю радіоізоотопів цезію. На пізній фазі ліквідації Чорнобильської аварії усереднена радіологічна ефективність піскування ($175 - 200$ т/га) та внесення фероцину ($0,2$ т/га) достовірно не відрізнялась від одиниці і становила від $0,8$ до $1,6$ разів. Вапнування (крейда 4 т/га) та внесення золи торфу (5 т/га) зменшувало вміст ^{137}Cs в рослинності в $1,7 - 1,9$ разів. Найбільша радіологічна ефективність була досягнута після застосування суміші «крейда - фероцин» ($4 + 0,2$ т/га) – $4,4 \pm 2,0$ рази та фероцин-бентонітового сорбенту (30 т/га) – $7,0 \pm 2,0$ рази.

Ключові слова: ^{137}Cs , контрзаходи, радіологічна ефективність, торф'яно-болотні ґрунти, Чорнобильська аварія.

Вступ

Після аварії на ЧАЕС минуло 30 років, що привело до зменшення активності чорнобильського ^{137}Cs у 2 рази. Проте актуальною проблемою для населених пунктів північно-західного Полісся України (північні райони Рівненської та Житомирської областей) залишається подальша мінімізація вмісту ^{137}Cs в сільськогосподарській продукції, оскільки в особистих підсобних господарствах унаслідок використання забруднених ^{137}Cs угідь на торф'яно-болотних ґрунтах до цього часу отримується продукція, що не відповідає вимогам діючих допустимих рівнів за вмістом ^{137}Cs ДР-2006 [1].

Основна частка дози опромінення населення в зазначеному регіоні (до 95 %) формується за рахунок споживання місцевих продуктів харчування, у першу чергу молока, яке не відповідає вимогам ДР-2006 за вмістом ^{137}Cs (100 Бк/л) [2 - 6]. Причина високої концентрації ^{137}Cs у молоці при порівняно невисоких рівнях щільності забруднення ґрунту (близько 100 кБк/м²) полягає в тому, що населення випасає худобу та здійснює заготівлю грубих кормів на природних неокультурених луках, ґрунти яких представлені рядом торф'яних і торф'яно-болотних відмін, специфічні фізико-хімічні та агрохімічні властивості яких сприяють аномально високій міграційній здатності та біодоступності ^{137}Cs в системі «ґрунт - лучна рослинність», що, як наслідок, обумовлює високий його вміст у молоці.

У травні 2015 р. середня питома активність ^{137}Cs у молоці корів ($n = 20$) у найбільш критичних населених пунктах (з точки зору ефективних доз опромінення жителів) Рокитнівського району Рівненської області становила: с. Старе Село – 330 ± 130 Бк/л, с. Дроздинь – 323 ± 135 Бк/л,

с. Вежиця – 420 ± 160 Бк/л, с. Переходичі – 470 ± 230 Бк/л, досягаючи максимальних значень $590, 610, 750$ і 870 Бк/л відповідно [5].

Тому до цього часу важливою практичною задачею на даних територіях є виробництво чистих кормів, одним із можливих шляхів вирішення якої є застосування агротехнічних та агрохімічних контрзаходів, спрямованих на зниження надходження ^{137}Cs з ґрунту в рослини. Кратність зниження (радіологічна ефективність) вмісту ^{137}Cs в рослинності після вапнування кислих ґрунтів та застосування підвищених доз мінеральних добрив на пізній стадії ліквідації Чорнобильської аварії в реальних виробничих умовах становить $1,5 - 3,0$ рази для типових ґрунтово-кліматичних умов Полісся України [7 - 8]. Радіологічна ефективність внесення вапна в дозі $4 - 6$ т/га на органічних ґрунтах становить $1,5 - 2,0$ рази, застосування мінеральних добрив в оптимальному співвідношенні ($\text{N}_{60}\text{P}_{90}\text{K}_{120} - 1:1,5:2$) – $1,5 - 3,0$ рази, а сумісне застосування вапна і мінеральних добрив дозволяє зменшити вміст ^{137}Cs в рослинності на торф'яниках в $2,5 - 4,0$ рази [9].

У лабораторних вегетаційних експериментах на торф'яно-болотних ґрунтах з аномально високою біологічною доступністю радіоізоотопів цезію була отримана вкрай висока радіологічна ефективність внесення фероцин-бентонітового сорбенту в дозі 100 т/га (520 ± 124 рази) [10], а також піску в дозі $200 - 400$ т/га ($3 - 5$ разів), деревної золи в дозі $1,5 - 3,0$ т/га ($9 - 23$ рази) та їхнього сумісного застосування ($9 - 45$ разів) [11]. Слід відзначити, що під час проведення вегетаційних експериментів у лабораторних умовах важко було повною мірою відтворити реальні ґрунтово-кліматичні умови, що призво-

© І. М. Малоштан, С. В. Поліщук, В. О. Кашпаров, 2016

дило до деградації/мінералізації використаного субстрату і, як наслідок, до нетипової динаміки інтенсивності кореневого надходження ¹³⁷Cs в рослинність [6, 10, 11].

Виходячи з вищенаведеного, метою даної роботи була перевірка радіологічної ефективності контрзаходів по зниженню біологічної доступності ¹³⁷Cs для трав'янистих рослин на торф'яно-болотних ґрунтах у реальних ґрунтово-кліматичних умовах дрібноділянкових польових дослідів.

