

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «ІНСТИТУТ ОХОРОНИ ҐРУНТІВ УКРАЇНИ»

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ АГРОЕКОЛОГІЇ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ НААН

ОПТИМІЗАЦІЯ НОРМ МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ КУЛЬТУР ЗЕРНО-ПРОСАПНОЇ СІВОЗМІНИ В УМОВАХ РАДІАЦІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗОНИ ПОЛІССЯ

Науково-практичні рекомендації



2022

УДК 633.15:631.559

Паламарчук Р. П., Безноско І. В., Городиська І. М.

Оптимізація норм мінерального удобрення культур зерно-просапної сівозміни в умовах радіаційного навантаження зони Полісся : науково-практичні рекомендації. — Київ, 2022. — 45 с.

Узагальнено результати польових досліджень, проведених на дерново-підзолистих ґрунтах, забруднених радіонуклідами. Подано теоретичні та практичні засади оптимізації норм мінерального удобрення під культури 5-пільної зерно-просапної сівозміни, спрямовані на підвищення родючості ґрунтів, урожайності культур і якості продукції рослинництва за умов радіоактивного забруднення. Обґрунтовано екологічно безпечні дози та співвідношення елементів живлення, що забезпечують зниження вмісту ^{137}Cs і ^{90}Sr у ґрунті та врожаї, стабілізують гумусний стан і поліпшують агроекологічні властивості орного шару.

Призначено для керівників і фахівців галузі сільського господарства, науковців, викладачів вузів, аспірантів та студентів.

Укладачі:

ПАЛАМАРЧУК Р. П., БЕЗНОСКО І. В., доктор біологічних наук, старший дослідник, **ГОРОДИСЬКА І. М.** кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник

Рецензенти:

А. М. Ліщук — доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник лабораторії біоконтролю агроєкосистем і органічного виробництва відділу агробіоресурсів і екологічно безпечних технологій Інституту агроєкології і природокористування НААН»

Я. С. Цимбал — кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник ННЦ «Інститут землеробства НААН»

Рекомендовано до друку

Науково-технічною радою ДУ «Держзрунтохорона»

(протокол № 1 від 26 січня 2022 р.)

та

Вченою радою Інституту агроєкології і природокористування НААН

(протокол № 1 від 14 лютого 2022 р.)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО МІНІМІЗАЦІЇ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ В УМОВАХ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ.....	6
2 ВПЛИВ РІЗНИХ НОРМ УДОБРЕННЯ КУЛЬТУР ЗЕРНО-ПРОСАПНОЇ СІВОЗМІНИ НА АГРОХІМІЧНІ Й ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ГРУНТУ ТА ЙОГО АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН	11
2.1 Вплив норм удобрення на агрохімічні та фізико-хімічні показники ґрунту.....	11
2.2 Вплив норм удобрення на агроекологічний стан ґрунту.....	16
2.3 Уміст важких металів у ґрунті залежно від норм удобрення.....	20
3 ВПЛИВ РІЗНИХ НОРМ УДОБРЕННЯ НА УРОЖАЙНІСТЬ КУЛЬТУР ЗЕРНО-ПРОСАПНОЇ СІВОЗМІНИ ТА ЯКІСТЬ ОТРИМАНОЇ ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА.....	22
3.1 Урожайність сільськогосподарських культур зерно-просапної сівозміни залежно від норм удобрення.....	22
3.2 Якість продукції культур зерно-просапної сівозміни залежно від норм удобрення.....	23
3.3 Вплив норм добрив під культури зерно-просапної сівозміни на вміст важких металів і радіонуклідів в основній продукції.....	28
4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РІЗНИХ НОРМ УДОБРЕННЯ КУЛЬТУР ЗЕРНО-ПРОСАПНОЇ СІВОЗМІНИ.....	35
5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ НОРМ УДОБРЕННЯ КУЛЬТУР ЗЕРНО-ПРОСАПНОЇ СІВОЗМІНИ В УМОВАХ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ.....	39
ВИСНОВКИ.....	42
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	43

ВСТУП

У сучасних умовах посилення екологічних ризиків і техногенного навантаження особливої актуальності набуває проблема мінімізації впливу забруднювачів на агроєкосистеми та забезпечення екологічної безпеки виробництва продукції рослинництва. Відновлення і підвищення родючості деградованих ґрунтів, а також виробництво якісної, екологічно безпечної продукції в умовах радіаційного забруднення є одним із пріоритетних завдань сучасного землеробства [1, 2].

