

О. В. Косарчук, М. М. Лазарєв, О. М. Кадигріб

Український НДІ сільськогосподарської радіології
Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ

ДИНАМІКА ЕФЕКТИВНОСТІ ДОВГОТРИВАЛОГО ЗАСТОСУВАННЯ КОНТРЗАХОДІВ НА РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ У ВІДДАЛЕНИЙ ПЕРІОД ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧАЕС

За результатами трьох-п'ятирічних досліджень наведено усереднені дані динаміки радіологічної ефективності довготривалого застосування мінеральних добрив (НРК) у віддалений період після аварії на ЧАЕС. Показано, що на радіоактивно забруднених чорноземних ґрунтах застосування мінеральних добрив не призводить до достовірного зниження радіоактивного забруднення врожаю сільськогосподарських культур. На дерново-підзолистих і торфових ґрунтах застосування мінеральних добрив як складової частини комплексу протирадіаційних заходів залишається ефективною мірою. Радіологічна ефективність застосування мінеральних добрив (НРК) залежить від співвідношення N : K.

Ключові слова: ^{137}Cs , коефіцієнт накопичення, радіоактивно забруднені землі, сільськогосподарські культури.

Отримання сільськогосподарської продукції на радіоактивно забруднених землях потребує застосування комплексу контрзаходів, що спрямовані на підвищення родючості ґрунтів, зростання врожайності та одночасно зниження інтенсивності переходу ^{137}Cs в рослини. У системі протирадіаційних заходів у землеробстві традиційно важливе місце займає застосування мінеральних добрив [1].

До сьогоднішнього часу критичною галуззю сільськогосподарського виробництва є тваринництво з проблемою отримання молока корів із вмістом радіоактивного цезію відповідно до вимог ДР-06, що потребує вирішення задачі забезпечення тварин «чистими» кормами. У системі протирадіаційних заходів, що призводять до зниження вмісту радіоактивного цезію у рослинах, значну увагу приділяють агротехнічним та агрохімічним прийомам.

У перші роки після аварії переконливо доведено, що застосування мінеральних добрив, зокрема калійних, на радіоактивно забруднених сільськогосподарських угіддях суттєво знижує перехід ^{137}Cs у сільськогосподарські рослини. На основі отриманих експериментальних даних рекомендовано застосовувати основні складові мінеральних добрив (НРК) як 1 : 1,5 : 2 [5]. Але практика показує, що у віддалений період після радіаційного забруднення у рослинництві даного співвідношення не дотримуються і традиційно застосовують комплекс НРК у співвідношенні 1 : 1 : 1 або 1,5 : 1 : 1, тобто із більшим вмістом азоту, що призводить до зниження радіологічної ефективності застосування мінеральних добрив. Тому у віддалений період після радіоактивного забруднення території зберігається актуальність

удосконалення схем застосування мінеральних добрив з метою отримання рослинної продукції з меншим вмістом радіоактивного цезію.

Об'єкти та методика досліджень

Об'єктами досліджень були закономірності переходу радіоактивного цезію з ґрунту в рослини і вплив на ці процеси традиційних мінеральних добрив у різних співвідношеннях, а предметом досліджень – сільськогосподарські рослини (овес, горох, люпин, багаторічні трави), що використовуються в якості кормів для сільськогосподарських тварин.

Дослідні польові стаціонари було закладено на забруднених радіонуклідами сільськогосподарських угіддях Київської (Васильківський район), Житомирської (Народицький район) та Рівненської (Сарненський район) областей на трьох типах ґрунтів: чорноземі, дерново-підзолістому і торф'яному відповідно.

Рівні радіоактивного забруднення ґрунту на дослідних полігонах наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Радіологічна характеристика дослідних ділянок

Тип ґрунту	Щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs , кБк/м ²	Питома активність ґрунту ^{137}Cs , Бк/кг
Чорнозем	95 ± 19	370 ± 79
Дерново-підзолистий	850 ± 178	2648 ± 586
Торф'яно-болотний	37 ± 9	160 ± 34

На чорноземі і дерново-підзолистому ґрунтах кожний варіант досліджувався на ділянках розміром $2 \times 1,5$ м у трьох повторностях. На торфовому ґрунті розмір ділянки був 1×1 м у трьох повторностях. Відповідно площа елементарних облікових ділянок становила від 3 до 1 м^2 , загальна площа по варіантах – від 9 до 3 м^2 . Контролем для сільськогосподарських культур були ділянки із традиційною (рекомендованою для даної культури та агрокліматичної зони) сис-

темою добрив. У контрольних варіантах використовувалися рекомендовані дози внесення мінеральних добрив [2], у дослідних варіантах дози збільшені у 1,2 - 1,5 по кожному з поживних елементів.

На кожному стаціонарі вносили декілька варіантів доз добрив, розрахованих відповідно до фізіологічних потреб кожного виду рослин та з урахуванням агрохімічних показників ґрунту (табл. 2).

