

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**КОСАРЧУК ОЛЬГА ВІКТОРІВНА**

УДК 504.054:631.5:621.039

**РАДІОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ АГРОХІМІЧНИХ КОНТРЗАХОДІВ  
В УМОВАХ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ НА ПІЗНІЙ ФАЗІ  
РАДІАЦІЙНИХ АВАРІЙ**

03.00.01 «Радіобіологія»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата біологічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник** кандидат біологічних наук, доцент  
**Лазарєв Микола Михайлович**,  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України,  
доцент кафедри радіобіології та радіоекології

**Офіційні опоненти:** доктор біологічних наук,  
старший науковий співробітник  
**Рашидов Намік Мамед огли**,  
Інститут клітинної біології та генетичної інженерії  
Національної академії наук України,  
завідувач лабораторії біофізики сигнальних систем

доктор сільськогосподарських наук, професор  
**Романчук Людмила Донатівна**,  
Житомирський національний  
агроекологічний університет,  
проректор з наукової роботи  
та інноваційного розвитку

Захист відбудеться «12» липня 2017 року о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.19 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розіслано «10» червня 2017 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В. С. Морозова

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Територія Українського Полісся, а саме північні райони Волинської, Житомирської та Рівненської областей, після аварії на Чорнобильській АЕС за рядом об'єктивних і суб'єктивних причин залишаються регіонами, в яких зберігається радіологічно напружена ситуація з ризиком перевищення допустимого вмісту радіоактивного цезію в сільсько-господарській продукції.

На цій території сільське господарство було основним сектором регіональної економіки, а природні ландшафти – луки, пасовища і ліс – були основним місцем для виробництва харчової продукції. Ефективна доза опромінення населення тут формувалася в основному за рахунок споживання забруднених радіонуклідами продуктів харчування місцевого виробництва. На даний час в особистих приватних господарствах зазначених регіонів виробляється близько 60 % м'яса і 75 % молока від загального обсягу його виробництва, споживання яких зумовлює формування до 90 % дози внутрішнього опромінення населення. Ця продукція використовується самим виробником і надходить на споживчий ринок України, що може призвести до опромінення населення в дозі понад 1,0 мЗв (0,1 бер) за рік і потребує застосування заходів щодо радіаційного захисту населення та інших спеціальних втручань, спрямованих на обмеження додаткового опромінення населення, зумовленого Чорнобильською катастрофою, та забезпечення його нормальної господарської діяльності відповідно до Закону України.

Наприкінці 1990-х років на радіоактивно забруднених територіях було ліквідовано колгоспи і радгоспи, відбулося розпаювання сільськогосподарських угідь. При розпаюванні земель у той період населенню для випасів та сінокосів було виділено угіддя, розміщені у критичних, з точки зору надходження радіонуклідів у харчову продукцію, ландшафтах. При цьому велика частка виділених селянам сінокосів і пасовищ знаходяться на гігроморфних органогенних і дерново-підзолистих піщаних і супіщаних ґрунтах, розміщених, частіше за все, у перезволожених низинах та заплавах річок із високим рівнем ґрунтових вод, де коефіцієнти переходу ( $K_{п}$ )  $^{137}\text{Cs}$  з ґрунту у рослинність є досить високими, а корми, що використовуються для відгодівлі худоби, характеризуються підвищеним рівнем радіонуклідного забруднення. Унаслідок цього у 10–30 населених пунктах ще й досі виробляється молочна та м'ясна продукція, вміст радіонуклідів в якій значно перевищує встановлені державні нормативи (Житомирська та Рівненська області).

В останні 15–20 років у зв'язку з багаторазовим зменшенням фінансування на проведення заходів, спрямованих на зниження біологічної доступності радіонуклідів із ґрунту в рослини, залишається актуальною проблема радіонуклідного забруднення сільськогосподарської продукції. З початку 2000 р. обсяги проведення контрзаходів у сільськогосподарському виробництві України зменшилися настільки, що практично не впливають на покращання радіологічного стану.

Усе це обумовлює актуальність вивчення проблеми щодо зниження накопичення радіонуклідів у сільськогосподарській продукції та застосування нових заходів для запобігання надходженню  $^{137}\text{Cs}$  у рослини та продукти харчування в умовах Українського Полісся на пізній фазі Чорнобильської та інших радіаційних аварій.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано здобувачем відповідно до програми експериментальних досліджень, спланованих, проведених та узагальнених протягом 2006–2016 рр. Дисертаційну роботу виконано в рамках бюджетних тем Українського науково-дослідного інституту сільськогосподарської радіології (УкрНДІСГР) Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП України) «Вивчення ефективності довготривалого застосування контрзаходів на радіоактивно забруднених територіях у віддалений період після аварії на ЧАЕС» (номер державної реєстрації 0109U000779, 2006–2008 рр.); «Наукове обґрунтування та розробка прийомів ведення сільськогосподарського виробництва на техногенно забруднених територіях з метою їх екологічно-соціальної реабілітації» (номер державної реєстрації 0106U00706, 2009–2013 рр.); «Пошук нових видів контрзаходів для зменшення біологічної доступності радіоцезію» (номер державної реєстрації 0114U002529, 2014–2016 рр.).

**Мета та завдання дослідження.** Мета дослідження – визначити радіологічну ефективність застосування контрзаходів на радіоактивно забруднених територіях на пізній фазі аварії на Чорнобильській АЕС, спрямованих на зменшення вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у продукції рослинництва (кормових культурах).

Для досягнення мети було поставлено наступні завдання:

- оцінити радіологічну ефективність довготривалого застосування традиційних агрохімічних контрзаходів на пізній фазі радіаційних аварій в умовах багаторічних стаціонарних польових дослідів;
- оцінити радіологічну ефективність застосування місцевих меліорантів для зменшення вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у кормових культурах в умовах вегетаційного та польових дослідів на торфово-болотних ґрунтах;
- встановити динаміку радіологічної ефективності застосування контрзаходів;
- визначити оптимальні комбінації агрохімічних контрзаходів на різних типах ґрунтів при вирощуванні кормових культур.

*Об'єкт дослідження* – процеси й закономірності динаміки надходження радіонуклідів у продукцію рослинництва, вплив контрзаходів на ці процеси на різних типах ґрунтів в умовах радіоактивного забруднення на пізній фазі радіаційних аварій.

*Предмет дослідження* – питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у ґрунті та вегетаційній масі кормових культур, коефіцієнти накопичення та переходу даного радіонукліда з різних типів ґрунтів у досліджувані рослини.

**Методи дослідження:** польові (відбір зразків ґрунту та рослин проведення стаціонарних та вегетаційних дослідів); лабораторні (агрохімічні,

фізико-хімічні (визначення агрохімічних властивостей ґрунтів); гамма-спектрометричні (визначення вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у зразках ґрунту та рослинності); методи математичної статистики (аналіз та обробка результатів вимірювань).

**Наукова новизна одержаних результатів.** Для умов пізньої фази радіаційних аварій вперше визначено значення коефіцієнтів накопичення та переходу  $^{137}\text{Cs}$  в урожаї кормових культур на трьох типах ґрунтів при застосуванні різних контрзаходів та оцінено їхню радіологічну ефективність.

Вперше на пізній фазі аварії на Чорнобильській АЕС визначено показники радіологічної ефективності застосування агрохімічних контрзаходів для зниження надходження  $^{137}\text{Cs}$  в урожай кормових культур, зокрема вперше визначено радіологічну ефективність внесення у ґрунт меліорантів місцевого походження – деревної золи, золи торфу та піску на торфово-болотних ґрунтах в умовах вегетаційного та польового дослідів, використання яких є раціональним (не потребує додаткових витрат, пов'язаних із придбанням і транспортуванням відповідних меліорантів) для даної місцевості.

Сформульовано підходи до оптимізації застосування контрзаходів на радіоактивно забруднених територіях на пізній фазі радіаційних аварій.

За результатами проведених досліджень удосконалено підходи щодо застосування контрзаходів на радіоактивно забруднених територіях на пізній фазі радіаційних аварій.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані в роботі результати досліджень можуть бути використані при плануванні та проведенні контрзаходів на кормових угіддях зони Полісся, які забруднені внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС.

Застосування на практиці досліджених контрзаходів дозволить отримувати сільськогосподарську продукцію з вмістом  $^{137}\text{Cs}$  відповідно до вимог ДР–2006 та визначити найбільш ефективні й доцільні контрзаходи при їхньому застосуванні на пізній фазі радіаційних аварій для різних типів ґрунтів.

Результати дисертаційної роботи впроваджено на дослідній станції м. Сарни Рівненської області (акт про впровадження від 12 грудня 2013 р.).

Основні результати та висновки дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес при викладанні курсів «Радіоекологія та радіобіологія» у Житомирському національному агроекологічному університеті (акт про впровадження від 12 грудня 2013 р.); «Радіобіологія», «Радіобіологія та радіоекологія», «Сільськогосподарська радіобіологія та радіоекологія» в НУБіП України (акт про впровадження від 13 грудня 2016 р.).