Основою збалансованого та раціонального використання земельних ресурсів України є збереження, і розширене відтворення родючості ґрунтів, поліпшення їх агрохімічних, агрофізичних і агроєкологічних властивостей. Одним із ключових чинників цього процесу є застосування науково обґрунтованих систем удобрення з оптимальними нормами органічних і мінеральних добрив у сівозмінах. За їх відсутності формується від'ємний баланс елементів живлення, що призводить до поступового виснаження ґрунтів, зниження вмісту гумусу та погіршення структури орного шару [3, 4].

Дотримання науково обґрунтованої структури сівозмін та застосування раціональної системи удобрення сприяє збереженню родючості ґрунтів, поліпшенню поживного режиму, стабілізації гумусного стану, підвищенню продуктивності культур і якості продукції.

Доведено достовірний кореляційний зв'язок між кількістю внесених добрив, умістом рухомих форм елементів живлення в ґрунті та врожайністю культур. Застосування мінеральних добрив сприяє поліпшенню агроєкологічного стану ґрунтів, зменшенню рухомості токсикантів і радіонуклідів, що також знижує їх надходження в рослинну продукцію, підвищуючи її екологічну безпечність [5—7].

За останні десятиліття родючість ґрунтів і їхній агроєкологічний стан істотно погіршилися через розвиток деградаційних процесів. Найнебезпечнішими є дегуміфікація, підкислення, зниження вмісту поживних речовин, забруднення важкими металами та радіонуклідами, що призводить до втрати екологічної стійкості агроландшафтів. Особливу загрозу становить підвищене накопичення радіонуклідів у рослинній продукції, що найбільш інтенсивно відбувається на дерново-підзолистих ґрунтах Полісся через їх високу кислотність і низьку ємність поглинання.

Знаковим є те, що найбільше накопичення радіонуклідів у рослинній масі спостерігається саме на дерново-підзолистих ґрунтах, тоді як на чорноземах цей показник значно нижчий. Застосування різних норм мінерального удобрення має

неоднаковий вплив на рівень забруднення ґрунтів і продукції сільськогосподарських культур на забруднених територіях зони Полісся.

Практична значущість дослідження полягає у формуванні науково-практичних рекомендацій щодо оптимізації норм мінерального удобрення культур короткоротаційної зерно-просапної сівозміни в умовах радіаційного навантаження. Ці рекомендації призначені для агроформувань, розташованих у зоні підвищеного радіоактивного забруднення, і спрямовані на підвищення продуктивності культур, поліпшення якості продукції, стабілізацію гумусного стану та зниження рівня накопичення політантів у ґрунті й рослинній масі.

1 СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО МІНІМІЗАЦІЇ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ В УМОВАХ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Аварія на Чорнобильській АЕС 26 квітня 1986 року стала однією з наймасштабніших техногенних катастроф в історії людства. Викид радіоактивних речовин призвів до забруднення понад 145 тис. км² території України та сусідніх держав, де щільність забруднення радіонуклідами ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr перевищувала 37 кБк/м² [8].

Наслідки аварії мали значний вплив на різні сфери життя. В агропромисловому секторі спостерігалось значне зниження продуктивності сільськогосподарських культур через радіоактивне забруднення ґрунтів та водних ресурсів. Радіонукліди, зокрема ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr, потрапляли в харчові ланцюги, що призводило до забруднення продукції рослинного та тваринного походження.