Таблиця 2 Агрохімічні властивості ґрунтів на дослідних ділянках

Показник	Тип ґрунту		
	дерново-підзолистий	чорнозем	торф
Кислотність:			
обмінна ($\text{pH}_{\text{КСІ}}$)	$5,6 \pm 0,14$	$5,9 \pm 0,14$	$4,7 \pm 0,14$
гідролітична (H_2), мг-екв (100 г ґрунту)	$1,53 \pm 0,04$	$1,48 \pm 0,03$	$52,2 \pm 0,85$
Рухомі фосфати, мг/кг ґрунту (за Кірсановим)	$100 \pm 5,7$	$193 \pm 3,54$	$460 \pm 7,07$
Обмінний калій, мг/кг ґрунту (за Кірсановим)	112 ± 5	$110 \pm 2,83$	$145 \pm 7,07$
Гумус, %	$2,07 \pm 0,1$	$6,67 \pm 0,08$	$86 \pm 1,41$
Обмінний кальцій, мг-екв/100 г ґрунту	$3,6 \pm 0,7$	$11,9 \pm 0,14$	$18,3 \pm 0,07$
Сума ввібраних основ, мг-екв/100 г ґрунту	$7,5 \pm 0,1$	$34,0 \pm 0,71$	$69,3 \pm 0,71$
Ємність поглинання, мг-екв/100 г ґрунту	$9,06 \pm 0,2$	$36,5 \pm 1,41$	-

На обраній для проведення дослідження території одночасно відбиралися спряжені зразки ґрунту та рослинності згідно із загальноприйнятими методиками [3, 4, 5]. Відбір зразків ґрунту для визначення агрохімічних властивостей та вмісту ^{137}Cs здійснювали з кожної ділянки.

Зразки ґрунту відбирали циліндричним пробовідбірником (буром) діаметром 3,7 см з висотою робочої частини 30 см на глибину орного шару методом конверта. Вміст ^{137}Cs у зразках ґрунту та рослин визначали γ -спектрометричним методом на γ -спектрометричній установці з напівпровідниковим детектором типу GEM-30185, Ge(Li), GMX серії ("EG&G ORTEC") з багатоканальним аналізатором (ADCAM-300, USA, IN-1200, France) у посудинах Марінеллі об'ємом 1000 см^3 та посудинах Дента об'ємом 100 см^3 .

Радіологічна ефективність довготривалого застосування мінеральних добрив на діаграмах представлена у вигляді відносних одиниць. Відносні одиниці обчислювали як співвідношення середньої питомої активності зеленої маси рослин дослідних ділянок до середньої питомої активності рослин контрольних ділянок.

Результати досліджень

Дослідження впливу різних співвідношень мінеральних добрив у зелену масу вівса на торфовому ґрунті показав, що протягом трьох років спостережень на усіх варіантах дослідних діля-

нок відмічали зниження питомої активності ^{137}Cs у зеленій масі вівса на 20 - 40 % відносно значень даного показника на контрольних ділянках. Жоден із варіантів внесення добрив не має переваги перед іншим у плані радіологічної ефективності. Але використання вказаних співвідношень мінеральних добрив призводить до стабільного зменшення надходження ^{137}Cs в рослини і підвищує урожайність даної культури (рис. 1).

За п'ять років спостережень за переходом ^{137}Cs в зелену масу вівса на дерново-підзолистому ґрунті відзначено різну радіологічну ефективність мінеральних добрив. По ступеню радіологічної ефективності застосування вказаних добрив можна виділити таку закономірність. Найменше зниження питомої активності ^{137}Cs спостерігалось при використанні дози внесення $\text{N}_{110}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ – 10 - 30 % від значень питомої активності на контрольних ділянках (рис. 2). Тобто збільшення частки азоту у складі комплексу мінеральних добрив призводить до нівелювання позитивної радіологічної ефективності застосування калію.

Застосування мінеральних добрив у традиційному, для даних умов, співвідношенні ($\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$) призводила до зменшення питомої активності ^{137}Cs в зеленій масі вівса у два-три рази відносно показника на контрольних ділянках на третій і четвертий рік спостережень. Три інші роки спостережень показують зниження питомої активності ^{137}Cs лише на 20 %.

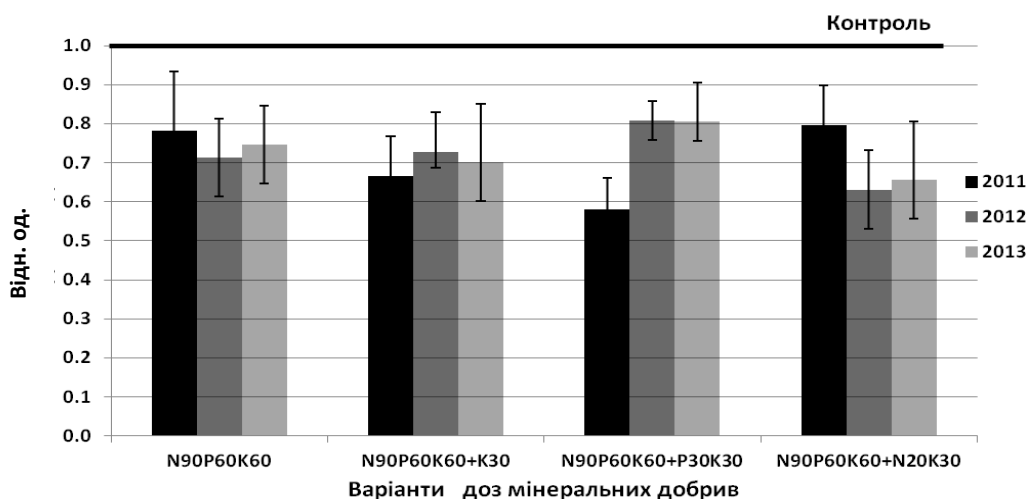


Рис. 1. Вплив різних доз мінеральних добрив на надходження ¹³⁷Cs в зелену масу вівса на торфовому ґрунті.