Результати дисертаційної роботи також впроваджено в Інституті сільського господарства Полісся України (акт про впровадження від 30 листопада 2016 р.).

Результати, отримані у процесі виконання наукової роботи, увійшли до методичних вказівок «Методичні вказівки щодо ведення рослинництва на радіоактивно забруднених територіях у віддалений період після аварії на ЧАЕС» (2013 р.) та до рекомендацій «Рекомендації щодо застосування контрзаходів для зменшення біологічної доступності радіоактивного цезію на

радіоактивних забруднених територіях з поширенням торфово-болотних ґрунтів» (2016 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Усі дослідження проведено за безпосередньою участю здобувача. Особисто здобувачем здійснено огляд та аналіз джерел наукової літератури за темою дисертації, складання програми та вибір об'єктів досліджень, польові дослідження, основна частина лабораторних вимірювань, узагальнення та математична обробка результатів, їхня апробація, формулювання наукових висновків та написання роботи. Аналіз та обговорення результатів досліджень, підготовку до друку наукових публікацій, написання дисертації та автореферату здійснено здобувачем за участю наукового керівника.

**Апробація результатів дисертації.** Результати досліджень та основні положення дисертаційної роботи щорічно обговорювалися на засіданнях проблемної вченої ради УкрНДІСГР НУБіП України; четвертій Міжнародній науково-практичній конференції «Економічні проблеми виробництва та споживання екологічно чистої агропромислової продукції» (м. Суми, 2005 р.); Міжнародній конференції «Екологія: проблеми адаптивно-ландшафтного землеробства» (м. Житомир, 2005 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Досвід подолання наслідків Чорнобильської катастрофи в сільському та лісовому господарстві – 20 років після аварії на ЧАЕС» (м. Житомир, 2006 р.); Міжнародній конференції «Радиоэкология: итоги, современное состояние и перспективы» (м. Москва, Російська Федерація, 2008 р.); науково-практичній конференції з міжнародною участю «Актуальные вопросы радиационной гигиены» (м. Санкт-Петербург, Російська Федерація, 2010 р.); VI Съезде по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность) (м. Москва, Російська Федерація, 2010); Міжнародній конференції «Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього» (м. Київ, 2011 р.); Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених «Актуальні проблеми наук про життя та природокористування» (м. Київ, 2011 р.); XXII щорічній науковій конференції Інституту ядерних досліджень НАН України (м. Київ, 2015 р.).

**Публікації.** Основні результати дисертаційного дослідження викладено у 18 опублікованих працях, з яких 2 статті в наукових фахових виданнях України, 3 статті в наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, стаття в іншому науковому виданні України та 12 тез наукових доповідей.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, огляду наукової літератури, матеріалів і методів дослідження, результатів експериментальних досліджень, висновків, списку використаних джерел літератури, що налічує 145 найменувань, з яких 14 латиницею. Загальний обсяг дисертації становить 160 сторінок комп'ютерного тексту, роботу проілюстровано 38 рисунками, 35 таблицями та 6 додатками.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**Огляд наукової літератури.** У розділі проаналізовано наукові праці вітчизняних та зарубіжних науковців і подано сучасні погляди на проблему забруднення території Українського Полісся радіонуклідами. Розглянуто також характеристику параметрів кореневого надходження  $^{137}\text{Cs}$  в рослини на різних типах ґрунтів, ефективність застосування традиційних та місцевих контрзаходів зі зменшення вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у кормових культурах.

Акцентовано увагу на недостатньому висвітленні в сучасних наукових джерелах проблеми застосування контрзаходів в умовах Українського Полісся на пізній фазі радіаційних аварій та оцінці їхньої радіологічної ефективності; обґрунтовано необхідність проведення досліджень за темою дисертаційної роботи.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Роботу виконано на основі експериментальних даних, одержаних в умовах дрібноділянкових польових та лабораторних вегетаційних дослідів. Дослідні польові стаціонари було закладено на забруднених радіонуклідами, внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, сільськогосподарських угіддях Рівненської (Сарненська дослідна станція Інституту проблем меліорації), Житомирської (Народицький район, с. Ноздрище), Київської (Васильківський район, с. Саливінки) областей на трьох типах ґрунтів: торфово-болотному на низинних торфах, дерново-підзолистому піщанисто-легкосуглинному на алювіальних суглинках, чорноземі типовому легкосуглинному на лесовидних суглинках. Тривалість польових дослідів із застосуванням мінеральних добрив становила 5 років.

На чорноземі, дерново-підзолистому та торфово-болотному ґрунтах кожен варіант дослідів був закладений на ділянках розміром  $2,0 \times 1,5$  м у трьох повторностях. Площа елементарних облікових ділянок становила  $3,0 \text{ м}^2$ , загальна площа по варіантах –  $9,0 \text{ м}^2$ .

Веgetаційний дослід було закладено у контрольованих лабораторних умовах у вегетативних посудинах об'ємом  $5 \text{ дм}^3$ .

В якості модельних рослин у досліді використовувалися культури, що відносяться до основних сільськогосподарських і є типовими для зони Полісся і північного Лісостепу: горох, овес, люпин та травосумішка злакових трав, яка складалася з таких видів: гречиця збірна, костриця червона та райграс. Культури висівались у таких нормах: овес посівний (*Avena sativa* L., сорт «Нептун») –  $150 \text{ кг/га}$ , горох посівний (*Pisum sativum* L., сорт «Готівський») –  $250 \text{ кг/га}$ , люпин білий (*Lupinus albus* L., сорт «Володимир») –  $250 \text{ кг/га}$ , травосумішка –  $12 \text{ кг/га}$  гречиці збірної (*Dactylis glomerata* L.),  $6 \text{ кг/га}$  костриці червоної (*Festuca rubra* L.) та  $5 \text{ кг/га}$  райграсу високого (*Arrhenatherum elatius* L.); у вегетативному досліді норма висіву костриці червоної становила  $10 \text{ кг/га}$ .

Дози внесення мінеральних добрив та меліорантів, що використовувалися в якості контрзаходів, розраховували за діючою речовиною згідно зі схемами

дослідів та вносили під оранку безпосередньо перед посівом дослідних культур (табл. 1).

Таблиця 1

## Схема польових дослідів з внесенням мінеральних добрив

№ варіанту	Овес	Люпин	Горох	Багаторічні трави
Торфво-болотний ґрунт				
1	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>
2	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +K <sub>30</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> +K <sub>45</sub>
3	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> +P <sub>30</sub> K <sub>45</sub>
4	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>20</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>5</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>5</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> +N <sub>12</sub> K <sub>45</sub>
5	Контроль	Контроль	Контроль	Контроль
Дерново-підзолистий ґрунт				
1	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>
2	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +K <sub>30</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> +K <sub>45</sub>
3	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> +P <sub>30</sub> K <sub>45</sub>
4	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>20</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>5</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>5</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> +N <sub>12</sub> K <sub>45</sub>
5	Контроль	Контроль	Контроль	Контроль
Чорнозем				
1	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>
2	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +K <sub>30</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +K <sub>30</sub>
3	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>
4	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>10</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>5</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>5</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>12</sub> K <sub>30</sub>
5	Контроль	Контроль	Контроль	Контроль

Польовий дослід із меліорантами складався з 5 варіантів у трикратній повторності: пісок + вапно – 200 т/га + 4 т/га; вапно – 4 т/га; зола торфу – 2 т/га; пісок – 300 т/га.

Вегетаційний дослід складався з 9 варіантів у трикратній повторності: піскування з розрахунку 200 т/га, 300 т/га, 400 т/га, внесення деревної золи листяних порід – 1,5 т/га, 2,25 т/га, 3 т/га, внесення комбінації «пісок + зола»: 200 т/га + 1,5 т/га, 300 т/га + 2,25 т/га, 400 т/га + 3 т/га.

Контролем у всіх перелічених дослідах був варіант вирощування зазначених модельних рослин без додавання досліджуваних меліорантів та добрив.

Відбір зразків ґрунту для визначення агрохімічних показників та вмісту <sup>137</sup>Cs здійснювали з кожної ділянки. Зразки ґрунту відбирали циліндричним пробовідбірником (буром) діаметром 3,7 см методом конверта на глибину 20 см. Загальна проба з ділянки складалася не менше, ніж із трьох уколів. На дослідних ділянках одночасно відбиралися спряжені зразки ґрунту та рослинності згідно із загальноприйнятими методиками (СОУ 74.14-37-425:2006 та 74.14-37-424:2006).

Агрохімічні та фізико-хімічні показники ґрунту визначали за допомогою стандартних загальноприйнятих методик. Визначення рН – ДСТУ ISO 10390:2007; визначення гідролітичної кислотності – ДСТУ 7537:2014; визначення загального азоту – ДСТУ 4726:2007; визначення вмісту доступного фосфору і калію – згідно з ДСТУ 4115-2002 за модифікованим методом Чирікова для чорноземів; визначення зольності – згідно з ГОСТ 11306-83. Визначення вмісту калію та фосфору – згідно з ДСТУ 4405:2005 за методом Кірсанова – для дерново-підзолистих та сірих лісових ґрунтів. Для визначення вмісту гумусу – за методом І. В. Тюріна (ДСТУ 4289-2004).