Об'єкти та методика досліджень

Закладку довготривалого дрібноділянкового польового дослідів було здійснено у 2013 р. на території болотного масиву поблизу с. Вежиця (урочище Гало, Пн. 51.5752°, Сх. 27.1309°) Рокитнівського району Рівненської області, на луках якого випасаються корови місцевого населення. З цієї ж ділянки відбирався верхній 20-см шар ґрунту для проведення лабораторних вегетаційних експериментів [6, 10].

Обґрунтування вибору місця проведення досліджень, радіоекологічний опис території досліджень, розподіл ¹³⁷Cs у 20-см шарі ґрунту дослідної ділянки та його агрохімічна характеристика були детально описані в попередніх роботах [6, 10]. Для здійснення аналізів проби ґрунту відбирались на місці закладки дослідів в 5 точках на глибину 20 см. Більше 70 % активності ¹³⁷Cs знаходилось у дернині та верхньому 6-см шарі ґрунту.

Результати визначення фізико-хімічних та агрохімічних властивостей верхнього 20-см шару торф'яно-болотного ґрунту

рН водний	3,6 ± 0,1
рН сольовий	4,4 ± 0,1
Гідролітична кислотність, Н _r , ммоль/100 г	85,5 ± 10,3
Сума обмінних основ (катионів), S, мг-екв/100 г	10,2 ± 0,5
Місткість катіонного обміну, МКО, мг-екв/100 г	95,7 ± 0,9
Ступінь насичення основами V, %	0,1 ± 0,01
Вміст загального азоту, %	1,91 ± 0,06
Вміст рухомого фосфору, мг/кг	79,0 ± 0,6
Вміст рухомого калію, мг/кг	172,7 ± 0,9
Вміст амонійного азоту, мг/кг	26,5 ± 0,1
Зольність, %	19,1 ± 1,6
Об'ємна маса ґрунту, кг/м ³	160 ± 4
Питома активність ¹³⁷ Cs у ґрунті, Бк/кг	300 ± 50

При закладці польового дослідів використано рендомізовану схему розміщення варіантів, яка дозволяє усунути можливий вплив закономірної мінливості ґрунтової родючості і просторової неоднорідності забруднення ¹³⁷Cs площі ділянки на результати дослідів та використання статистичних критеріїв для оцінки експериментальних даних [12].

Таблиця 1. Запропоновані варіанти контрзаходів та дози внесення меліорантів

Шифр варіанта дослідів	Варіант	Доза внесення речовини, т/га
1 А,В,С	Крейда	4
2 А,В,С	Крейда + фероцин	4 + 0,2
3 А,В,С	Фероцин	0,2
4 А,В,С	Фероцин-бентонітовий сорбент	30
5 А,В,С	Піскування ¹	200
6 А,В,С	Піскування ²	175
7 А,В,С	Зола торфу ³	5
8 А,В,С,Д	Контроль	-

¹ Привозний пісок з лісового масиву.

² Місцевий пісок, що залягає під шаром торфу дослідної ділянки.

³ Зола торфу дослідної ділянки шару 0 - 5 см.

Квадратна форма ділянок дозволяє знизити периметр ділянки, а відтак і вплив крайових ефектів на результати дослідів [12, 13]. Ширина захисних смуг 1 м. Площа елементарної ділянки 1 м². Усього в досліді використано 8 варіантів у 3-кратній повторності. Докладно опис варіантів представлено у табл. 1, схему розміщення варіантів наведено на рис. 1.

Після агротехнічної обробки місця закладки

польового дослідів (потрійного фрезерування на глибину 15 см) та розбивки площі на елементарні ділянки здійснювали привнесення меліорантів у верхній 5-см шар торф'яно-болотного ґрунту згідно зі схемою дослідів з одночасним висівом насіння модельних рослин як у варіантах із контрзаходами, так і в контролі. Контрольні елементарні ділянки також фрезерувались. Потрійне фрезерування на глибину 15 см привело до пере-

розподілу частини активності ^{137}Cs із дернини в більш глибокі шари ґрунту.

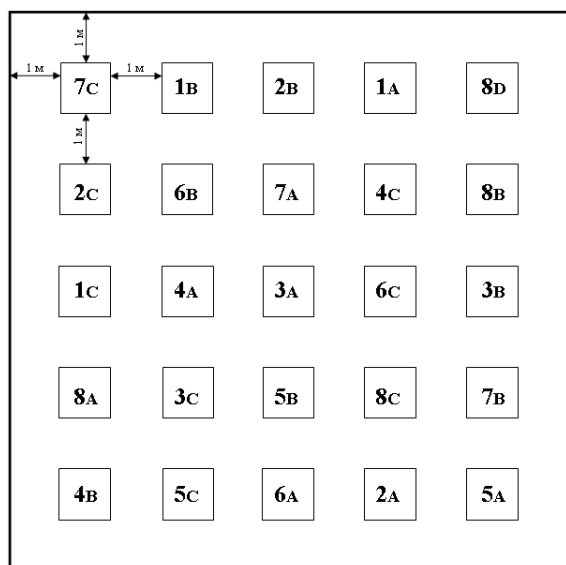


Рис. 1. Схема розміщення варіантів у польовому досліді.