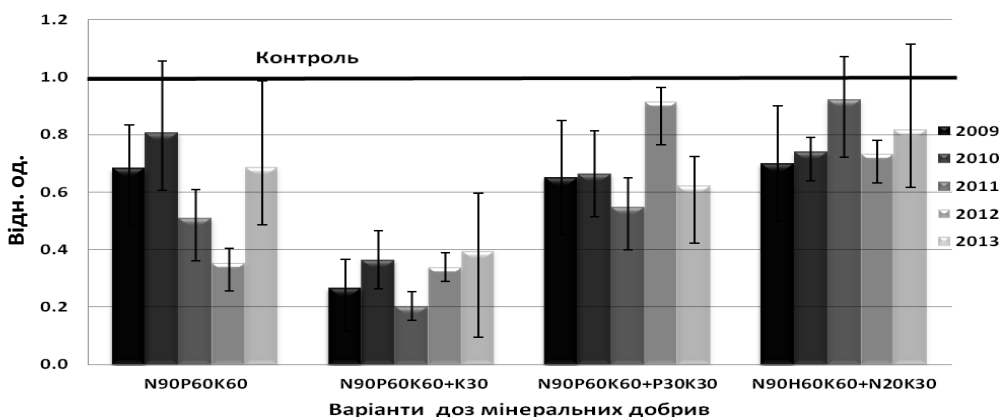


Рис. 2. Вплив різних доз мінеральних добрив на надходження ¹³⁷Cs в зелену масу вівса на дерново-підзолистому ґрунті.

Використання співвідношень діючих речовин $N_{90}P_{90}K_{90}$ призводить до зниження забруднення зеленої маси ¹³⁷Cs в межах 10 - 35 %. Тобто додавання до загальноприйнятого співвідношення фосфору також призводить до зниження ефективності додаткового внесення калію.

Найбільшу радіологічну ефективність спостерігали при застосуванні доз добрив у такому співвідношенні - $N_{90}P_{60}K_{90}$. У даному випадку питома активність ¹³⁷Cs в рослинах знижувалася в 2,5 - 4 рази відносно значень на контрольних ділянках, причому ефект спостерігається протягом усіх п'яти років експериментальних досліджень. Таким чином, додаткове внесення калію в дозах загальноприйнятих співвідношень мінеральних складових підтверджує встановлену ефективність і у віддалений період після радіоактивного забруднення дерново-підзолистого ґрунту.

За п'ять років спостережень за радіологічною ефективністю різних співвідношень мінеральних добрив на чорноземному ґрунті встановлено, що застосування всіх указаних варіантів співвідношень мінеральних добрив суттєво не впливає на перехід радіоактивного цезію з типового чорно-

земного ґрунту в зелену масу вівса. Тобто у віддалений період після радіоактивного забруднення ґрунту застосування мінеральних добрив як спеціальний захід з метою зниження рівнів радіоактивного забруднення сільськогосподарської продукції не є ефективним (рис. 3). Хоча слід відзначити, що внесення протягом п'яти років мінеральних добрив у співвідношенні $N_{90}P_{60}K_{60}$ призводить уже на третій рік до позитивної тенденції зниження питомої активності в зеленій масі вівса, причому врожайність зеленої маси вівса зростає на 50 %.

За три роки спостережень за зміною рівнів забруднення радіоактивного цезію в зелену масу люпину при щорічному внесенні різних доз мінеральних добрив у різних співвідношеннях діючих речовин на торфовому ґрунті відзначено суттєве зниження питомої активності ¹³⁷Cs в середньому приблизно у два рази (коливання від 1,4 до 3 разів відносно контролю) при використанні всіх чотирьох варіантів внесення мінеральних добрив. При цьому виділити більш ефективні варіанти співвідношень мінеральні добрива з точки зору радіологічної ефективності практично неможливо.

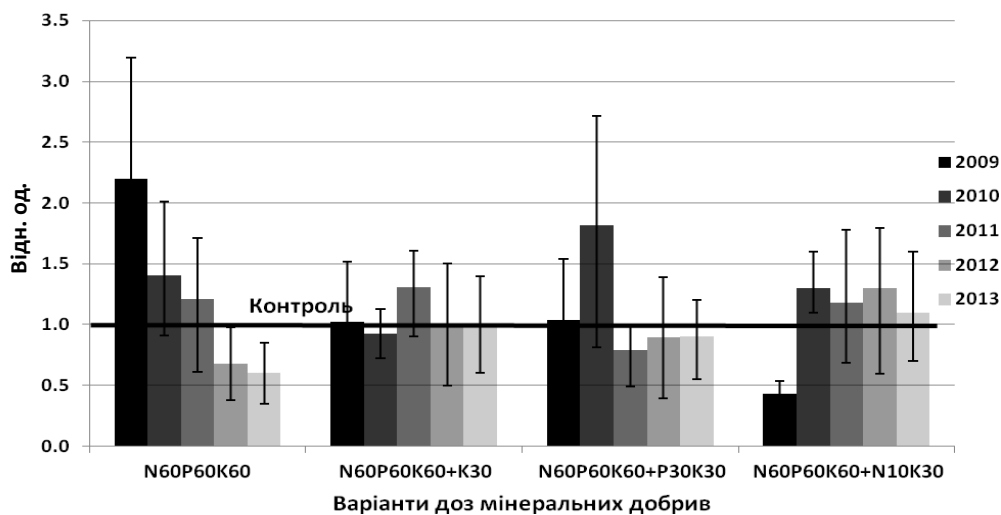


Рис. 3. Вплив різних доз мінеральних добрив на надходження ^{137}Cs в зелену масу вівса на чорноземі.