Вміст  $^{137}\text{Cs}$  у зразках ґрунту та рослин, що були висушені до повітряно-сухого стану, визначали гамма-спектрометричним методом на гамма-спектрометрі з напівпровідниковим детектором типу GEM-30185 (ORTEC, USA) у посудинах Маріселлі об'ємом  $1000\text{ см}^3$  та у вимірювальних посудинах Дента, виконаних у формі усіченого конуса з висотою 3,3 см та діаметрами основ 6,3 і 7,3 см та об'ємом  $130\text{ см}^3$ .

Коефіцієнт переходу ( $K_{\text{П}}$ )  $^{137}\text{Cs}$  визначали як відношення питомої масової активності радіонукліда, у перерахунку на повітряно-суху масу в рослинах (Бк/кг), до щільності забруднення ґрунту ( $\text{кБк/м}^2$ ). Коефіцієнт накопичення ( $K_{\text{Н}}$ )  $^{137}\text{Cs}$  з ґрунту у фітомасу рослинності визначали як відношення питомої активності радіонукліда в рослинах (Бк/кг) до питомої активності радіонукліда у ґрунті (Бк/кг). Показник радіологічної ефективності досліджуваних контрзаходів (кратність зниження біологічної доступності  $^{137}\text{Cs}$  відносно контролю) розраховували як відношення  $K_{\text{Н}}$   $^{137}\text{Cs}$  рослинами у контролі до  $K_{\text{Н}}$   $^{137}\text{Cs}$  рослинами у випадку використання контрзаходу. Статистичний аналіз даних (методи математичної статистики, дисперсійний, регресивний аналіз) проводили з використанням стандартного пакета MS Excel.

За весь період проведення досліджень (2009–2016 рр.) було відібрано на стаціонарних ділянках 1550 зразків, у вегетаційних дослідах – 140 зразків.

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Визначення особливостей накопичення  $^{137}\text{Cs}$  кормовими культурами на різних типах ґрунтів.** За результатами проведених досліджень встановлено, що кормові культури за зменшенням коефіцієнта накопичення  $^{137}\text{Cs}$  у контрольних варіантах утворюють ряди: торфово-болотний – люпин > багаторічні трави > горох > овес; дерново-підзолистий та чорнозем – люпин > горох > багаторічні трави > овес. Відмінності у накопиченні  $^{137}\text{Cs}$  між рослинами становлять 2–3 рази (табл. 2).

Ґрунти за зменшенням коефіцієнтів накопичення  $^{137}\text{Cs}$  у контрольних варіантах розташовуються у такій послідовності: торфово-болотний > дерново-підзолистий > чорнозем.

У цілому за весь період проведення досліджень значення  $K_{\text{Н}}$   $^{137}\text{Cs}$  для всіх досліджених культур на всіх досліджених типах ґрунтів мали неоднозначну динаміку. Можливо, такі флуктуації  $K_{\text{Н}}$   $^{137}\text{Cs}$  були спричинені метеорологічними умовами.

**Коефіцієнт накопичення  $^{137}\text{Cs}$  у кормових культурах на різних типах ґрунтів на пізній фазі радіаційних аварій (2009 – 2013 рр.)**

Культура	2009	2010	2011	2012	2013
Торфово-болотний ґрунт					
Люпин			6,8±0,9	2,9±0,8	7,0±2,0
Овес			1,42±0,09	1,1±0,1	1,03±0,08
Горох			2,5±0,4	2,1±0,3	2,1±0,3
Багаторічні трави			3,0±0,3	3,2±0,3	2,8±0,3
Дерново-підзолистий ґрунт					
Люпин	1,3±0,2	0,9±0,3	0,6±0,1	0,6±0,5	0,30±0,04
Овес	0,09±0,04	0,06±0,01	0,043±0,002	0,017±0,005	0,05±0,01
Горох	0,19±0,04	0,12±0,01	0,06±0,04	0,31±0,09	0,25±0,06
Багаторічні трави	0,25±0,03	0,06±0,03	0,051±0,005	0,049±0,002	0,036±0,008
Чорнозем					
Люпин	0,45±0,09	0,50±0,09	0,19±0,01	0,08±0,02	0,27±0,03
Овес	0,05±0,02	0,03±0,02	0,03±0,02	0,06±0,02	0,07±0,02
Горох	0,10±0,01	0,12±0,04	0,07±0,01	0,05±0,04	0,06±0,02
Багаторічні трави	0,08±0,02	0,10±0,05	0,036±0,004	0,099±0,009	0,08±0,04

**Радіологічна ефективність агрохімічних контрзаходів щодо зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу вівса в умовах польових дослідів.** Використання всіх вказаних комбінацій мінеральних добрив на торфово-болотному ґрунті приводить до стабільного зменшення в 1,2–1,9 раза надходження досліджуваного радіонукліда в рослини (рис. 1).

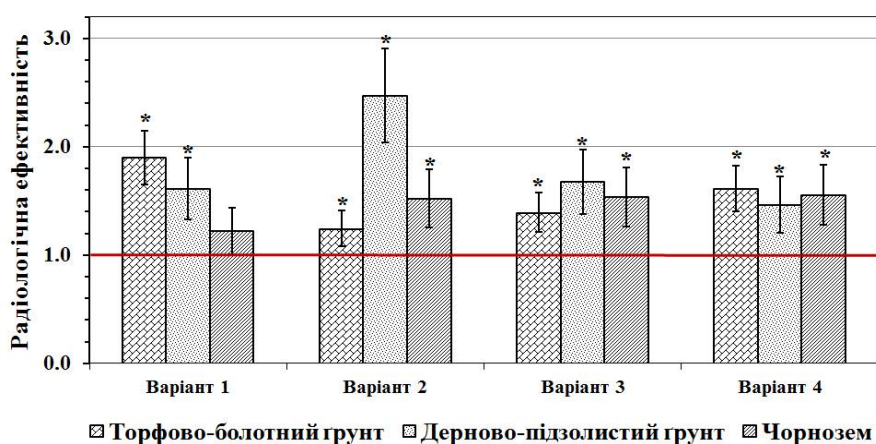


Рис. 1. Усереднені багаторічні дані щодо радіологічної ефективності (зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу вівса) застосування мінеральних добрив у різних комбінаціях (див. табл. 1) на різних типах ґрунтів щодо контролю (суцільна лінія)

Примітка. Тут і далі зірочкою над стовпчиками позначено статистично вірогідні результати при  $p \leq 0,05$

За весь період спостережень на дерново-підзолистому типі ґрунтів відзначено різний за радіологічною ефективністю вплив досліджуваних комбінацій добрив, що в цілому приводить до зниження вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у рослинах.

Застосування комплексного добрива  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  в окремі роки приводило до зниження питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у рослинах у 3 рази відносно контролю, а в інші – лише на 20 %, при цьому на окремих ділянках значення питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у рослинах не відрізнялися від таких у контролі.

Використання  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{P}_{30}\text{K}_{30}$  приводить до стабільного зниження забруднення фітомаси  $^{137}\text{Cs}$  до 35 % у порівнянні з контролем.

При використанні комбінації  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  відзначено стійку тенденцію до зниження вмісту  $^{137}\text{Cs}$  в рослинах, яка в останні роки внесення дозволила отримати рівень  $^{137}\text{Cs}$  забруднення нижчий від рівня забруднення у контролі.

За багаторічними спостереженнями встановлено різну радіологічну ефективність дії комбінації добрив, що в цілому приводить до зниження вмісту  $^{137}\text{Cs}$  в рослинах.

За радіологічною ефективністю використані комбінації добрив можна розмістити таким чином: найменша ефективність при застосуванні комбінації добрив спостерігалася при використанні  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{N}_{20}\text{K}_{30}$  на трьох типах ґрунтів протягом усього періоду спостережень. Тоді як найбільш ефективною комбінацією конгрзаходів була  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{K}_{30}$  на дерново-підзолистому ґрунті в усі роки спостережень. При застосуванні даної комбінації питома активність  $^{137}\text{Cs}$  в рослинах знижувалася в 1,2–2,5 рази відносно контролю, причому ефект спостерігався протягом усіх років експерименту. Використання даної комбінації мінеральних добрив приводило до суттєвого та стабільного зменшення надходження радіонукліда  $^{137}\text{Cs}$  в овес. Довготривале внесення добрив до чорнозему типового легкосуглинистого на лесовидних суглинках у різних співвідношеннях не приводило до суттєвого зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу вівса (див. рис. 1).

**Радіологічна ефективність агрохімічних конгрзаходів щодо зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу люпину в умовах польових дослідів.** За весь період спостережень відзначено зниження питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  до 1,6 рази відносно контролю при використанні всіх чотирьох варіантів внесення мінеральних добрив на торфово-болотному ґрунті (рис. 2).

При цьому виділити більш ефективні мінеральні добрива в даних комбінаціях з точки зору радіологічної ефективності неможливо. У певні роки окремі комбінації діють більш ефективно, в інші – менш ефективно. Відмінності варіювали в межах стандартних похибок.