В якості контрзаходів, для зменшення кореневого надходження радіоізоотопів цезію в рослинність, розглядалось внесення в торф'яно-болотний ґрунт крейди, фероцину, фероцин-бентонітового сорбенту, піску та золи торфу (див. табл. 1). Фероцин-бентонітовий сорбент (ФБС) утворюється у великих кількостях у вигляді осаду при деметалізації (видаленні надлишкових іонів заліза, цинку, міді та інших металів) та освітленні виноматеріалів. Фероціаніди перехідних металів захоплюються частками бентоніту і разом із суспензованими речовинами випадають в осад. Після відстоювання і загущення осад сушать і використовують в якості сорбенту. Торгова марка такого сорбенту ХЖ-90. У сухому ХЖ-90 основними компонентами є бентоніт і фероціаніди перехідних металів, в основному заліза (III), при цьому вміст Fe (II) 2,9 - 4,5 %, Fe (III) 3,9 - 7,6 %, К 2,4 - 4,2 %. У сорбенті ХЖ-90 вміст фероціаніду заліза 1,5 - 5,0 мас. %. Радіологічна ефективність ФБС по зниженню переходу радіоцезію із ґрунту в рослини набагато перевищує бентоніт і природний цеоліт (кліноптилоліт), досягаючи 40 разів при дозі внесення 10 т/га [14].

В якості модельних рослин використано розповсюджені на даній території ситник гострий (*Juncus acutus* (L)) та місцеве лугове різнотрав'я (насіння яких було зібрано восени 2012 р. на цьому полі).

За три роки спостережень за польовим дослідом, додаткового привнесення меліорантів, поливу чи підживлення рослин не проводили, веге-

тація модельних рослин в експерименті відбувалася в реальних ґрунтово-кліматичних умовах.

Загальна тривалість досліді становила 30 місяців, зріз фітомаси рослин проводили двічі на рік – на початку весняно-літнього періоду в період активного росту, а також восени, після закінчення фази активної вегетації.

Перший збір рослин відбувся через три місяці після закладки експерименту, всього за період спостережень було проведено 5 пробовідборів зразків рослинності.

Фітомасу рослин із всієї площі кожної елементарної ділянки (1 м²) зрізували на висоті 2-3 см від поверхні ґрунту та запаковували у паперові пакети. У лабораторних умовах рослини подрібнювали ножицями та сушили в сушильній шафі при температурі 105 ± 1 °С протягом доби. Після ретельної гомогенізації для вимірювань активності ^{137}Cs відбиралась проба необхідного об'єму.

Питому активність ^{137}Cs у рослинних пробах визначали у трьох повторностях на гамма-спектрометрі з напівпровідниковим детектором із високочистого германію GEM-30185 та багатоканальним аналізатором ADCAM-300 ("EG&G ORTEC", USA) у посудинах Марінеллі об'ємом 1000 см³ або посудинах «Дента» об'ємом 130 см³ залежно від об'єму проби. Відносна похибка вимірювання активності ^{137}Cs у зразках не перевищувала 30 %.

Для співставлення отриманих результатів розраховували коефіцієнт накопичення (КН) ^{137}Cs з ґрунту у фітомасу рослин, який визначали як відношення питомої активності радіонукліда в рослинах ($A_{\text{рослин}}$, Бк/кг) до питомої активності 20-см шару ґрунту ($A_{\text{ґрунту}}$, Бк/кг) у перерахунку на суху масу [15]:

$$KH = A_{\text{рослин}} / A_{\text{ґрунту}} \quad (1)$$

При цьому слід відзначити, що внесення піску в нормі 200 і 175 т/га приводило за рахунок розбавлення до зменшення питомої активності ^{137}Cs у 20-см шарі ґрунту ($A_{\text{ґрунту}}$, Бк/кг) в 1,55 і 1,48 раза відповідно, а внесення золи найбільш забрудненого верхнього 5-см шару торфу збільшувало питому активність 20-см шару ґрунту в 1,25 раза.

Показник радіологічної ефективності апробованих контрзаходів (кратність зниження біологічної доступності ^{137}Cs відносно контролю) розраховували як відношення КН_{контроль} ^{137}Cs рослинами у контролі до КН_{контрзахід} ^{137}Cs рослинами у випадку використання контрзаходу:

$$\text{Радіологічна ефективність} = KH_{\text{контроль}} / KH_{\text{контрзахід}} \quad (2)$$

Результати та їхнє обговорення

Результати зміни динаміки питомої активності ^{137}Cs в рослинах на контрольних ділянках та після застосування контрзаходів (відповідно до табл. 2 - 3) наведено на рис. 2. Мінімальні рівні забруднення ^{137}Cs рослинності спостерігались на

ділянках з контрзаходами після першого укусу в 2013 р. Максимальні рівні питомої активності ^{137}Cs у фітомасі лугового різнотрав'я були зафіксовані в найбільш інтенсивний весняний період вегетації за умов підтоплення дослідних ділянок – рівень води досягав 5 - 7 см (укіс 28 травня 2015 р.) (рис. 2, *a*).