Радіоактивне забруднення довкілля є однією з найважливіших екологічних проблем сучасності, оскільки негативно впливає на здоров'я населення та стабільність екосистем. Особливо небезпечними є радіоізотопи ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr з тривалим періодом напіврозпаду, які здатні накопичуватися у живих організмах і входити у харчові ланцюги. Вони можуть потрапляти в людський організм через продукти харчування, воду та повітря. Тому питання радіаційної безпеки населення у забруднених районах залишається надзвичайно актуальним [1].

Також однією з найсерйозніших екологічних проблем сучасного землеробства є накопичення важких металів (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni та ін.) у ґрунтах сільськогосподарських угідь. Джерелами їхнього надходження є як промислові викиди, транспорт, так і сільське господарство — надмірне застосування мінеральних добрив, пестицидів та органічних відходів. Унаслідок цього відбувається трансформація фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунтів, зниження їх родючості та погіршення якості врожаю.

Особливу небезпеку становить здатність важких металів до біоаккумуляції у тканинах рослинних організмів, що створює загрозу не лише для сільськогосподарських культур, а й для здоров'я людини через потрапляння токсикантів у харчові ланцюги. Дослідження свідчать, що навіть у регіонах без розвиненої промисловості концентрації окремих металів у ґрунті можуть перевищувати гранично допустимі значення.

Отже, раціональне ведення землеробства на таких територіях потребує впровадження сучасних агроекологічних і технологічних рішень, спрямованих на мінімізацію антропогенного навантаження та забезпечення виробництва екологічно безпечної продукції. У сучасній системі землеробства пріоритетними є

підходи, що поєднують принципи радіоекологічного захисту, збалансованого живлення рослин і збереження ґрунтової родючості. Важливе значення має використання адаптивних систем удобрення, які не лише підвищують продуктивність культур, але й обмежують міграцію радіонуклідів та важких металів, зокрема ^{137}Cs , ^{90}Sr , Pb , Cd , у ґрунтово-рослинному ланцюгу.

Мінімізація антропогенного впливу передбачає оптимізацію доз і форм мінеральних добрив, вапнування кислих ґрунтів, раціональне чергування культур у сівозміні, застосування органо-мінеральних систем удобрення, а також впровадження біотехнологічних засобів для підвищення біологічної стійкості агроєкосистем. Сукупне застосування цих заходів забезпечує зниження рівня техногенного і радіаційного навантаження, поліпшення якості продукції та формування екологічно стійких систем землекористування на Поліссі України.

Одним із головних напрямів зниження антропогенного навантаження на агроєкосистеми в зоні радіаційного забруднення є формування адаптивних технологій вирощування культур, спрямованих на регулювання міграції полютантів у системі «ґрунт — рослина». Основними чинниками, що визначають рівень накопичення токсикантів і радіонуклідів у продукції, є кислотність ґрунту, вміст органічної речовини, гранулометричний склад, а також кількість і співвідношення елементів живлення.

На дерново-підзолистих ґрунтах Полісся, де рН переважно 4,8—5,3, радіонукліди перебувають у рухомій формі, що зумовлює їхнє активне поглинання рослинами. Вапнування ґрунту до слабокислої або нейтральної реакції (рН 6,0—6,5) зменшує надходження ^{137}Cs і ^{90}Sr у 1,5—2 рази, одночасно знижуючи рухомість Pb і Cd . Для підтримання оптимального рівня кислотності рекомендується періодичне внесення вапнякових матеріалів (1,5—2,5 т/га CaCO_3 раз на 5—6 років) у поєднанні з органічними добривами.

Інтенсивність міграції важких металів у ґрунтах значною мірою залежить від рівня внесення мінеральних і органічних добрив. Надмірне або недостатнє удобрення здатне змінювати рН ґрунтового середовища, активізувати мікробіологічні процеси та трансформувати хімічні форми металів, що безпосередньо впливає на їхню біодоступність і засвоєння рослинами.

Органічна частина ґрунту відіграє ключову роль у зв'язуванні радіонуклідів і важких металів, утворюючи стабільні хелатні сполуки. Внесення 20—30 т/га гною або 10—15 т/га компосту під попередники забезпечує зниження надходження ^{137}Cs у продукцію на 12—18 %, а Pb і Cd — на 20—25 %. Органічна речовина також сприяє поліпшенню структури ґрунту та активізації мікробіологічних процесів, що стимулюють природну детоксикацію [9—11].