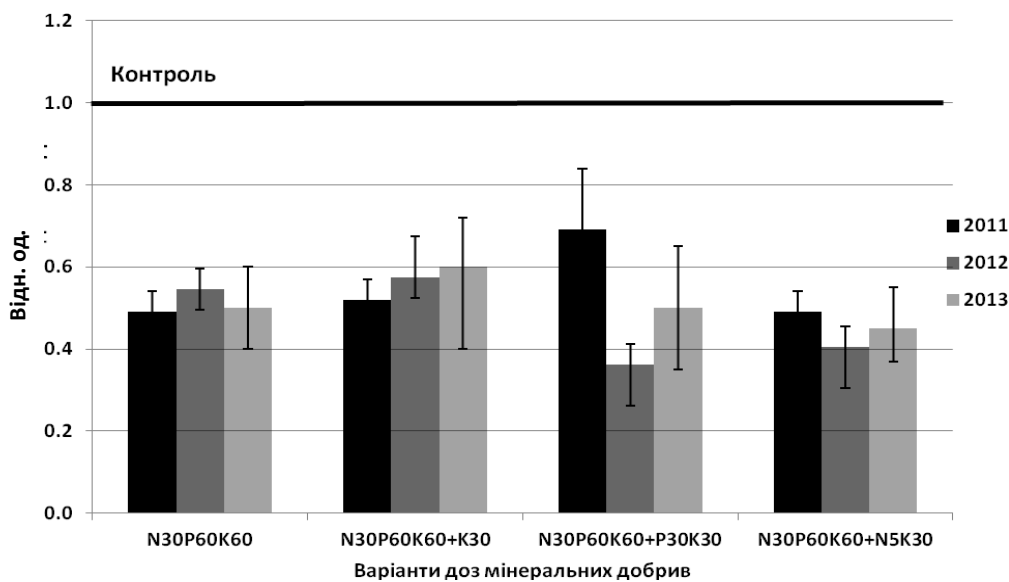


Рис. 4. Вплив різних доз мінеральних добрив на надходження ^{137}Cs в зелену масу люпину на торфовому ґрунті.

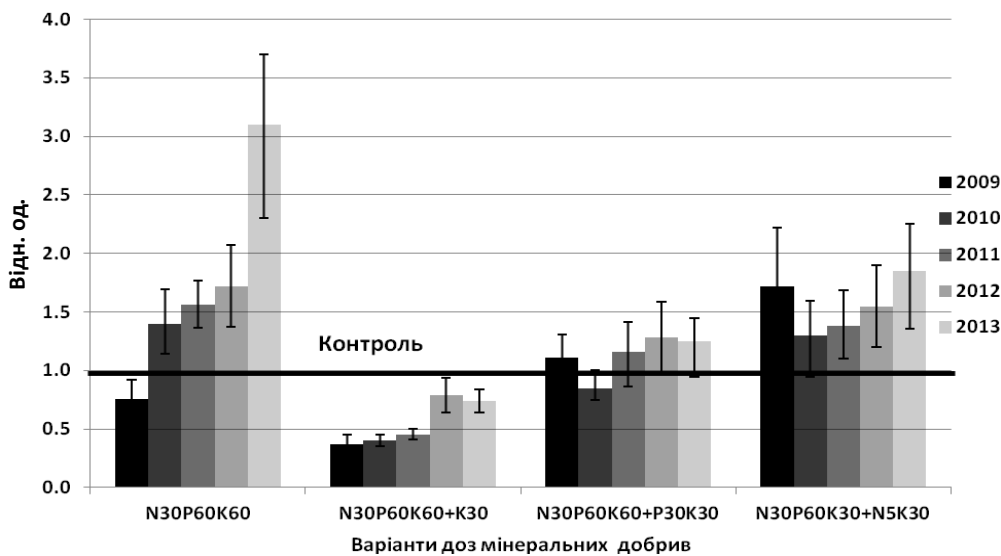


Рис. 5. Вплив різних доз мінеральних добрив на надходження ^{137}Cs в зелену масу люпину на дерново-підзолистому ґрунті.

Перевищення показників радіоактивного забруднення зеленої маси люпину на контрольних ділянках не спостерігалось у жодному з варіантів за всі роки спостереження (рис. 4). Слід відзначити, що використання добрив приводить до підвищення врожайності даної культури в середньому не менше, ніж у два рази.

Результати п'ятирічних досліджень впливу різних доз мінеральних добрив на рівні забруднення зеленої маси люпину на дерново-підзолистому ґрунті представлено на рис. 5.

При внесенні добрив у співвідношенні $N_{30}P_{60}K_{60}$ та $N_{35}P_{60}K_{90}$ рівень забруднення зеленої маси люпину ^{137}Cs зростає у 1,3 - 3,1 рази відносно даного показника на контрольних ділянках, при цьому врожайність культури зростає у три рази. Застосування добрив у співвідношенні $N_{30}P_{90}K_{90}$ призводить до збільшення врожайності, але питома активність зеленої маси люпину достовірно не відрізняється від показника на контрольних ділянках.

Збільшення долі калію в дозах мінеральних добрив до співвідношення між азотом і калієм як 1 : 3 призводить до зниження питомої активності ^{137}Cs в зеленій масі люпину у два рази (за виключенням 2012 - 2013 рр., коли радіоактивність трави була близько 70 % від контролю). Із результатів, представлених на рис. 5, видно, що в перший рік після внесення добрив спостерігалось зменшення надходження радіонукліда ^{137}Cs в зелену масу від 1,25 до 2,5 рази, але вже в наступних роках радіоактивність трави зростає з перевищенням її на контрольних ділянках до 50 %. Застосування вказаних доз мінеральних добрив призводить до збільшення приросту вегетативної маси (урожаю) до двох-трьох разів.