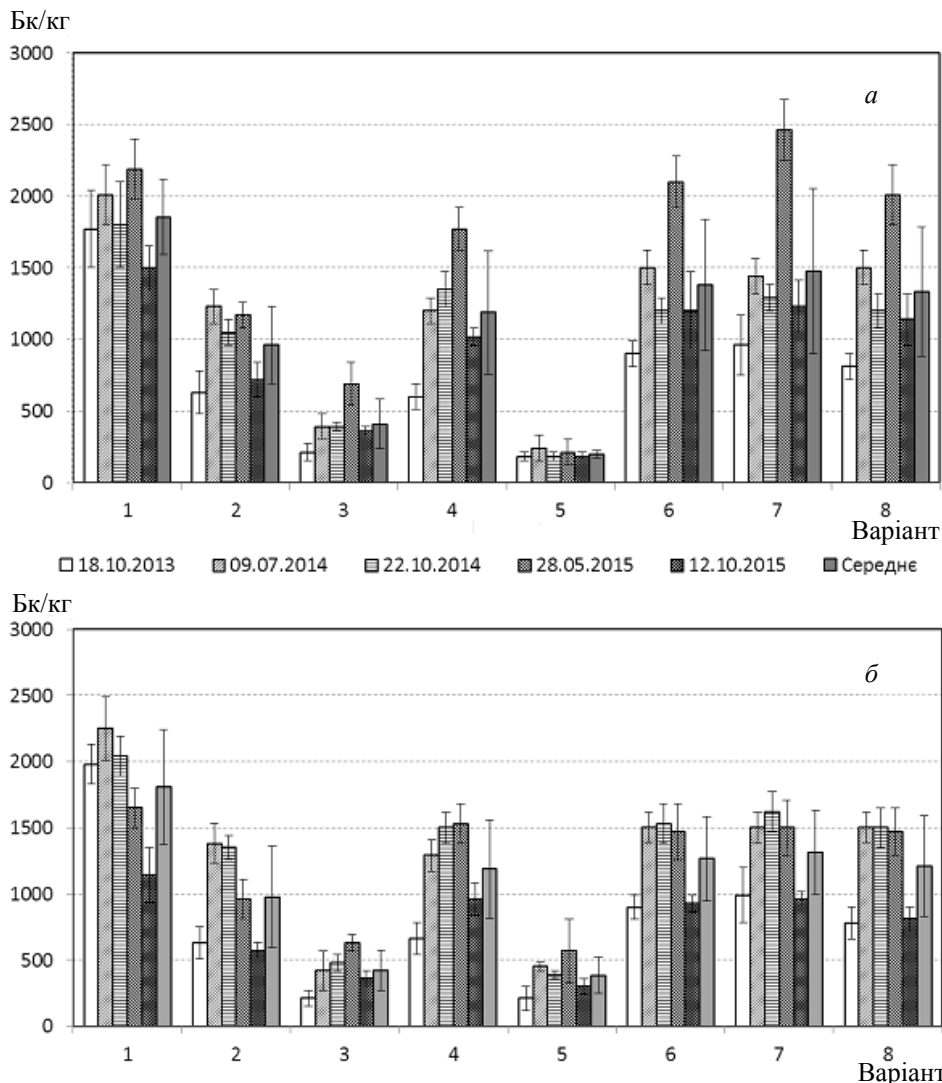


Рис. 2. Середня питома активність ^{137}Cs фітомасі лугового різнотрав'я (*a*) та ситника гострого (*b*) у різні моменти часу на дослідних ділянках: 1 - контроль, 2 - крейда, 4 т/га; 3 - крейда + фероцин, 4 + 0,2 т/га; 4 - фероцин, 0,2 т/га; 5 - ФБС, 30 т/га; 6 - піскування (лісовий пісок), 200 т/га; 7 - піскування (місцевий пісок з під шару торфу), 175 т/га; 8 - зола торфу, 5 т/га.

У табл. 2 і 3 представлено результати визначення КН ^{137}Cs рослинами в польовому досліді при застосуванні різних контрзаходів, а також їхня радіологічна ефективність. Аналіз даних таблиць показує, що максимальна кратність зниження вмісту ^{137}Cs у фітомасі рослин унаслідок застосування контрзаходів проявляється в перший рік внесення меліорантів. Найвищу радіологічну ефективність мають такі контрзаходи, як застосування суміші крейди з фероцином та ФБС, при застосуванні яких середня кратність зменшення накопичення ^{137}Cs рослинами стано-

вить $4,4 \pm 2,0$ та $7,0 \pm 2,0$ рази відповідно.

Досить високу радіологічну ефективність мають такі меліоранти, як крейда та зола торфу, застосування яких приводить до зменшення накопичення ^{137}Cs рослинами до 2 разів, що добре узгоджується з раніше отриманими даними [7 - 10].

На пізній фазі ліквідації Чорнобильської аварії усереднена радіологічна ефективність піскування (175 - 200 т/га) та внесення фероцину (0,2 т/га) достовірно не відрізнялась від одиниці і становила 0,8 - 1,6 раза.

Таблиця 2. КН ^{137}Cs та радіологічна ефективність контрзаходів по зменшенню доступності ^{137}Cs на торф'яно-болотному ґрунті для фітомаси лугового різно трав'я у різні моменти часу після закладки польового досліду (середнє \pm STD, n = 3)