Підтримання збалансованого співвідношення елементів живлення є одним із найефективніших засобів мінімізації забруднення продукції полютантами.

Доведено, що внесення підвищених доз фосфору і калію зменшує поглинання ^{137}Cs і ^{90}Sr рослинами на 8—12 %.

Розміщення культур з різною здатністю до накопичення радіонуклідів є важливим засобом біологічного контролю забруднення. Культур, що обмежують надходження ^{137}Cs і ^{90}Sr , кукурудза та тритикале необхідно розташовувати після культур-аккумуляторів (овес, люпин), що забезпечить «самоочищення» ґрунту за ротацію сівозміни. Такий принцип дає змогу знизити середнє радіонуклідне навантаження на 1 га на 10—20 %.

Для зменшення негативного впливу важких металів на агросистеми необхідно впроваджувати комплексні заходи, спрямовані на зниження рівня забруднення ґрунтів. Серед таких заходів — вирощування сільськогосподарських культур, що здатні накопичувати важкі метали, застосування органічних добрив для поліпшення агрофізичної структури ґрунту та зменшення мобільності токсичних елементів, а також впровадження агротехнічних заходів, що сприяють збереженню та відновленню родючості ґрунтів [12].

Використання біопрепаратів на основі штамів *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas* сприяє мобілізації фосфору й калію, підвищенню доступності мікроелементів, а також стимулює синтез полімерних сполук, що фіксують радіонукліди. Доцільним є також застосування природних сорбентів (цеолітів, бентонітів, торфу, сапропелів) у нормі 1,0—2,5 т/га, які знижують рухомість ^{137}Cs і ^{90}Sr у ґрунті на 25—35 %.

Комплексне поєднання наведених чинників формує систему заходів, здатних забезпечити сталий рівень екологічної безпеки виробництва, поліпшення стану ґрунтового середовища та стабілізацію продуктивності культур навіть за умов тривалого радіаційного навантаження.

Система мінерального живлення культур у зоні радіоактивного забруднення має подвійне завдання: забезпечити високий рівень продуктивності рослин і водночас обмежити надходження радіонуклідів у врожай. Оптимізація доз і співвідношення елементів живлення є одним із найефективніших напрямів зниження радіоекологічного ризику, оскільки поживний режим ґрунту безпосередньо впливає на біологічну доступність політантів у системі «ґрунт — рослина».

Внесення мінеральних добрив сприяє стабілізації фізико-хімічних властивостей дерново-підзолистого ґрунту, підвищенню вмісту обмінних катіонів кальцію та магнію, зменшенню кислотності і рухомості радіонуклідів відповідно. Оптимальне співвідношення елементів живлення N:P:K (1:1:1) забезпечує підвищення урожайності культур сівозміни на 30—40 % і зниження концентрації ^{137}Cs у продукції на 8—12 %.

Особливо важливим є вплив фосфору й калію, які мають виражену радіопротекторну дію. Внесення підвищених доз цих елементів сприяє фіксації ^{137}Cs у ґрунті у важкодоступні форми, тоді як стронцій-90 у присутності кальцію утворює нерозчинні сполуки, що істотно знижує його біодоступність. Так, застосування подвійного суперфосфату (P_{60-90}) у поєднанні з калій хлористим (K_{60-90}) зменшує надходження ^{137}Cs у зерно вівса на 3—4 Бк/кг, а ^{90}Sr у зерно люпину — на 2—3 Бк/кг порівняно з контролем без добрив.