За весь період спостережень на дерново-підзолистих ґрунтах відзначено різну за ефективністю дію комбінацій добрив. При застосуванні добрив у комбінаціях  $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  та  $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{N}_5\text{K}_{30}$  рівень забруднення фітомаси люпину  $^{137}\text{Cs}$  зростав від 0,7–1,5 рази відносно контролю.

При застосуванні комбінації  $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{K}_{30}$  питома активність  $^{137}\text{Cs}$  в рослинах стабільно знижувалася у 1,5 рази відносно контролю, причому ефект спостерігався протягом усіх років експерименту. Використання даної

комбінації мінеральних добрив приводить до стабільного зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу люпину.

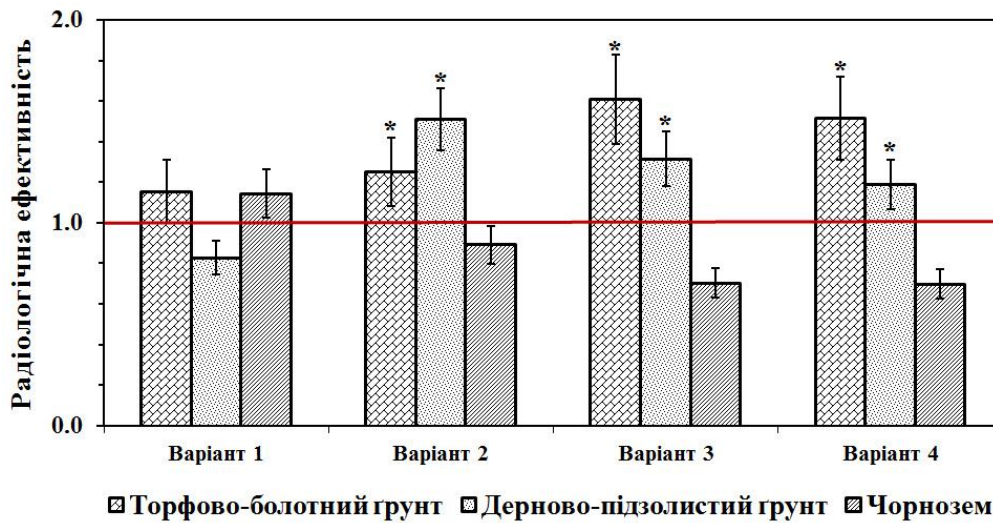


Рис. 2. Усереднені багаторічні дані щодо радіологічної ефективності (зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу люпину) застосування мінеральних добрив у різних комбінаціях (див. табл. 1) на різних типах ґрунтів щодо контролю (суцільна лінія)

За весь період спостережень на чорноземних ґрунтах радіологічна ефективність використаних добрив було відмічено лише на варіанті з внесенням  $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  до 1,1 раза (див. рис. 2).

**Радіологічна ефективність агрохімічних контрзаходів щодо зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу гороху в умовах польових дослідів.** Дія різних комбінацій добрив на торфво-болотному ґрунті застосування контрзаходів не приводило до однозначного результату. При використанні комбінації  $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{N}_5\text{K}_{30}$  зменшення надходження радіонукліда  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу гороху спостерігалось лише протягом першого року досліджень. У подальшому питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасі гороху посівного не відрізнялася від контрольних значень (рис. 3).

Використання інших комбінацій мінеральних добрив приводило до зниження питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  від 10 до 50 %, що в середньому становить близько 30 %.

За весь період досліджень щодо застосування різних варіантів добрив на дерново-підзолистому ґрунті відзначено позитивну динаміку зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у рослини. Виключенням є випробування комбінації добрив  $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{N}_5\text{K}_{30}$ , за використання якої спостерігалось незначне зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у рослини – до 35 % у перші роки внесення, а в наступні – збільшення до 20 % у порівнянні з контролем. Використання інших трьох комбінацій добрив (див. табл. 1) приводить до стабільного та суттєвого зниження питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасі гороху посівного.

Внесення комбінації добрив  $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  приводить до зменшення рівня забруднення фітомаси гороху в середньому у 2 рази, а використання  $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{P}_{30}\text{K}_{30}$  – у 3,5 рази в порівнянні з контролем.

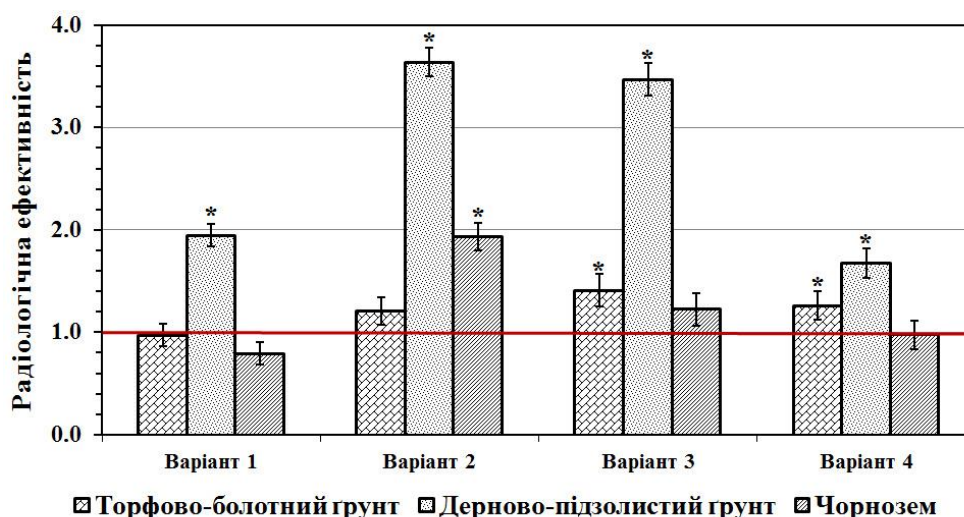


Рис. 3. Усереднені багаторічні дані щодо радіологічної ефективності (зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу гороха) застосування мінеральних добрив у різних комбінаціях (див. табл. 1) на різних типах ґрунтів щодо контролю (суцільна лінія)

Найбільш ефективною виявилася комбінація  $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{K}_{30}$ , за використання якої вміст  $^{137}\text{Cs}$  у рослинах стабільно знижувався у 3,6 раза в порівнянні з контролем. При цьому ефект спостерігався протягом усіх років експериментальних досліджень. Таким чином, використання даної комбінації мінеральних добрив приводило до зменшення надходження радіонукліда  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу гороху.

За весь період спостережень за радіологічною ефективністю запропонованих комбінацій добрив на чорноземному ґрунті у трьох із чотирьох варіантів практично не змінювалися показники надходження  $^{137}\text{Cs}$  в рослини. Навпаки, в окремі роки питома активність радіонукліда зростала в 1,6 раза в порівнянні з контролем.

При використанні комбінації добрив  $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  відзначено стабільне перевищення вмісту  $^{137}\text{Cs}$  в зелену масу гороху дослідних ділянок порівняно з контролем, подібний ефект спостерігався при використанні  $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{N}_5\text{K}_{30}$ . Внесення  $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{P}_{30}\text{K}_{30}$  в перші три роки приводило до зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у рослини в середньому у 2 рази, але в останні два роки спостерігалось його збільшення у 1,2–1,6 раза в порівнянні з контролем.

Більш помітний ефект зниження надходження  $^{137}\text{Cs}$  у дослідні рослини мала комбінація  $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{K}_{30}$ . За її застосування питома активність  $^{137}\text{Cs}$  в рослинах достовірно знижувалася, причому ефект спостерігався протягом усіх років експериментальних досліджень. Використання даної комбінації мінеральних добрив приводило до зменшення надходження радіонукліда у фітомасу гороху, проте його радіологічна ефективність не дає суттєвих переваг перед іншими (див. рис. 3).

**Радіологічна ефективність агрохімічних контрзаходів щодо зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу багаторічних трав в умовах польових дослідів.** Залежно від щільності забруднення ґрунту на дослідних ділянках та коефіцієнтів накопичення радіонукліда в рослинності відзначено

коливання рівня радіоактивного забруднення зеленої маси на дерново-підзолистому ґрунті, у той час як на інших типах ґрунтів забруднення рослинності  $^{137}\text{Cs}$  трималося на досить стабільному рівні (рис. 4).