Варіант	Час відбору											
	1-й пробовідбір 18.10.2013		2-й пробовідбір 09.07.2014		3-й пробовідбір 22.10.2014		4-й пробовідбір 28.05.2015		5-й пробовідбір 12.10.2015		За весь період	
	КН ^{137}Cs	Радіологічна ефективність	КН ^{137}Cs	Радіологічна ефективність	КН ^{137}Cs	Радіологічна ефективність	КН ^{137}Cs	Радіологічна ефективність	КН ^{137}Cs	Радіологічна ефективність	КН ^{137}Cs	Радіологічна ефективність
Контроль	$5,9 \pm 0,9$	-	$6,7 \pm 0,7$	-	$6,0 \pm 1,0$	-	$7,3 \pm 0,7$	-	$5,0 \pm 0,5$	-	$6,2 \pm 0,9$	-
Крейда	$2,1 \pm 0,5$	$2,8 \pm 0,8$	$4,1 \pm 0,4$	$1,6 \pm 0,2$	$3,5 \pm 0,1$	$1,7 \pm 0,3$	$3,9 \pm 0,3$	$1,9 \pm 0,2$	$2,4 \pm 0,4$	$2,1 \pm 0,4$	$3,2 \pm 0,9$	$1,9 \pm 0,6$
Крейда + фероцин	$0,7 \pm 0,2$	$8,4 \pm 2,7$	$1,3 \pm 0,3$	$5,2 \pm 1,3$	$1,3 \pm 0,1$	$4,6 \pm 0,8$	$2,3 \pm 0,5$	$3,2 \pm 0,8$	$1,2 \pm 0,1$	$4,2 \pm 0,5$	$1,4 \pm 0,6$	$4,6 \pm 2,1$
Фероцин	$2,0 \pm 0,3$	$3,0 \pm 0,6$	$4,0 \pm 0,3$	$1,7 \pm 0,2$	$4,5 \pm 0,1$	$1,3 \pm 0,3$	$5,9 \pm 0,5$	$1,2 \pm 0,2$	$3,4 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,2$	$4,0 \pm 1,4$	$1,6 \pm 0,6$
ФБС	$0,6 \pm 0,1$	$9,8 \pm 2,2$	$0,8 \pm 0,3$	$8,4 \pm 3,3$	$0,6 \pm 0,1$	$10,0 \pm 2,4$	$0,7 \pm 0,3$	$10,4 \pm 4,6$	$0,6 \pm 0,1$	$8,3 \pm 1,6$	$0,7 \pm 0,1$	$9,4 \pm 1,9$
Пісування (лісовий пісок)	$4,5 \pm 0,5$	$1,3 \pm 0,3$	$7,5 \pm 0,6$	$0,9 \pm 0,1$	$6,0 \pm 0,5$	$1,0 \pm 0,2$	$10,5 \pm 0,9$	$0,7 \pm 0,1$	$6,0 \pm 1,4$	$0,8 \pm 0,2$	$6,9 \pm 2,3$	$0,9 \pm 0,3$
Пісування (місцевий пісок з-під шару торфу)	$4,8 \pm 1,1$	$1,2 \pm 0,5$	$7,2 \pm 0,6$	$0,9 \pm 0,2$	$6,5 \pm 0,5$	$0,9 \pm 0,3$	$12,3 \pm 1,1$	$0,6 \pm 0,1$	$6,2 \pm 0,9$	$0,8 \pm 0,1$	$7,4 \pm 2,9$	$0,8 \pm 0,4$
Зола торфу	$2,2 \pm 0,2$	$2,7 \pm 0,5$	$4,0 \pm 0,3$	$1,7 \pm 0,2$	$3,2 \pm 0,3$	$1,9 \pm 0,4$	$5,4 \pm 0,6$	$1,4 \pm 0,2$	$3,0 \pm 0,5$	$1,6 \pm 0,3$	$3,6 \pm 1,2$	$1,7 \pm 0,6$

Таблиця 3. КН ^{137}Cs та радіологічна ефективність конгрзаходів по зменшенню доступності ^{137}Cs на торф'яно-болотному ґрунті для фітомаси ситника гострого у різні моменти часу після закладки польового досліді (середнє \pm STD, n = 3)

Варіант	Час відбору											
	1-й пробовідбір 18.10.2013		2-й пробовідбір 09.07.2014		3-й пробовідбір 22.10.2014		4-й пробовідбір 28.05.2015		5-й пробовідбір 12.10.2015		За весь період	
	КН ^{137}Cs	Радіологічна ефективність	КН ^{137}Cs	Радіологічна ефективність	КН ^{137}Cs	Радіологічна ефективність	КН ^{137}Cs	Радіологічна ефективність	КН ^{137}Cs	Радіологічна ефективність	КН ^{137}Cs	Радіологічна ефективність
Контроль	6,6 ± 0,5	-	7,5 ± 0,8	-	6,8 ± 0,5	-	5,5 ± 0,5	-	3,8 ± 0,7	-	6,0 ± 1,4	-
Крейда	2,1 ± 0,4	3,1 ± 0,6	4,6 ± 0,5	1,6 ± 0,2	4,5 ± 0,3	1,5 ± 0,1	3,2 ± 0,5	1,7 ± 0,3	1,9 ± 0,2	2,0 ± 0,4	3,3 ± 1,3	1,8 ± 0,8
Крейда + фероцин	0,7 ± 0,2	9,4 ± 2,8	1,4 ± 0,5	5,4 ± 2,0	1,6 ± 0,2	4,3 ± 0,6	2,1 ± 0,2	2,6 ± 0,3	1,2 ± 0,2	3,2 ± 0,8	1,4 ± 1,5	4,3 ± 1,9
Фероцин	2,2 ± 0,4	3,0 ± 0,6	4,3 ± 0,1	1,7 ± 0,2	5,0 ± 0,4	1,4 ± 0,1	5,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	3,2 ± 0,4	1,2 ± 0,3	4,0 ± 1,2	1,5 ± 0,6
ФБС	0,7 ± 0,3	9,4 ± 4,1	1,5 ± 0,1	5,0 ± 0,6	1,3 ± 0,1	5,2 ± 0,6	1,9 ± 0,8	2,9 ± 1,2	1,0 ± 0,2	3,8 ± 1,0	1,3 ± 0,5	4,7 ± 2,0
Піскування (лісовий пісок)	4,5 ± 0,5	1,5 ± 0,2	7,5 ± 0,6	1,0 ± 0,1	7,7 ± 0,8	0,9 ± 0,1	7,4 ± 1,1	0,7 ± 0,1	4,7 ± 0,3	0,8 ± 0,2	6,3 ± 1,6	0,9 ± 0,3
Піскування (місцевий пісок з-під шару торфу)	5,0 ± 1,1	1,3 ± 0,3	7,5 ± 0,6	1,0 ± 0,1	8,1 ± 0,8	0,8 ± 0,1	7,5 ± 1,1	0,7 ± 0,1	4,8 ± 0,3	0,8 ± 0,2	6,6 ± 1,6	0,9 ± 0,3
Зола торфу	2,1 ± 0,3	3,2 ± 0,5	4,0 ± 0,3	1,9 ± 0,3	4,0 ± 0,4	1,7 ± 0,2	3,9 ± 0,5	1,4 ± 0,2	2,2 ± 0,2	1,8 ± 0,4	3,2 ± 1,0	1,9 ± 0,7