При тривалому внесенні мінеральних добрив на чорноземі у різних співвідношеннях за п'ять років спостережень не виявили чіткої закономірності щодо зменшення активності ^{137}Cs в зеленій масі люпину (рис. 6).

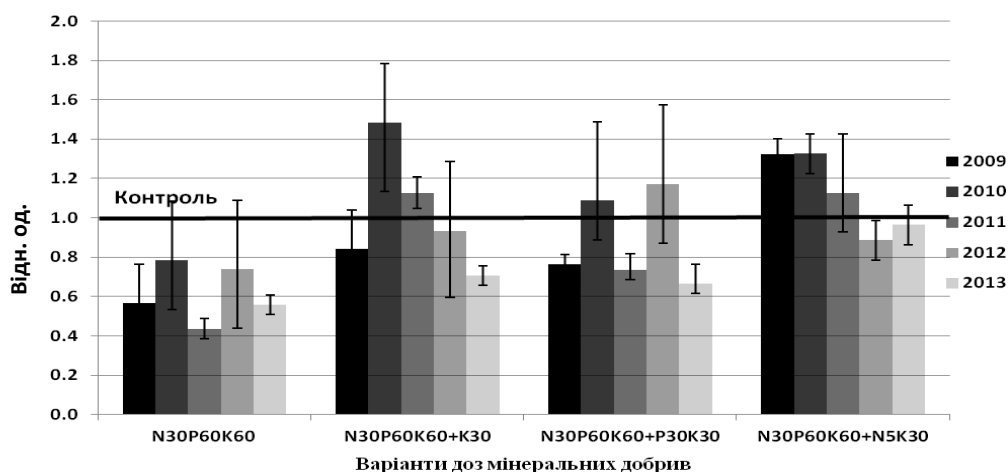


Рис. 6. Вплив різних доз мінеральних добрив на надходження ^{137}Cs в зелену масу люпину на чорноземі ґрунті.

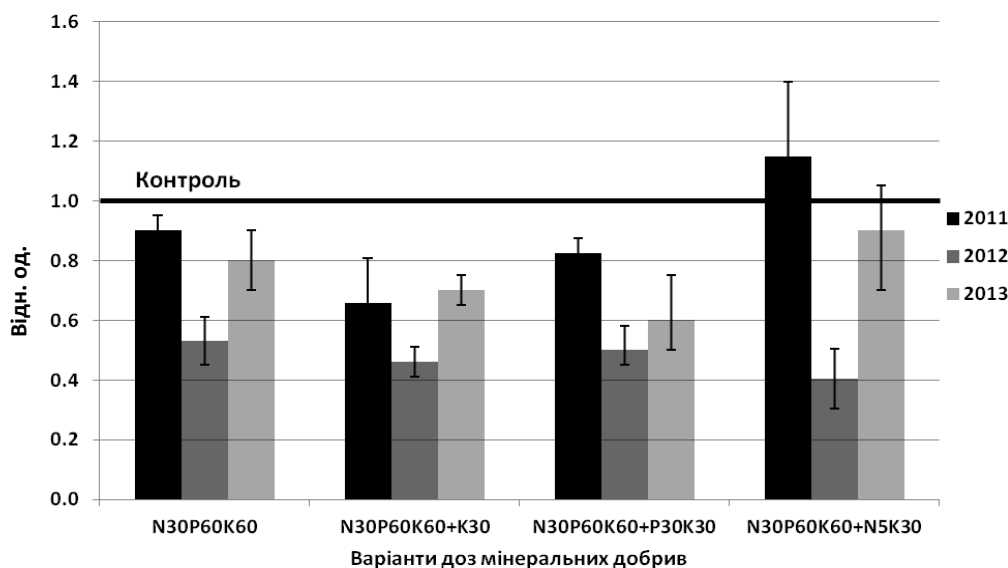


Рис. 7. Вплив різних доз мінеральних добрив на надходження ^{137}Cs в зелену масу гороху на торфовому ґрунті.

Дія різних доз внесених добрив на торфово-болотному ґрунті не призводить до однозначного результату. При використанні такої дози, як $N_{35}P_{60}K_{90}$, зменшення надходження радіонукліда ^{137}Cs в зелену масу гороху спостерігалось тільки в 2012 р., залишаючись на рівні контрольних ділянок в інші роки спостережень. Так, у 2011 р. перевищення контролю становило 20 % (рис. 7).

Використання інших доз призводить до зниження питомої активності вказаного забруднювача від 10 до 50 %, становлячи в середньому близько 30 %.

На дію різних доз мінеральних добрив при внесенні їх під горох суттєво впливають погодні умови, чого не відзначається для інших культур.

На дерново-підзолистому ґрунті за п'ять років спостережень відзначено в цілому позитивну динаміку зменшення надходження забруднювача в рослини. За виключенням внесених доз добрив $N_{35}P_{60}K_{90}$, де спостерігається (в абсолютних величинах) незначне зменшення до 35 % у перші роки внесення, а в наступні – збільшення до 20 %, останні три комплекси добрив демонструють стабільне та суттєве зниження питомої активності ^{137}Cs в зеленій масі гороху (рис. 8).