Згідно з дослідженнями В. П. Ландіна, Г. М. Чоботько та інших [13—14] одним із ефективних підходів до зменшення міграції радіонуклідів і важких металів у агроєкосистемах є впровадження меліоративних заходів, спрямованих на блокування переходу радіонуклідів з ґрунту в рослини. До таких заходів дослідники відносять вапнування кислих ґрунтів, що сприяє нейтралізації кислотності та поліпшенню фізико-хімічних властивостей ґрунту; застосування підвищених норм органічних, калійних і фосфорних добрив, що забезпечує оптимальне живлення рослин та зменшує коефіцієнт накопичення радіонуклідів і підтримання бездефіцитного балансу біогенних елементів в агроєкосистемах, що сприяє зниженню рівня накопичення ^{137}Cs і ^{90}Sr у генеративних органах польових культур. Такі заходи ефективно застосовуються в умовах Полісся, зокрема на бідних кислих ґрунтах, де вони сприяють зменшенню радіаційного навантаження на екосистему та підвищенню безпеки сільськогосподарської продукції.

Згідно з дослідженнями, проведеними в умовах Полісся на бідних кислих ґрунтах, застосування агрохімічних заходів сприяє значному зменшенню активності радіонуклідів у продукції рослинництва, а саме: вапнування кислих ґрунтів дозволяє знизити активність ^{137}Cs у 1,5—4 рази, а ^{90}Sr — у 1,5—2,5 рази; внесення калійних добрив сприяє зменшенню активності ^{137}Cs у 2—4 рази та ^{90}Sr — у 1,5—2 рази; внесення фосфорних добрив знижує активність ^{137}Cs у 1,5—2 рази, а ^{90}Sr — у 1,5—2,5 рази [14].

Ефективність мінерального живлення значною мірою залежить від форми добрив. Для зон із підвищеним рівнем радіаційного навантаження рекомендовано застосовувати:

- азотні добрива у формі аміачної селітри або карбаміду, що забезпечують поступове надходження азоту без різких змін рН ґрунту;
- фосфорні — подвійний суперфосфат або амофос, які утворюють у ґрунті нерозчинні сполуки з цезієм і стронцієм;
- калійні — калій хлористий або калімагнезію, що ефективно конкурують з ^{137}Cs за поглинання ґрунтовим вбирним комплексом.

Проте надмірні дози внесення азотних добрив та формування підвищеного вмісту цього елемента в ґрунті може призвести до інтенсивного розвитку вегетативної маси, порушення балансу між вегетативними та генеративними

органами рослин, а також до затримки фаз розвитку рослини, що негативно впливає на формування врожаю та його якості [15].

Застосування підвищених норм азотних добрив може спричинити екологічне забруднення нітратами (NO_3^-) і нітритами (NO_2^-) з їх подальшим накопиченням у продукції рослинництва. Також мінеральні добрива іноді містять домішки важких металів, зокрема Cd, Pb, Cu, Zn, які можуть потрапляти у ґрунт разом із добривами. Тому раціональне використання мінеральних добрив, особливо азотних, є надзвичайно актуальним завданням [16—17].

Доцільним є застосування комплексних і пролонгованих добрив, зокрема нітроамофоски та нітрофоски, що забезпечують рівномірне живлення протягом вегетації та зменшують ризик надходження радіонуклідів у періоди інтенсивного росту рослин.

У системі екологічно безпечного землеробства важливе місце займає контроль за станом ґрунтового середовища. Регулярне агрохімічне обстеження (раз на 3—5 років) дозволяє оцінити рівень забезпечення ґрунту основними елементами живлення, ступінь кислотності, а також динаміку вмісту токсикантів і радіонуклідів. Отримані дані є основою для коригування доз і форм добрив у наступні ротації сівозміні.

Оптимізація мінерального живлення в умовах радіаційного навантаження повинна поєднуватися з біологічними та агротехнічними заходами: внесенням органічних добрив, сидератів, підтриманням нейтральної реакції ґрунтового середовища, раціональним чергуванням культур у сівозміні. Такий системний підхід дає змогу одночасно підвищити ефективність удобрення, стабілізувати гумусний стан ґрунту та зменшити екологічні ризики, пов'язані з радіонуклідним і токсикологічним забрудненням.