З часом відзначається зниження радіологічної ефективності всіх апробованих контрзаходів. Так, на другий рік після внесення меліорантів (2-й та 3-й пробовідбори), показник радіологічної ефективності зменшується майже вдвічі, для подальших пробовідборів даний спад є менш вираженим.

Необхідно підкреслити, що 4-й пробовідбір фітомаси відбувався за умов підтоплення дослідних ділянок – рівень води досягав 5 - 7 см. Проте, навіть за таких умов, кратність зменшення накопичення ^{137}Cs фітомасою рослин для деяких варіантів досягала трьох і більше разів.

Аналіз отриманих результатів (див. табл. 2 і 3) дає змогу виявити відмінності щодо впливу застосованих контрзаходів на різні види трав'янистих рослин у досліді. Так, застосування в якості меліоранта ФБС у випадку із ситником гострим мало середню радіологічну ефективність $4,7 \pm 2,0$ рази, у той же час як для лугового різотрав'я радіологічна ефективність достовірно була вдвічі більшою ($9,4 \pm 1,9$ рази і залишалась незмінною протягом експерименту).

Отримана в модельних лабораторних експериментах у вегетаційних посудинах радіологічна ефективність піскування (при дозі 200 - 400 т/га – 3 - 4,5 рази) та внесення деревної золи (при дозі 1,5 - 3 т/га – 9 - 22 рази) [11], а також внесення ФБС ХЖ-90 (при дозі 100 т/га – 560 ± 180 разів) [10] виявилась значно вище в порівнянні з результатами натурних польових експериментів (див. табл. 2 і 3). Проте слід відзначити, що для однакового торф'яно-болотного ґрунту радіологічна ефективність піскування (200 т/га) і внесення фероцину (0,2 т/га), отримана в рамках модельних лабораторних експериментів у вегетаційних посудинах [10] та в натурних польових експериментах в природних умовах, достовірно не відрізнялись (див. табл. 2 і 3).

На основі отриманих результатів, за рахунок міцної фіксації радіоізоотопів цезію на фероціанідному сорбенті, можна очікувати більш тривалого часу післядії запропонованих контрзаходів у порівнянні з традиційними, такими як, наприклад, внесення мінеральних добрив, час ефективної дії яких при одноразовому внесенні становить близько 1-2 роки.

Результати проведених досліджень показують, що з усіх запропонованих контрзаходів найперспективнішими, у радіологічному відношенні, є застосування ФБС та суміші «крейда - фероцин». ФБС є відходами винного виробництва і мають невисоку вартість. У випадку їхнього застосування в дозі 30 т/га основними будуть транспортні витрати, які можуть суттєво збільшити вартість відвернутої дози опромінення на-

селення через значні відстані між винними заводами на півдні України і північною частиною Рівненської області. Вартість фероцину близько 10 євро за 1 кг. При внесенні суміші «крейда - фероцин» ($4 + 0,2$ т/га) вартість фероцину становитиме 2000 євро/га, без урахування вартості крейди і значних транспортних витрат по доставці і внесенню. З економічної точки зору при виробництві сільськогосподарської продукції вапнування є недоцільним у випадку доставки меліоранту на відстань більше 300 км.

Для випасу і заготовки кормів на одну голову великої рогатої худоби (ВРХ) протягом року необхідна площа кормових угідь 1-2 га. Застосування фероцину в якості добавки безпосередньо в корм ВРХ у дозі 3 - 5 г на добу (1 кг/рік вартість близько 10 євро) дозволяє зменшити вміст радіоізоотопів цезію в молоці та м'ясі у 3 - 5 разів [7 - 9, 16, 17], що практично дорівнює радіологічній ефективності застосування ФБС та суміші «крейда - фероцин».

Внесення золи торфу після дезактивації торф'яників (зняття 5-см верхнього шару, який містить до цього часу більше 70 % активності ^{137}Cs) також може розглядатися як ефективний контрзахід. Це дає змогу зменшити радіоактивне забруднення ділянок, що використовуються під овочеві культури після дезактивації, зменшити об'єми низькоактивних відходів дезактивації за рахунок спалювання знятої дернини з верхнім 5-см шаром торфу та використовувати отриману золу для зменшення забруднення рослинності на кормових угіддях.

Проведення докорінного поліпшення луків (оранка, вапнування, внесення мінеральних добрив та висів багаторічних трав) разом із комплексом гідромеліоративних робіт мають високу вартість і радіологічну ефективність на торф'яниках [7 - 9], але в даний час їх важко виконати через відсутність необхідних вільних площ і можливого руйнування унікальної екосистеми боліт півночі Рівненської області.

Висновки

В умовах дрібноділянкового польового дослідження отримано нові експериментальні дані щодо радіологічної ефективності контрзаходів, які направлені на зниження біологічної доступності ^{137}Cs для трав'янистої рослинності на торф'яно-болотних ґрунтах Полісся України.