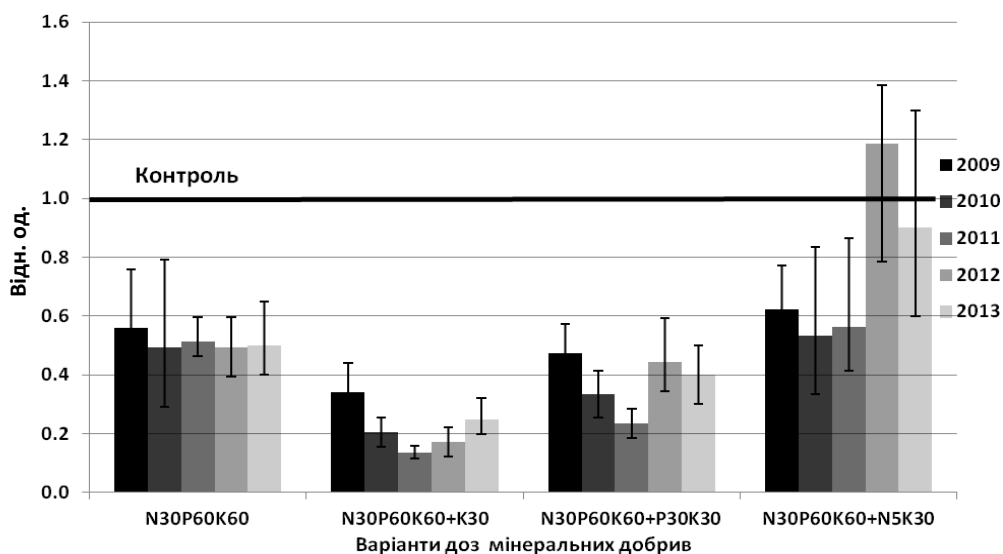


Рис. 8. Вплив різних доз мінеральних добрив на надходження ^{137}Cs в зелену масу гороху на дерново-підзолистому ґрунті.

Внесення доз добрив $N_{30}P_{60}K_{60}$ сприяє зменшенню забруднення зеленої маси гороху майже в два рази, а використання $N_{30}P_{90}K_{90}$ - у 2,5 рази.

Найефективнішим виявився варіант $N_{30}P_{60}K_{90}$.

При його застосуванні вміст ^{137}Cs в рослинах стабільно знижувався в 3 - 5 разів, причому ефект спостерігається протягом усіх років експериментальних робіт.

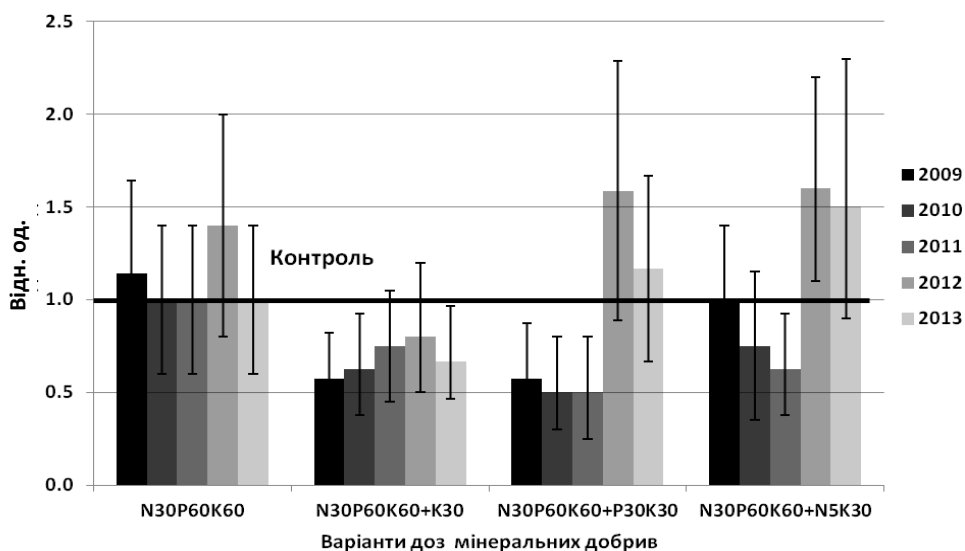


Рис. 9. Вплив різних доз мінеральних добрив на надходження ^{137}Cs в зелену масу гороху на чорноземі.

За п'ять років спостережень на чорноземі радіологічна ефективність використаних добрив у трьох із чотирьох варіантів практично ніяк не вплинула на зменшення надходження ^{137}Cs в рослини. Навпаки, в окремі роки питома активність радіонукліда зростала в 1,6 рази, в інші – залишалась на контрольному рівні або його перевищувала (рис. 9).

За три роки спостережень за впливом різних доз мінеральних добрив на інтенсивність надходження радіоактивного цезію в багаторічні трави

на торфовому ґрунті відзначено зниження питомої активності ^{137}Cs в зеленій масі трав відносно контролю від 15 % у перший рік, до трьох разів у другий та третій рік експерименту. Перший рік внесення показав найменший вплив добрив (можливо, умови року не сприяли швидкому проникненню добрив у кореневий шар рослин), зате в наступні роки відзначено суттєве зменшення накопичення радіонукліда рослинами: від 2 до 3 разів відносно контролю (рис. 10).