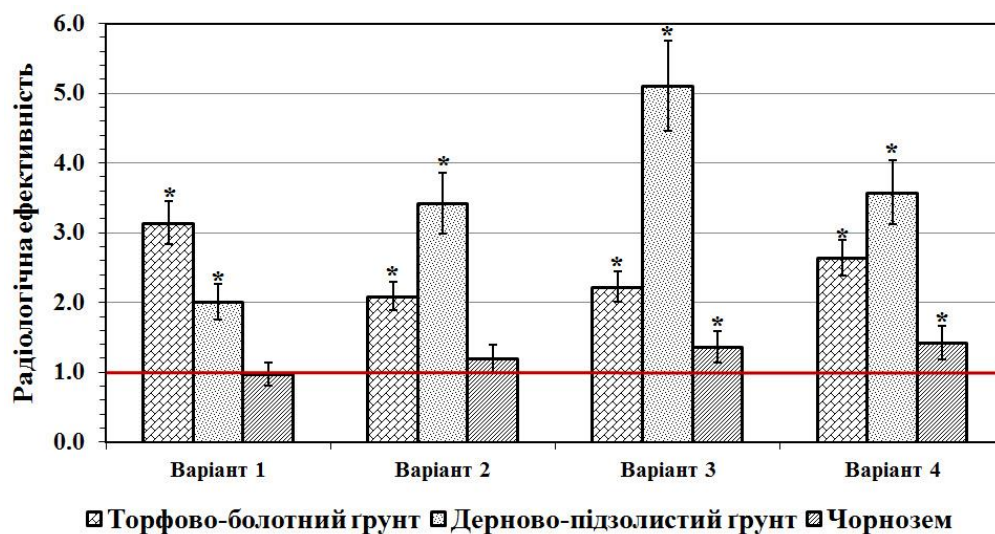


Рис. 4. Усереднені багаторічні дані щодо радіологічної ефективності (зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу багаторічних трав) застосування мінеральних добрив у різних комбінаціях (див. табл. 1) на різних типах ґрунтів щодо контролю (суцільна лінія)

За весь період спостережень на торфово-болотних ґрунтах відзначено зниження питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у рослинах відносно контролю від 1,2 рази у перший рік, до трьох разів у другий та третій роки експерименту в порівнянні з контролем. Перший рік застосування агрохімічних контрзаходів показав найменший ефект від використання добрив, проте в наступні роки відзначено суттєве зменшення накопичення радіонукліда рослинами від двох до трьох разів відносно контролю.

Немає підстав виділяти найбільш ефективні добрива, оскільки всі вони певною мірою сприяють стабільному зниженню надходження радіонукліда  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу багаторічних трав у середньому у два рази.

За весь період спостережень на дерново-підзолистих ґрунтах відзначено стабільну позитивну динаміку зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у рослини. Рівень забруднення фітомаси зменшувався від 1,4 до 5 разів, що в середньому становить трикратне зменшення забруднення фітомаси відносно контрольного рівня.

За використання усіх досліджених комбінації добрив спостерігалось зниження питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у рослинах, але найбільш радіологічно ефективними були комбінації  $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}+\text{K}_{30}$  та  $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}+\text{P}_{30}\text{K}_{45}$  на дерново-підзолистому ґрунті, що характеризуються стабільністю виявленого ефекту протягом усіх років експериментальних досліджень і приводять до трикратного зменшення вмісту радіонукліда у фітомасі багаторічних трав у порівнянні з контролем.

Дві інші комбінації на різних типах ґрунтів показали меншу ефективність.

За весь період спостережень на чорноземі радіологічна ефективність використаних варіантів добрив лише в окремих пробовідборах мала ефективність до 60 % і була набагато нижчою порівняно з торфово-болотним і дерново-підзолистим ґрунтами (див. рис. 4).

**Визначення оптимальних агрохімічних контрзаходів для кормових культур на різних типах ґрунтів.** За результатами багаторічних польових досліджень на різних типах ґрунтів визначено оптимальні контрзаходи (із досліджених варіантів) для зниження надходження  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу досліджуваних культур (табл. 3).

Таблиця 3

**Найбільш ефективні апробовані агрохімічні контрзаходи для досліджуваних кормових культур на різних типах ґрунтів**

Культура	Тип ґрунту	Агрохімічний контрзахід	Радіологічна ефективність, раз
			середнє
Люпин	Торфово-болотний	$\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{P}_{30}\text{K}_{30}$	$1,6\pm 0,2$
	Дерново-підзолистий	$\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{K}_{30}$	$1,5\pm 0,1$
	Чорнозем	$\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	$1,1\pm 0,1$
Горох	Торфово-болотний	$\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{P}_{30}\text{K}_{30}$	$1,4\pm 0,1$
	Дерново-підзолистий	$\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{K}_{30}$	$3,6\pm 0,5$
	Чорнозем	$\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{K}_{30}$	$1,9\pm 0,3$
Овес	Торфово-болотний	$\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	$1,9\pm 0,2$
	Дерново-підзолистий	$\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{K}_{30}$	$2,5\pm 0,4$
	Чорнозем	$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{P}_{30}\text{K}_{30}$	$1,6\pm 0,2$
Багаторічні трави	Торфово-болотний	$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$	$3,1\pm 0,3$
	Дерново-підзолистий	$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}+\text{P}_{30}\text{K}_{45}$	$5,1\pm 0,6$
	Чорнозем	$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{N}_{12}\text{K}_{30}$	$1,4\pm 0,2$

**Радіологічна ефективність застосування меліорантів місцевого походження для зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу костриці червоної на торфово-болотному ґрунті в умовах вегетаційного і польового дослідів.** Результати досліджень показують, що апробовані контрзаходи, а саме піскування та внесення золи як окремо, так і в поєднанні з піском, мають досить високу радіологічну ефективність. З радіологічної точки зору застосування досліджених контрзаходів є доцільним, оскільки пісок і зола є меліорантами місцевого походження. Пісок знаходиться на незначній глибині (30–50 см) безпосередньо під шаром торфу, що виключає затрати на його закупівлю та доставку до місця внесення.

За весь період вегетаційного дослідження усереднені показники радіологічної ефективності досліджених контрзаходів знаходилися в інтервалі від  $1,9\pm 0,5$  раз у варіанті пісок 200 т/га до  $52,7\pm 7,6$  раз у варіанті пісок 400 т/га + зола 3 т/га (рис. 5-7).

Найвища кратність зниження накопичення  $^{137}\text{Cs}$  фітомасою костриці червоної для всіх варіантів із застосуванням контрзаходів відзначалась у

перших двох пробовідборах, у подальших пробовідборах відзначено тенденцію до зниження радіологічної ефективності досліджених конгрзаходів. У варіантах пісок 200 т/га та пісок 300 т/га для 4 та 5 пробовідборів рівні накопичення ( $K_H$ )  $^{137}\text{Cs}$  фітомасою костриці червоної вже достовірно не відрізнялися від контролю (рис. 5).

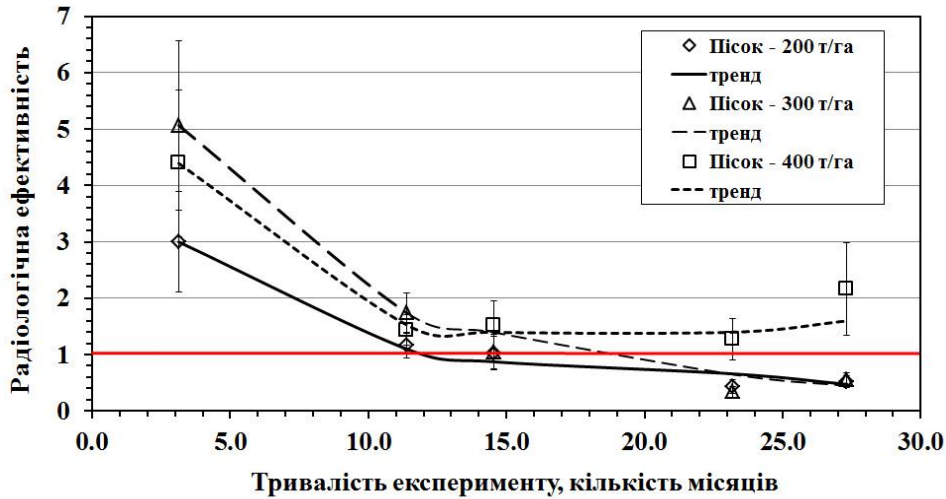


Рис. 5. Радіологічна ефективність піскування щодо зменшення накопичення  $^{137}\text{Cs}$  для костриці червоної (*Festuca rubra* L.) на торф'яно-болотному ґрунті щодо контролю (суцільна лінія) в умовах вегетаційного дослідження

При внесенні піску та золи у трьох варіантах спостерігається достовірно зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу костриці червоної відносно контролю, яке при подальшому збільшенні дози внесення меліорантів стає більш вагомим. Проте для варіантів із застосуванням в якості конгрзаходу лише піскування збільшення дози внесення піску з 300 до 400 т/га на початку дослідження не мало значної різниці (до третього пробовідбору) (див. рис. 5).

Найбільш ефективними щодо зниження  $^{137}\text{Cs}$  в рослинах із запропонованих конгрзаходів виявилися варіанти із внесенням меліорантів у комбінації пісок 400 т/га + зола 3 т/га та варіант зола 3 т/га (рис. 6, 7).