На пізній фазі ліквідації Чорнобильської аварії усереднена радіологічна ефективність піскування (175 - 200 т/га) та внесення фероцину (0,2 т/га) достовірно не відрізнялись від одиниці і становила 0,8 - 1,6 рази. Внесення 4 т/га крейди та золи

торффу (5 т/га) зменшувало вміст ^{137}Cs в рослинності у 1,7 - 1,9 раза. Найбільша радіологічна ефективність була досягнута після застосування суміші «крейда - фероцин» (4 + 0,2 т/га) – $4,4 \pm 2,0$ рази та ФБС ХЖ-90 (30 т/га) – 7 ± 2 рази.

Враховуючи радіологічну ефективність і вартість застосування контрзаходів, можна зробити висновок, що в даний час у зоні поширення торф'яно-болотних ґрунтів на території Рівнен-

ської області безпосереднє застосування фероцину в якості добавки в корм ВРХ залишається найбільш дешевим засобом отримання тваринницької продукції, що відповідає гігієнічним нормативам ДР-2006 [1], а також зниження ефективних доз опромінення населення України від чорнобильських радіонуклідів нижче допустимого рівня в 1 мЗв/рік.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *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)
2. *Ліхтарьов І.А., Ковган Л.М., Василенко В.В. та ін.* Загальнодозиметрична паспортизація та результати ЛВЛ моніторингу у населених пунктах, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської катастрофи. Дані за 2012 р. (Збірка 15). - К., 2013. - 33 с.
3. *Кашпаров В.О., Поліщук С.В., Отрешко Л.М.* Радіологічні проблеми ведення сільськогосподарського виробництва на забрудненій в результаті Чорнобильської катастрофи території України // Чорнобильський наук. вісн. Бюл. екол. стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. - К.: Чорнобильінтерінформ, 2011. - № 2 (38) - С. 13 - 30.
4. *Хоменко І.М., Поліщук С.В.* Оцінка впливу споживання продуктів харчування місцевого виробництва на формування дози внутрішнього опромінення у віддаленій період після Чорнобильської катастрофи // Довкілля та здоров'я. - 2014. - № 2. - С. 57 - 61.
5. URL: <http://www.uia.org.ua/Ukr/index.htm>
6. *Малоштан І.М., Поліщук С.В., Хомутинін Ю.В., Кашпаров В.О.* Динаміка коефіцієнтів накопичення ^{137}Cs трав'янистими рослинами на торф'яно-болотних ґрунтах з аномально високою біологічною доступністю // Ядерна фізика та енергетика. - 2015. - Т. 16, № 3. - С. 263 - 272.
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. *Fesenko S. V., Alexakhin R. M., Balonov M. I. et al.* Twenty years' application of agricultural countermeasures following the Chernobyl accident: lessons learned // J. of Radiological Protections. - 2006. - Vol. 26. - P. 351 - 359.
9. *Ведення сільського господарства в умовах радіоактивного забруднення території України внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС на період 1999 - 2002 рр.: Метод. рекомендації.* УкрНДІСГР - К., 1998. - 104 с.
10. *Малоштан І.М., Поліщук С.В.* Радіологічна ефективність застосування нетрадиційних контрзаходів на торф'яно-болотних ґрунтах // Ядерна фізика та енергетика. - 2015. - Т. 16, № 4. - С. 381 - 388.
11. *Косарчук О.В., Лазарев М.М., Поліщук С.В.* Вплив піскування торфових ґрунтів на зменшення надходження ^{137}Cs в рослини // Ядерна фізика та енергетика. - 2015. - Т. 16, № 2. - С. 193 - 197.
12. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / 5-е изд., доп. и перераб. - М.: Агропромиздат, 1985. - 351 с.
13. *Справочник по минеральным удобрениям.* Теория и практика применения. - М.: Сельхозгиз, 1960. - 550 с.
14. *Бударков В.А., Гелис В.М., Калинин Н.Ф. и др.* Патент № 2013913. Способ снижения перехода радионуклидов цезия из почвы в растения, 1994. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/201/2013913.html>
15. *Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and fresh-water environments.* - Vienna: IAEA-TRS-472, 2010. - 194 p.
16. *The use of prussian blue to reduce radiocaesium contamination of milk and meat produced on territories affected by the Chernobyl accident: Report of United Nations Project E 11.* IAEA-TECDOC-926. - Vienna, 1997. - 76 p.
17. *Jacob P., Fesenko S., Bogdevitch I. et al.* Rural areas affected by the Chernobyl accident: Radiation exposure and remediation strategies // Science of the Total Environment. - 2009. - Vol. 408, Iss. 1. - P. 14 - 25.

І. М. Малоштан, С. В. Поліщук, В. О. Кашпаров

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

ОЦЕНКА РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРМЕР НА ТОРФЯНО-БОЛОТНЫХ ГРУНТАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ

На протяжении 3 лет (2013 - 2015) в условиях мелкоделяночного полевого опыта получены значения коэффициентов накопления ^{137}Cs (контроль ($6,1 \pm 0,8$) после разового применения агрохимических контрмер на торфяно-болотных почвах Рокитновского района Ровенской области, характеризующихся аномально высокой биологической доступностью радионуклидов цезия. На поздней фазе ликвидации Чернобыльской аварии усред-

ненная радиологическая эффективность пескования (175 - 200 т/га), внесение ферроцина (0,2 т/га) достоверно не отличалась от единицы и составила 0,8 - 1,6 раза. Известкование (мел 4 т/га) и внесение золы торфа (5 т/га) уменьшало содержание ^{137}Cs в растительности в 1,7 - 1,9 раза. Наибольшая радиологическая эффективность была достигнута после применения смеси «мел - ферроцин» (4 + 0,2 т/га) – $4,4 \pm 2,0$ раза и ферроцин-бентонитового сорбента (30 т/га) – $7,0 \pm 2,0$ раза.