Загалом практична реалізація систем удобрення сільськогосподарських культур на радіоактивно забруднених землях повинна ґрунтуватися на принципах адаптивності, збалансованості та екологічної стійкості. Це означає, що будь-яке підвищення рівня інтенсифікації повинно супроводжуватися екологічними обмеженнями, спрямованими на збереження ґрунтової родючості та попередження забруднення продукції політантами.

2 ВПЛИВ РІЗНИХ НОРМ УДОБРЕННЯ КУЛЬТУР ЗЕРНО-ПРОСАПНОЇ СІВОЗМІНИ НА АГРОХІМІЧНІ Й ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ҐРУНТУ ТА ЙОГО АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН

2.1 Вплив норм удобрення на агрохімічні та фізико-хімічні показники ґрунту

Різні норми удобрення під сільськогосподарські культури 5-пільної сівозміни мають позитивний ефект на накопичення поживних речовин і на гумусний стан дерново-підзолистого ґрунту, але водночас кислотність ґрунту дещо підвищується, особливо за максимальної дози мінеральних добрив. Так, уміст легкогідролізного азоту на початку вегетації культур сівозміни, у середньому за п'ять років, знаходився на рівні від 107 до 145 мг/кг ґрунту за найвищих значень за максимальної дози удобрення (друга норма) 133—145 мг/кг ґрунту, що на 11—13 мг/кг, або 8—9 %, більше, ніж за першої норми та на 26—34 мг/кг, або 20—23 %, більше, ніж у ґрунті контролю. Це свідчить про високу ефективність застосовуваних норм добрив.

З-поміж культур зерно-просапної сівозміни найвищий вміст легкогідролізного азоту в ґрунті відмічено за вирощування буряків кормових, де ці показники становили 107—145 мг/кг ґрунту, що пов'язано з морфологічними особливостями культури, тобто її потребами в мінеральних добривах, особливо азотних. Отже, зазвичай вносять високі дози добрив і значить більше азоту залишається в ґрунті (табл. 2.1).

У кінці вегетації сільськогосподарських культур певна тенденція зберігалася. Водночас уміст азоту був дещо нижчим, що пов'язано з його виносом культурами для формування врожаю. Так, уміст легкогідролізного азоту у ґрунті був на рівні від 93 до 99 мг/кг у варіантах без застосування добрив (контроль), від 112 до 115 мг/кг за першої та від 126 до 132 мг/кг ґрунту за внесення другої норми добрив відповідно, що відповідає низькому ступеню забезпеченості, а коефіцієнт варіації становить 12,4 %.

Уміст рухомих сполук фосфору в ґрунті під культурами 5-пільної зерно-просапної сівозміни в середньому за 2015—2019 рр. відповідав високому та дуже високому його вмісту (згідно з ДСТУ), а застосовані норми добрив мали позитивний ефект на його вміст, що підтверджує коефіцієнт варіації (V) 16,3 %.

Зокрема, вміст рухомих сполук фосфору на початку вегетації польових культур за застосування другої норми добрив був на рівні від 261 до 315 мг/га, першої — від 244 до 292 мг/кг, тоді як у контролі ці показники становили 191—210 мг/кг ґрунту, що на 22—28 % менше порівняно до першої та на 27—33 % порівняно до другої норми добрив, що свідчить про високу ефективність відповідних норм добрив.

Таблиця 2.1

Фізико-хімічні та агрохімічні показники ґрунту (с. Христинівка Народицького р-ну Житомирської обл.), середнє за 2015—2019 рр.