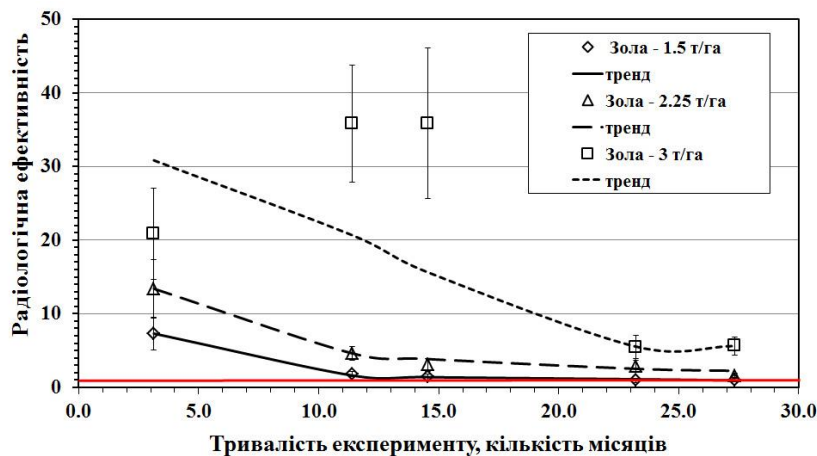


Рис. 6. Радіологічна ефективність золи щодо зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  для костриці червоної (*Festuca rubra* L.) на торф'яно-болотному ґрунті щодо контролю (суцільна лінія) в умовах вегетаційного дослідження

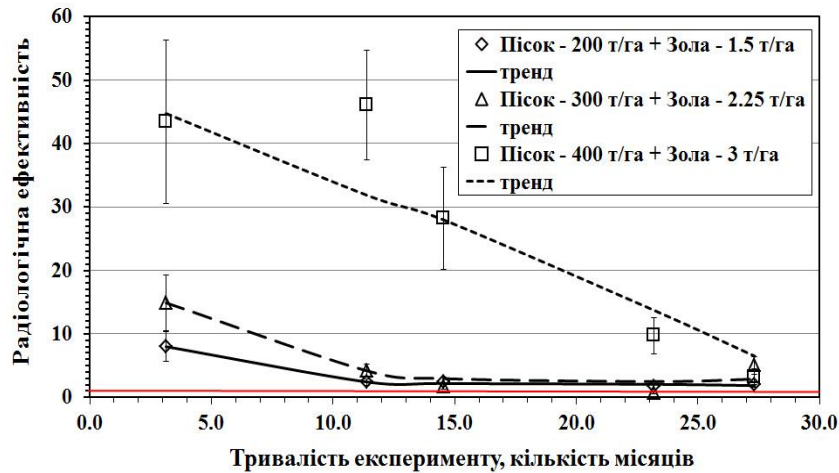


Рис. 7. Радіологічна ефективність внесення піску та золи щодо зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  для костриці червоної (*Festuca rubra* L.) на торф'яно-болотному ґрунті щодо контролю (суцільна лінія) в умовах вегетаційного дослідження

Загалом усі досліджені у вегетаційному досліді варіанти контрзаходів за зростанням усередненого за період дослідження показника радіологічної ефективності можна розташувати у такий ряд: піскування 200 т/га ( $1,9 \pm 0,5$  раз) < піскування 300 т/га ( $2,5 \pm 0,5$  раз)  $\leq$  піскування 400 т/га ( $3,5 \pm 0,8$  раз)  $\approx$  внесення золи 1,5 т/га ( $3,6 \pm 0,9$  раз) < піскування 200 т/га + внесення золи 1,5 т/га ( $5,2 \pm 1,5$  раз)  $\leq$  внесення золи 2,25 т/га ( $8,2 \pm 3,7$  раз) < піскування 300 т/га + внесення золи 2,25 т/га ( $7,3 \pm 2,4$  раз) < внесення золи 3 т/га ( $28,2 \pm 5,3$  раз) < піскування 400 т/га + внесення золи 3 т/га ( $52,7 \pm 7,6$  раз).

Результати досліджень на стаціонарному дрібно-ділянковому польовому досліді щодо встановлення радіологічної ефективності визначених контрзаходів у реальних природних умовах показує, що максимальне зниження вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасі рослин унаслідок застосування контрзаходів у польовому досліді проявляється в перший рік (для першого пробовідбору) відразу після внесення меліорантів, що корелює із даними вегетаційного дослідження. З часом, як і у попередньому вегетаційному досліді, спостерігається зниження радіологічної ефективності контрзаходів (рис. 8).

Для такого контрзаходу, як піскування в дозі 300 т/га, позитивний ефект було відзначено лише для першого пробовідбору (кратність зниження накопичення  $^{137}\text{Cs}$  фітомасою рослин становила 1,4 раз), для другого та третього пробовідборів різниці з контролем не відзначено.

Практично відсутня різниця з контролем при застосуванні в якості контрзаходу внесення піску в польових умовах. Можливо, це пояснюється низькою дозою його внесення (300 т/га), властивостями ґрунту на місці закладки дослідження та несприятливими метеорологічними умовами у період дослідження (практична відсутність опадів, пожежа) (рис. 9).

Досить високу і фактично незмінну здатність до зменшення біологічної доступності радіоцезію за весь період тривалості дослідження відзначено у варіанті із застосуванням золи торфу у дозі 2 т/га –  $1,8 \pm 0,1$  раз (див. рис. 8).

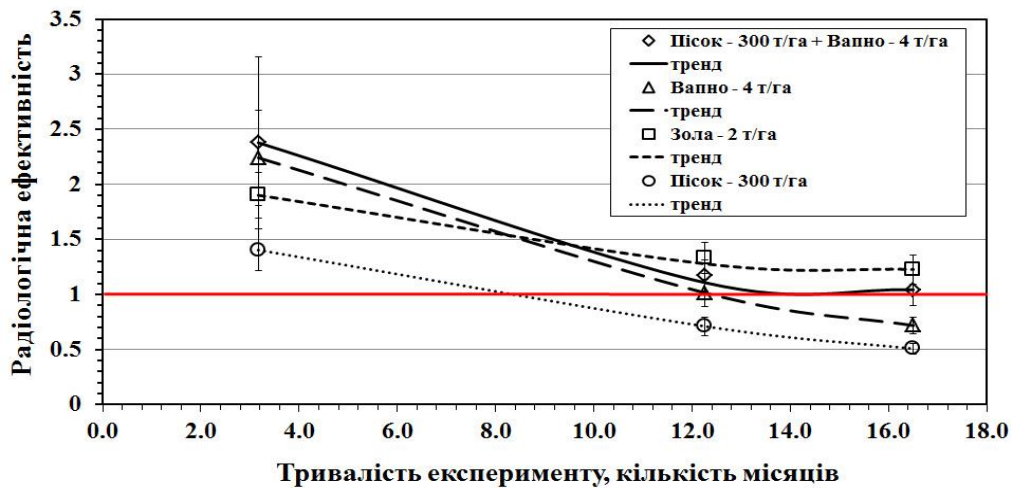


Рис. 8. Радіологічна ефективність внесення піску та золи торфу щодо зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  для костриці червоної (*Festuca rubra* L.) на торфово-болотному ґрунті щодо контролю (суцільна лінія) в умовах польового дослідження

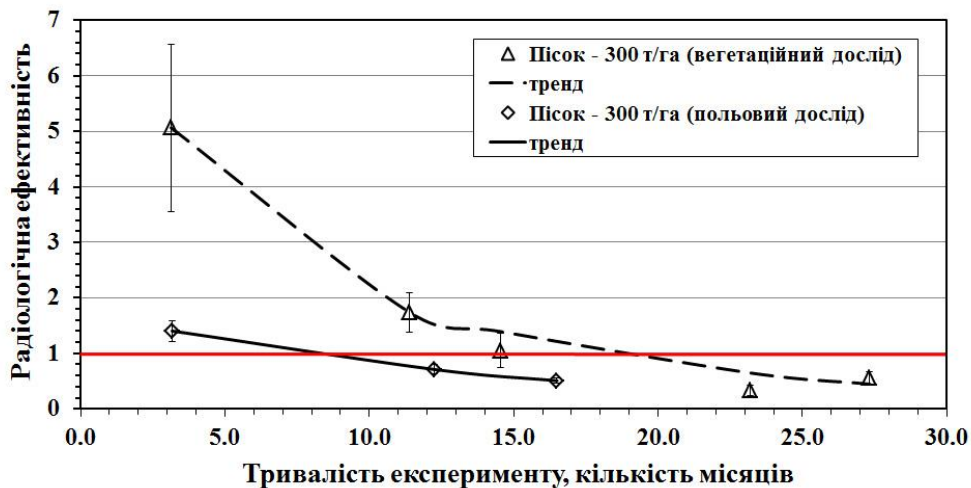


Рис. 9. Співвідношення радіологічної ефективності піскування щодо зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  для костриці червоної (*Festuca rubra* L.) на торфово-болотному ґрунті щодо контролю (суцільна лінія) в умовах вегетаційного і польового дослідів

Кратність зниження накопичення радіоцезію рослинами при застосуванні вапна в дозі 4 т/га становила  $1,5 \pm 0,6$  раза.

Найвищу радіологічну ефективність у першому пробовідборі мав варіант пісок 300 т/га + вапно 4 т/га – 2,4 раза (див. рис. 8). У подальшому відзначалося зниження ефективності. Усереднене значення кратності зниження накопичення радіоцезію рослинами з ґрунту в даному варіанті становило  $1,8 \pm 0,5$  раза.