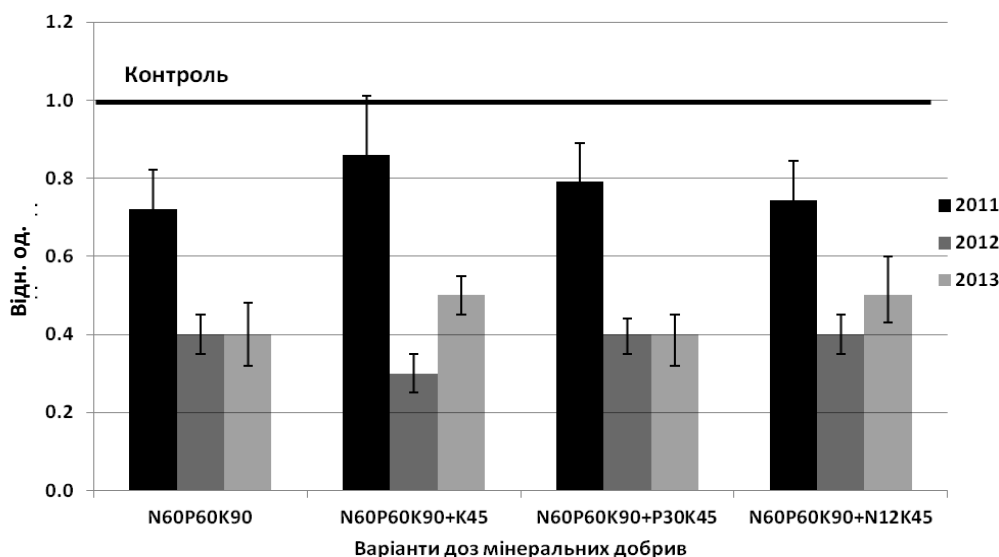


Рис. 10. Вплив різних доз мінеральних добрив на надходження ^{137}Cs в зелену масу багаторічних трав на торфовому ґрунті.

Виділити найбільш ефективні добрива не має підстав, оскільки всі вони певною мірою сприяють стабільному й постійному зниженню надходження радіонукліда ^{137}Cs в зелену масу багаторічних трав на ряду з підвищенням їхньої урожайності мінімум у два рази.

На дерново-підзолистому ґрунті за п'ять років спостережень відзначено стабільну позитивну динаміку зменшення надходження забруднювача в рослини. Рівень забруднення зеленої маси рослин зменшився від 1,4 до 5 разів, становлячи в середньому майже триразове зменшення відносно показників контрольних ділянок (рис. 11).

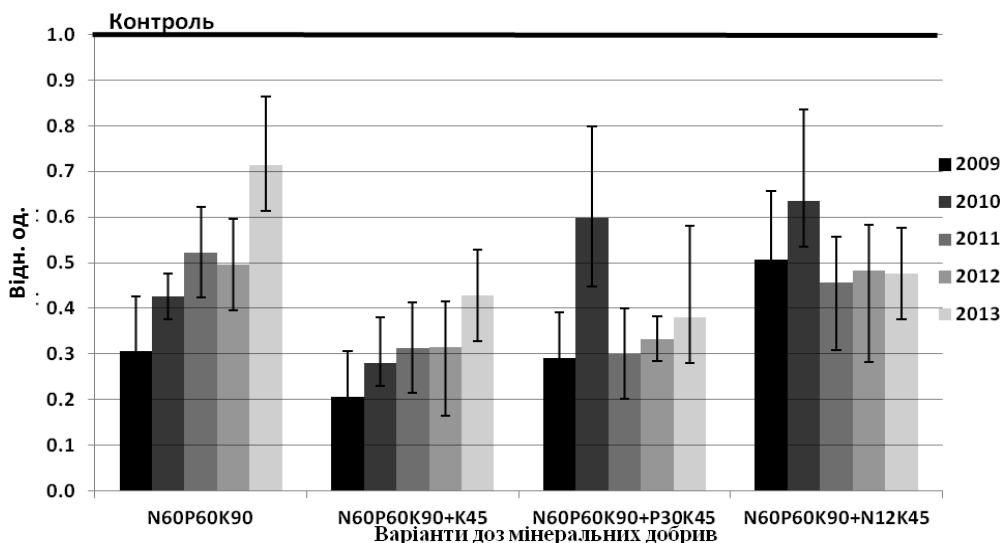


Рис. 11. Вплив різних доз мінеральних добрив на надходження ^{137}Cs в зелену масу багаторічних трав на дерново-підзолистому ґрунті.

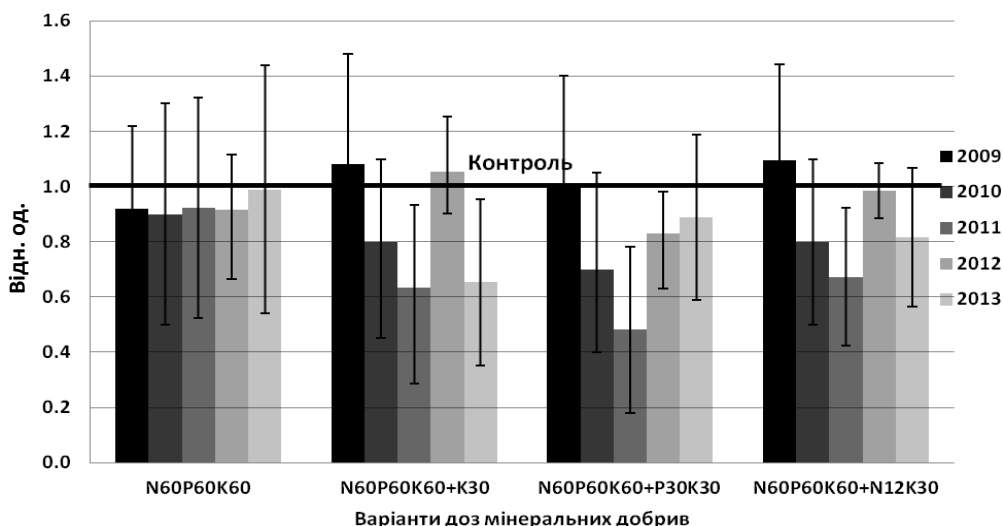


Рис. 12. Вплив різних доз мінеральних добрив на надходження ¹³⁷Cs в зелену масу багаторічних трав на чорноземі.