Культура сівозміни	Варіант досліду	N, мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	pH	Гумус, %	Сума ввібраних основ		Гк	N, мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	pH	Гумус, %	Сума ввібраних основ		Гк
							ммоль/100 г								ммоль/100 г		
							весна								осінь		
Овес	без добрив (контроль)	107	191	171	6,34	1,99	11,52	1,1	93	179	149	6,31	1,95	11,06	1,16	1,16	
	N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	122	247	231	5,52	2,04	9,95	2,17	112	232	205	5,41	2,01	9,32	2,33	2,33	
	N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	133	263	266	5,1	2,04	6,61	2,73	126	247	233	4,98	2,01	5,95	2,99	2,99	
Люпин	без добрив (контроль)	110	199	171	6,42	2,04	11,88	1,06	97	186	148	6,37	2,0	11,39	1,11	1,11	
	N ₃₀ P ₄₀ K ₅₀	132	244	235	5,8	2,08	10,59	1,98	115	229	211	5,71	2,04	10,03	2,17	2,17	
	N ₃₀ P ₆₀ K ₁₀₀	141	261	259	5,39	2,08	7,27	2,5	127	244	229	5,28	2,04	6,66	2,74	2,74	
Тритикале яре	без добрив (контроль)	110	200	178	6,43	1,98	13,05	1,12	99	189	155	6,38	1,95	12,73	1,15	1,15	
	N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	130	260	261	5,86	2,04	10,57	2,07	113	243	231	5,58	2,01	10,17	2,22	2,22	
	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₆₀	143	274	279	5,32	2,05	7,84	2,38	130	256	244	5,18	2,0	7,37	2,56	2,56	
Бураки кормові	без добрив (контроль)	107	210	176	6,31	2,01	12,17	1,17	93	200	155	6,25	1,97	11,68	1,22	1,22	
	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₆₀	130	292	279	5,72	2,07	11,86	2,0	115	275	245	5,61	2,02	11,35	2,18	2,18	
	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₃₂₀	145	315	319	5,43	2,07	8,94	2,64	132	295	284	5,29	2,03	8,29	2,88	2,88	
Кукурудза на зерно	без добрив (контроль)	111	195	171	6,27	2,04	11,75	1,18	97	183	149	6,21	1,99	11,21	1,21	1,21	
	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₈₀	127	268	251	5,62	2,11	11,49	1,99	113	252	224	5,54	2,05	11,03	2,08	2,08	
	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀	141	299	277	5,27	2,11	7,86	2,75	127	280	242	5,15	2,05	7,25	2,97	2,97	
Середнє		126	248	235	5,78	2,05	10,22	1,92	113	233	207	5,69	2,01	9,7	2,07	2,07	
Sw, %		3,6	10,4	12,8	0,12	0,01	0,52	0,16	3,6	9,7	11,5	0,13	0,01	0,54	0,18	0,18	
V, %		11,0	16,3	21,0	8,01	1,82	19,9	33,1	12,4	16,2	21,4	8,68	1,6	21,7	34,6	34,6	
S		13,8	40,4	49,4	0,46	0,04	2,03	0,64	13,9	37,7	44,4	0,49	0,03	2,10	0,72	0,72	

Поміж культур сівозміни найбільше вмісту рухомих сполук фосфору у ґрунті спостерігається під буряками кормовими (210—315 мг/кг ґрунту).

На період збирання врожаю вміст рухомих сполук фосфору під культурами сівозміни дещо знизився, що пов'язано з виносом цього елемента на формування врожаю, але залишався високим і дуже високим за ступенем забезпеченості. Так, уміст рухомих сполук фосфору був на рівні від 179 до 295 мг/кг ґрунту за вищого накопичення цього елемента за внесення другої норми добрив, де вміст його становив 244—295 мг/кг ґрунту, що на 6—7 % більше, ніж за застосування першої норми добрив і на 27—32% більше, ніж у контролі (див. табл. 2.1).

Уміст рухомих сполук калію під культурами зерно-просапної сівозміни в середньому за 2015—2019 рр. відповідав високому та дуже високому його вмісту (ДСТУ 4362:2004). Також уміст рухомих сполук калію в ґрунті дещо різнився за культурами сівозміни, а досліджувані норми внесення мінерального удобрення мали позитивний ефект, про що свідчить V (21 %).

Уміст рухомих сполук калію на початку вегетації культур сівозміни знаходився на рівні від 171 до 319 мг/кг за найвищих показників за застосування другої норми добрив, що на 11—13 % більше, ніж за внесення першої норми та на 32—44 % більше, ніж у контролі без добрив.