Порівнюючи дані вегетаційного та польового дослідів із внесенням піску в дозі 300 т/га, виявлено, що ефект такого заходу був у 2 рази нижчим у польовому досліді, ніж у вегетаційному (див. рис. 9).

## ВИСНОВКИ

На пізній фазі аварії на Чорнобильській АЕС оцінено радіологічну ефективність застосування контрзаходів на радіоактивно забруднених територіях у різних ґрунтово-кліматичних умовах, отримані нові дані щодо змін параметрів переходу радіоактивного цезію з ґрунту в рослини через 30 років після аварії. Запропоновано нові варіанти застосування контрзаходів на основі місцевих меліорантів для зниження рівнів радіоактивного забруднення кормових рослин.

1. Експериментально доведено радіологічну ефективність довготривалого застосування мінеральних добрив (NPK) у різних ґрунтово-кліматичних умовах на пізній фазі радіаційної аварії, отримано динаміку коефіцієнтів накопичення  $^{137}\text{Cs}$  сільськогосподарськими кормовими культурами за умов використання традиційних варіантів мінеральних добрив та меліорантів.

2. Установлено, що на пізній фазі аварії традиційні агрохімічні контрзаходи зберігають свою радіологічну ефективність: найменшу – на чорноземі – до 2-кратного зменшення забруднення кормових культур  $^{137}\text{Cs}$  за умов внесення лише калійних добрив; найбільшу – на дерново-підзолистому ґрунті – до 4-кратного зниження радіоактивності рослин.

3. Виявлено, що внесення мінеральних добрив (NPK) під люпин та овес на торфово-болотному ґрунті в межах указаних співвідношень (1:1:1 і 1:1:1,5) приводило до достовірного зниження надходження  $^{137}\text{Cs}$  у ці рослини до 1,6–1,9 раза відповідно. Застосування мінеральних добрив під сумішку багаторічних злакових трав на цьому ж ґрунті у розглянутих співвідношеннях забезпечує зниження надходження  $^{137}\text{Cs}$  у рослини до 3 разів.

4. Внесення мінеральних добрив (NPK) на дерново-підзолистому ґрунті у різних досліджених співвідношеннях приводить до стабільного зниження надходження  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу вівса у 2,5 раза, у фітомасу бобових культур (люпину, гороху) від 1,5 до 3,6 раза відповідно на варіанті з найменшим внесенням азотних добрив  $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{K}_{30}$ .

5. Внесення добрив на стаціонарах, що розташовані на чорноземі у розглянутих співвідношеннях знижує надходження  $^{137}\text{Cs}$  в зелену масу вівса у 1,6 раза. Внесення мінеральних добрив (NPK) під бобові культури на чорноземі приводить до зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  від 1,1 до 1,9 раза при застосуванні комбінації добрив:  $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  для люпину, а для гороху –  $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+\text{K}_{30}$ .

6. У вегетаційних дослідях із використанням місцевих меліорантів на торфово-болотному ґрунті найбільша ефективність контрзаходів спостерігалась у варіантах із внесенням комбінації пісок 400 т/га + зола 3 т/га та зола 3 т/га. При застосуванні цих контрзаходів відзначалась найбільша кратність зниження надходження  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасу костриці червоної (*Festuca rubra* L.) (до 53 разів).

7. Максимальне зниження вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасі костриці червоної (*Festuca rubra* L.) внаслідок застосування місцевих меліорантів в якості протирадіаційних заходів проявляється в перший рік після внесення меліорантів.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Косарчук О. В. Роль добрив та меліорантів в одержанні нормативно чистої сільськогосподарської продукції // Агроекологічний журнал. 2006. № 4. С. 41–43.

2. Косарчук О. В. Застосування захисних заходів у сільськогосподарському виробництві на територіях з техногенним забрудненням // Агроекологічний журнал. 2008. С. 122–126.

### Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних:

3. **Косарчук О. В.**, Лазарєв М. М., Кадигріб О. М. Динаміка ефективності довготривалого застосування контрзаходів на радіоактивно забруднених територіях у віддалений період після аварії на ЧАЕС // Ядерна фізика та енергетика. 2014. Т. 15. № 3. С. 285–293. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, інтерпретовано результати, підготовлено матеріали до друку).*

4. **Косарчук О. В.**, Лазарєв М. М., Поліщук С. В. Вплив піскування торфових ґрунтів на зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  в рослини // Ядерна фізика та енергетика. 2015. Т. 16. № 2. С. 193–197. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано математичну обробку, інтерпретовано результати).*

5. Лазарєв М. М. **Косарчук О. В.**, Поліщук С. В. Застосування місцевих меліорантів на торфових ґрунтах та їх вплив на зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  в рослини у вегетаційних дослідах // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2017. № 1 (65). Режим доступу до статті: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/8109/7751>. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, інтерпретовано результати, підготовлено матеріали до друку).*

### Стаття в іншому науковому виданні України

6. **Косарчук О. В.**, Лазарєв М. М., Левчук С. Є., Можар О. А. Проблеми забруднених радіонуклідами сільськогосподарських територій на сучасному етапі // Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. 2016. №1 (55). Т. 3. С. 191–200. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано математичну обробку).*

### Тези наукових доповідей:

7. **Косарчук О. В.**, Перепелятнікова Л. В., Іванова Т. М. Порівняльна оцінка ефективності застосування різних меліорантів та добрив в умовах техногенного забруднення зони Полісся // Економічні проблеми виробництва та споживання екологічно чистої агропромислової продукції (ЕП-2005): 4-а Міжнародна науково-практична конференція, м. Суми, 24–27 травня

2005 року: тези доповіді. Суми, 2005. С. 258–260. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, підготовлено матеріали до друку).*

8. **Косарчук О. В.**, Перепелятнікова Л. В., Іванова Т. М. Дія деяких агрохімічних конгрзаходів на накопичення важких металів сільськогосподарськими рослинами // Екологія: проблеми адаптивно-ландшафтного землеробства: Міжнародна конференція, м. Житомир, 16–18 червня 2005 року: тези доповіді. Житомир, 2005. С. 148–152. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, інтерпретовано результати).*

9. **Косарчук О. В.**, Перепелятніков Г. П. Ефективність застосування добрив і меліорантів в умовах техногенного забруднення основних типів ґрунтів України // Досвід подолання наслідків Чорнобильської катастрофи в сільському та лісовому господарстві – 20 років після аварії на ЧАЕС: Міжнародна науково-практична конференція, м. Житомир, 18–20 травня 2006 року: тези доповіді. Житомир, 2006. С. 150–154. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано математичну обробку і підготовлено матеріали до друку).*

10. Grytsyuk N., Arapis G., **Kosarchuk O. V.** Root uptake and distribution of radiocaesium in vegetation cover of natural meadows in areas affected by the Chernobyl accident // Root to shoot translocation of pollutants and nutrients: 1<sup>st</sup> scientific meeting of WG1, June 22, 2006. Santiago de Compostela, Spain. P. 31. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано математичну обробку).*

11. Кимаковская Н. А., **Косарчук О. В.** Ведение растениеводства на техногенно загрязненных территориях Украинского Полесья // Радиоэкология: итоги, современное состояние и перспективы: Международная конференция, г. Москва, Российская Федерация, 3–5 июня 2008 года: тезисы доклада. Обнинск, 2008. С. 66–70. *(Здобувачем отримано експериментальні дані).*

12. Dewiere N., **Kosarchuk O.** Application of phytotechnologies on Chernobyl contaminated area: the experience and future outlook // Phytotechnologies in practice: biomass production, agricultural methods, legacy, legal and economic aspects: COST Action 859 – Meeting of Working Group 4, October 15–17, 2008. Verneuil-en-Halatte, France. P. 56. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, інтерпретовано результати).*

13. Косарчук О. В. Применение биологических удобрений на техногенно загрязненных территориях в отдаленный период после аварии на ЧАЭС // Актуальные вопросы радиационной гигиены: научно-практическая конференция с международным участием, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 7–9 июня 2010 года: тезисы доклада. Санкт-Петербург, 2010. С. 84–86.

14. Косарчук О. В. Влияние биологических удобрений на поступление радиоцезия и тяжелых металлов из почв в основные сельскохозяйственные культуры в условиях зоны Полесья // VI съезд по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность), г. Москва, Российская Федерация, 25–28 октября 2010 года: тезисы доклада. Москва, 2010. Том II (секции VIII–XIV). С. 96.

15. **Косарчук О. В.**, Лазарев М. М. Оцінка впливу добрив на надходження <sup>137</sup>Cs з різних типів ґрунту у сільськогосподарські культури у віддалений період

після аварії на ЧАЕС // Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи  
 Безпека майбутнього: Міжнародна конференція, м. Київ, 20–22 квітня  
 2011 року: тези доповіді. К., 2011. Ч. 2. С. 309–312. (*Здобувачем отримано  
 експериментальні дані, підготовлено матеріали до друку*).