Ключевые слова: ^{137}Cs , контрмеры, радиологическая эффективность, торфяно-болотная почва, Чернобыльская авария.

I. M. Maloshtan, S. V. Polishchuk, V. A. Kashparov

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

ASSESSMENT OF RADIOLOGICAL EFFECTIVENESS OF COUNTERMEASURES ON PEAT-BOG SOILS OF NORTHWEST POLISSYA OF UKRAINE

During the period of 3 years (2013 - 2015) in terms of finely-making spot field experiments coefficients of accumulation of ^{137}Cs (control $6,1 \pm 0,8$) after a single application of agrochemical countermeasures on peat-bog soils in Rokytne district, Rivne region, characterized by abnormally high bioavailability of cesium radioisotopes were obtained. In the late phase of the elimination of the Chernobyl accident, radiological averaged efficiency sandring (175 - 200 t/ha), introduction of ferrocyn (0,2 t/ha) did not differ significantly from unity and amounted to 0,8 - 1,6 times. Liming (chalk 4 t/ha) and the introduction of peat ash (5 t/ha) reduced the ^{137}Cs content in vegetation in 1,7 - 1,9 times. Highest radiological efficiency was achieved after applying mixture of chalk-ferrocyn (4 + 0,2 t/ha) - $4,4 \pm 2,0$ times and ferrocyn-bentonite sorbent (30 t/ha) – $7,0 \pm 2,0$ times.

Keywords: ^{137}Cs , countermeasures, radiological effectiveness, peat-bog soils, Chernobyl accident.

REFERENCES

1. *Public* hygiene standards “Permissible levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr in food products and drinking water”, ГН 6.6.1.1-130-2006. URL: (http://search.ligazakon.ua/1_doc2.nsf/link1/RE12719.html) (Ukr)
2. *Liharov I.A., Kovgan L.M., Vasilenko V. et al.* General dosimetry certification and results of LVL monitoring in the settlements contaminated after the Chernobyl disaster. Data for 2012 (Collection 15). - Kyiv, 2013. - 33 p. (Ukr)
3. *Kashparov V.O., Polishchuk S.V., Otrushko L.M.* // Chornobyl's'kyi naukovi visnyk. Byuleten' ekologichnogo stanu zony vidchuzhennya ta zony bezumovno (obov'yazkovogo) vidseleennya. - Kyiv: Chornobyl'interinform, 2011. - No. 2 (38) - P. 13 - 30. (Ukr)
4. *Khomenko I.M., Polishchuk S.V.* // Dovkillya ta zdorov'ya. - 2014. - No. 2. - P. 57 - 61. (Ukr)
5. URL: <http://www.uia.org.ua/Ukr/index.htm>
6. *Maloshtan I.M., Polishchuk S.V., Khomutinin Yu.V., Kashparov V.O.* // Yaderna fizyka ta energetyka (Nucl. Phys. At. Energy). - 2015. - Vol. 16, No. 3. - P. 263 - 272. (Ukr)
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. *Fesenko S. V., Alexakhin R. M., Balonov M. I. et al.* Twenty years' application of agricultural countermeasures following the Chernobyl accident: lessons learned // J. of Radiological Protections. - 2006. - Vol. 26. - P. 351 - 359.
9. *Agricultural* practices in conditions of radioactive contamination in Ukraine because of the Chernobyl accident for the period 1999 - 2002: guidelines of UIAR - Kyiv, 1998. - 104 p. (Ukr)
10. *Maloshtan I.M., Polishchuk S.V.* // Yaderna fizyka ta energetyka (Nucl. Phys. At. Energy). - 2015. - Vol.16, No. 4. - P. 381 - 388. (Ukr)
11. *Kosarchuk O.V., Lazaryev M.M., Polishchuk S.V.* // Ibid. - 2015. - Vol. 16, No. 2. - P. 193 - 197. (Ukr)
12. *Dospekhov B.A.* Methods of field experience (with the fundamentals of statistical processing of the research results / 5th ed., ext. and rev. - Moskva: Agropromizdat, 1985. - 351 p. (Rus)
13. *Handbook* of mineral fertilizers. Theory and application practice. - Moskva: Sel'khozgiz, 1960. - 550 p. (Rus)
14. *Budarkov V.A., V.M. Gelis, Kalinin N.F. et al.* Patent number 2013913. A method for transfer reducing of cesium radionuclides from soil to plant 1994. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/201/2013913.html> (Rus)
15. *Handbook* of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and fresh-water environments. - Vienna: IAEA-TRS-472, 2010. - 194 p.
16. *The use* of prussian blue to reduce radiocaesium contamination of milk and meat produced on territories affected by the Chernobyl accident: Report of United Nations Project E 11. IAEA-TECDOC-926. - Vienna, 1997. - 76 p.
17. *Jacob P., Fesenko S., Bogdevitch I. et al.* Rural areas affected by the Chernobyl accident: Radiation exposure and remediation strategies // Science of the Total Environment. - 2009. - Vol. 408, Iss. 1. - P. 14 - 25.

Надійшла 21.03.2016
Received 21.03.2016