Усі використані співвідношення основних складових доз NPK добрив знижують питому активність радіонукліда ¹³⁷Cs в рослинах протягом усіх років їхнього застосування до трьох разів, при цьому врожайність збільшується від 2 до 3 разів.

На чорноземному ґрунті за п'ять років спостережень за впливом різних доз мінеральних добрив не відзначено достовірного зниження забруднення зеленої маси багаторічних трав ¹³⁷Cs (рис. 12).

Результати, представлені на рис. 12, показують, що дози мінеральних добрив, які були використані в досліді, не можуть бути представлені як ефективні протирадіаційні заходи на чорноземі у віддалений період після аварії на ЧАЕС.

Висновки

У віддалений період після аварії на ЧАЕС на сільськогосподарських угіддях застосування мінеральних добрив, як складової частини компле-

ксу протирадіаційних заходів, залишається достовірно ефективною мірою лише на дерново-підзолистих і торфових ґрунтах.

На чорноземному ґрунті у віддалений період після аварії застосування мінеральних добрив не призводить до ефективного зниження радіоактивного забруднення сільськогосподарських культур.

Експериментальними дослідженнями підтверджено, що в комплексі NPK ведуча роль при зниженні надходження ¹³⁷Cs в рослини належить калію. Внесення додаткових кількостей калію призводить до динамічного зменшення рівнів забруднення рослинності ¹³⁷Cs. При постійному тривалому (протягом 3 - 5 років) його внесенні ефективність збільшується.

Радіологічна ефективність застосування мінеральних добрив практично в усіх варіантах залежить від співвідношення N і K. Чим вища доза калію, тим кращий ефект. Але при достатньо високому вмісті азоту (наприклад, ⁶⁰N чи ⁹⁰N) ефект від внесення калію зменшується.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Надточій П.П., Вольвач Ф.В., Геращенко В.Г. Екологія ґрунту та його забруднення. - К.: Наук. думка, 1997. - 246 с.
2. Лісовал А.П., Макаренко В.М., Кравченко С.М. Система застосування добрив. - К.: Вища шк., 2002. - 317 с.
3. Методичний посібник з організації проведення науково-дослідних робіт в галузі сільськогосподарської радіології. - К.: УкрНДІСГР, 1992. - 136 с.
4. Довідник для радіологічних служб Мінсільгоспроду України. - К., 1997. - 176 с.
5. Ведення сільськогосподарського виробництва на територіях, забруднених внаслідок Чорнобильської катастрофи, у віддалений період // Методичні рекомендації / За заг. ред. акад. УААН Б. С. Прістера - К.: Атіка-Н, 2007. - 196 с.

О. В. Косарчук, Н. М. Лазарев, А. М. Кадыгриб

*Украинский НИИ сельскохозяйственной радиологии
Национального университета биоресурсов и природопользования Украины, Киев*

**ДИНАМИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ КОНТРМЕР
НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ
В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС**

По результатам трех-пятилетних исследований приведены усредненные данные динамики радиологической эффективности долговременного применения минеральных удобрений в отдаленный период после аварии на ЧАЭС. Показано влияние минеральных удобрений, которые вносили под сельскохозяйственные культуры в разных дозах, на интенсивность поступления ^{137}Cs в урожай на радиоактивно загрязненной территории Украины в разных климатических условиях.

Ключевые слова: ^{137}Cs , коэффициент накопления, радиоактивно загрязненные земли, сельскохозяйственные культуры.

O. V. Kosarchuk, M. M. Lazarev, O. M. Kadygrib

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

**DYNAMICS EFFECTIVENESS OF LONG DURATION APPLICATION
OF COUNTERMEASURES ON THE RADIOACTIVE TERRITORIES IN THE REMOTE PERIOD
AFTER CHERNOBYL CATASTROPHE**

Averaged assessments of radiological effectiveness dynamics of mineral fertilizers of long-term application at the late phase of ChNPP accident have been carried out on the base of 3-5-years experiments. The influence of mineral fertilizers, used in different doses for agricultural plants, has been shown for intensity of ^{137}Cs accumulation by plants on various soil-climatic conditions of radioactively contaminated territory of the Ukraine.

Keywords: ^{137}Cs , coefficient of accumulation, radioactively contaminated land, agricultural plants.

REFERENCES

1. *Nadtochii P.P., Volvach F.V., Gerashchenko V.G.* Soil ecology and its pollution. - Kyiv: Nauk. dumka, 1997. - 246 p. (Ukr)
2. *Lisoval A.P., Makarenko V.M., Kravchenko S.M.* The system of fertilizer application. - Kyiv: Vyshcha shkola, 2002. - 317 p. (Ukr)
3. *Methodological manual on the organization of scientific research in the field of agricultural radiology.* - Kyiv: UkrNDISGR, 1992. - 136 p. (Ukr)
4. *Handbook for radiological services of the Ministry of Agriculture of Ukraine.* - Kyiv, 1997. - 176 p. (Ukr)
5. *Agricultural production in areas contaminated by the Chernobyl accident in remote period // Guidelines / Ed. by B. S. Prister.* - Kyiv: Atika-N, 2007. - 196 p. (Ukr)

Надійшла 14.05.2014
Received 14.05.2014