16. **Косарчук О. В.**, Лазарєв М. М. Оцінка впливу добрив на надходження  
 $^{137}\text{Cs}$  з різних типів ґрунту у сільськогосподарські культури // Наукова  
 конференція Інституту ядерних досліджень НАН України за підсумками  
 2010 р., м. Київ, 25–28 січня 2011 року: тези доповіді. К., 2011. С. 22.  
 (*Здобувачем отримано експериментальні дані, підготовлено матеріали до друку*).

17. Косарчук О. В. Оцінка ефективності застосування добрив на надход-  
 ження  $^{137}\text{Cs}$  у сільськогосподарські культури у віддалений період після аварії на  
 ЧАЕС // Актуальні проблеми наук про життя та природокористування:  
 Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, м. Київ,  
 26–29 жовтня 2011 року: тези доповіді. К., 2011. С. 172–173.

18. **Косарчук О. В.**, Лазарєв М. М. Вплив піскування торфових ґрунтів на  
 зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  в рослини // XXII щорічна наукова конференція  
 Інституту ядерних досліджень НАН України, м. Київ, 26–30 січня 2015 року:  
 тези доповіді. К., 2015. С. 204–205. (*Здобувачем отримано експериментальні  
 дані, підготовлено матеріали до друку*).

## АНОТАЦІЯ

**Косарчук О. В. Радіологічна ефективність агрохімічних контрзаходів  
 в умовах Українського Полісся на пізній фазі радіаційних аварій.** – На  
 правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук зі  
 спеціальності 03.00.01 «Радіобіологія». – Національний університет біоресурсів  
 і природокористування України, Київ, 2017.

Представлено результати радіологічної ефективності застосування  
 мінеральних добрив (НРК) на пізній фазі аварії на Чорнобильській АЕС.  
 Установлено, що на радіоактивно забруднених чорноземних ґрунтах  
 застосування мінеральних добрив не приводить до достовірного зниження  
 радіоактивного забруднення вегетативної маси кормових культур на пізній фазі  
 Чорнобильської аварії. На дерново-підзолистих і торфових ґрунтах  
 застосування мінеральних добрив як складової частини комплексу  
 протирадіаційних заходів залишається ефективним засобом і в теперішній час.  
 Радіологічна ефективність застосування мінеральних добрив залежить від  
 співвідношення N:K.

Проведено вегетаційні дослідження щодо встановлення радіологічної  
 ефективності контрзаходів, зокрема внесення меліорантів у комплексі (пісок +  
 зола), спрямованих на зменшення біологічної доступності вегетативною масою  
 кормових культур  $^{137}\text{Cs}$  у ґрунті для засвоєння рослинами.

За отриманими експериментальними даними питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у  
 фітомасі рослин встановлено інтенсивність накопичення  $^{137}\text{Cs}$  кормовою  
 культурою кострицею червоною (*Festuca rubra L.*) при внесенні різних доз і  
 комбінацій меліорантів та їхній вплив на коефіцієнт накопичення (Кн)  $^{137}\text{Cs}$ .

Показано високу радіологічну ефективність запропонованих контрзаходів на пізній фазі аварії. Застосування апробованих контрзаходів є доцільним, оскільки пісок і зола є меліорантами місцевого походження. Пісок знаходиться на незначній глибині (30–50 см) безпосередньо під шаром торфу, що виключає затрати на його закупівлю та доставку до місця внесення.

**Ключові слова:** Чорнобильська аварія, радіонукліди, питома активність, щільність забруднення ґрунту, допустимі рівні, радіологічна ефективність, коефіцієнт накопичення, коефіцієнт переходу, контрзаходи, меліоранти.

## АННОТАЦІЯ

**Косарчук О. В. Радиологическая эффективность агрохимических контрмер в условиях Украинского Полесья на поздней фазе радиационных аварий.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.01 «Радиобиология». – Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, 2017.

Представлены результаты радиологической эффективности применения минеральных удобрений (НРК) и меліорантов на поздней фазе аварии на Чернобыльской АЭС.

Внесение минеральных удобрений является традиционным мероприятием, применяемым в сельском хозяйстве для сохранения и повышения плодородия почв и снижения накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции.

Показано, что на радиоактивно загрязненных черноземных почвах применение минеральных удобрений не приводит к достоверному снижению радиоактивного загрязнения вегетационной массы кормовых культур на поздней фазе аварии на Чернобыльской АЭС. На дерново-подзолистых и торфяно-болотных почвах применение минеральных удобрений как составной части комплекса противорадиационных мероприятий остается эффективным средством и в настоящее время. Радиологическая эффективность применения минеральных удобрений (НРК) зависит от соотношения N:K. Чем выше доза калия, тем лучше эффект. Но при достаточно высоком содержании азота (например, N<sub>60</sub> или N<sub>90</sub>) эффект от внесения калия уменьшается.

Исследованиями показано, что вышеуказанные противорадиационные мероприятия практически на всех типах почв имеют более высокую эффективность для злаковых культур, чем для бобовых, для которых уровень радиоактивного загрязнения в ряде случаев, наоборот, возрастает.

Проведены вегетационные исследования по установлению радиологической эффективности противорадиационных мероприятий, направленных на уменьшение биологической доступности <sup>137</sup>Cs в почве для усвоения растениями, в частности внесение меліорантов в комплексе (песок + зола).

По полученным экспериментальным данным удельной активности <sup>137</sup>Cs в фитомассе растений установлена интенсивность накопления <sup>137</sup>Cs сельскохозяйственной культурой овсяницей красной (*Festuca rubra* L.) при внесении

различных доз и комбинаций мелиорантов и их влияние на коэффициент накопления (Кн)  $^{137}\text{Cs}$ . Показана высокая радиологической эффективности предложенных контрмер на поздней фазе аварии.

Проведена, в лабораторных условиях, серия опытов по изучению влияния пескования на поступление  $^{137}\text{Cs}$  из торфяных почв в многолетние травы. Были проведены исследования по внесению песка в различных дозах из расчета 200 т/га, 300 и 400 т/га. При этом, песок равномерно перемешивали в верхнем слое торфа.

Результаты вегетационного опыта показали, что примененные варианты противорадиационных мероприятий в разной степени влияют на накопление  $^{137}\text{Cs}$  овсяницей красной и имеют достаточно высокую радиологическую эффективность.

Результаты исследований показывают, что исследованные противорадиационные мероприятия, а именно пескование и внесение золы как отдельно, так и в комплексе, имеют достаточно высокую радиологическую эффективность. С экономической точки зрения применения исследованных контрмер целесообразно, поскольку песок и зола являются мелиорантами местного происхождения. Песок находится на незначительной глубине (30–50 см) непосредственно под слоем торфа, что исключает затраты на его приобретение и доставку к месту использования, а зола – это минеральный остаток, образующийся при сжигании топливной древесины и органических остатков, который имеется в наличии практически в каждом подсобном хозяйстве.

Результаты исследований показали, что для снижения содержания радионуклидов в продукции растительного происхождения на торфяных почвах в качестве мелиорантов можно и целесообразно использовать песок и золу.

**Ключевые слова:** Чернобыльская авария, радионуклиды, удельная активность, плотность загрязнения почвы, допустимые уровни, радиологическая эффективность, коэффициент накопления, коэффициент перехода, контрмеры, мелиоранты.

## ANNOTATION

**Kosarchuk O. V. Radiological efficiency of the agrochemical countermeasures applied in the conditions of Ukrainian Polesie in the late phase of radiation accidents.** – The Manuscript.

Thesis is submitted for the scientific degree of the candidate of biological sciences on specialty 03.00.01 Radiobiology. – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, 2017.

The thesis presents the results of the research of the radiological efficiency of the implementation of mineral fertilizers (NPK) and ameliorants in the late phase of the Chernobyl accident. A significant decrease in the level of radioactive contamination of the vegetative mass of forage crops was not revealed under the implementation of mineral fertilizers at the contaminated chernozemic soils. At the same time, the implementation of mineral fertilizers as part of a complex of anti-

radiation measures at the sodpodzolic peat soils is still effective. Radiological efficiency of mineral fertilizers depends on the ratio of N:K in it.

The radiological efficiency of the countermeasures such as implementation of complex ameliorants (sand + ash), aimed at the reducing the soil bioavailability of  $^{137}\text{Cs}$  to the vegetative mass of forage crops, was estimated through the vegetation radiological studies.

The intensity of the  $^{137}\text{Cs}$  accumulation by a forage crop of red fescue (*Festuca rubra* L.) under the implementation of ameliorants in different doses and combinations, as well as their effect on the accumulation factor (AF) for  $^{137}\text{Cs}$  was estimated by the experimental data on the  $^{137}\text{Cs}$  specific activity in phytomass of the studied plants. High values of radiological efficiency of the implementation of the proposed radiological countermeasures in the late phase of radiation accidents were obtained. The implementation of these countermeasures is appropriate due to the availability of sand and ash in this region. Sand is located directly under a layer of peat at a shallow depth of 30–50 cm, and in this regard, it is possible to avoid additional costs of its purchase and delivery to the site of implementation.

**Key words:** Chernobyl accident, radionuclides, specific activity, terrestrial contamination density, permissible levels, radiological efficiency, accumulation factor, transfer factor, countermeasures, ameliorants.