Уміст рухомих сполук калію в кінці вегетації культур сівозміни, тобто період збирання врожаю, був дещо меншим, ніж на початку вегетації, що свідчить про винос елемента рослинами під час росту та розвитку й формуванні врожаю. Відповідно вміст рухомих сполук калію знаходився у межах від 148 до 284 мг/кг за найвищих показників за застосування другої норми добрив, що на 10—14 % більше, ніж за першої норми та на 35—45 %, ніж у контролі.

Серед культур 5-пільної сівозміни найбільшим умістом рухомих сполук калію у ґрунті вирізнялися посіви буряків кормових, де ці показники становили 176—319 мг/кг на початку вегетації культур і 155—284 мг/кг ґрунту в кінці вегетації за різних норм добрив, що вказує на морфологічні особливості культури. Найменший же вміст цього елемента був під посівами вівса та люпину.

Визначено, що в середньому за 2015—2019 рр. ґрунт дослідного поля за ступенем кислотності й лужності (ДСТУ 4362:2004) був нейтральним, близьким до нейтрального та слабо кислим залежно від норм удобрення та досліджуваних культур 5-пільної сівозміни. З'ясовано, що чим більша норма добрив, тим закисленість ґрунту стає більшою. Зокрема, на початку вегетації сільськогосподарських культур за другої норми добрив рН становив 5,1—5,43 (слабо кислі ґрунти), за першої норми — 5,52—5,8 (близькі до нейтральних) і варіанти без застосування добрив (контроль) — 6,27—6,43 (нейтральні).

У період збирання врожаю така тенденція зберігалася, зокрема, найвищою кислотність ґрунту була за внесення другої норми добрив (4,98—5,29), що за

ступенем кислотності відповідає середньоюкислим і слабо кислим ґрунтам. За внесення під культури першої норми добрив рН ґрунту був на рівні 5,41—5,71, тоді як у ґрунті контролю цей показник становив 6,21—6,38, що класифікується як нейтральні ґрунти.

З-поміж досліджуваних культур 5-пільної сівозміни найвища кислотність ґрунту була під посівами вівса за другої ($N_{70}P_{90}K_{120}$) та першої норм ($N_{70}P_{60}K_{60}$) добрив, водночас у контролі — посівами кукурудзи на зерно (див. табл. 2.1).

Підвищення показників кислотності ґрунту за вирощування сільськогосподарських культур 5-пільної зерно-просапної сівозміни прямо впливає на збільшення показників гідролітичної кислотності, де ці показники за різних норм удобрення на початку вегетації досліджуваних культур сівозміни становили: 1,98—2,17 — за першої норми, 2,38—2,75 — за другої та 1,06—1,18 ммоль/100 г — у контролі. Тоді як наприкінці вегетації сільськогосподарських культур у середньому за п'ять років ці показники були: 2,08—2,34 — за першої норми добрив, 2,56—2,99 — другої норми, 1,11—1,22 ммоль/100 г — за контролю.

За зростання кислотності ґрунту під досліджуваними культурами сівозміни залежно від норм добрив прослідковували динаміку зменшення середньої величини показника суми ввібраних основ. За другої норми добрив вони були найменшими 6,61—8,94 ммоль/100 г (початок вегетації) і 5,95—8,29 ммоль/100 г (збирання врожаю), за першої норми 9,95—11,86 і 9,32—11,35 ммоль/100 г, за найбільших показників у контролі — 11,52—13,05 і 11,06—12,73 ммоль/100 г відповідно.

Фактор сівозміни та застосовування мінеральних добрив мали позитивний ефект на вміст гумусу в дерново-підзолистому ґрунті. На початку вегетації польових культур за другої та першої норм добрив, у середньому за 2015—2019 рр., цей показник становив 2,04—2,11 %, тоді як у контролі вміст гумусу був у межах 1,98—2,04 %, що на 3—8 % менше порівняно до першої й другої норм добрив.

Наприкінці вегетації досліджуваних культур 5-пільної сівозміни вміст гумусу дещо знизився: за другої норми добрив він був на рівні 2,0—2,05, за першої — 2,01—2,05 %, у ґрунті контролю — 1,95—2 %.

З-поміж культур 5-пільної зерно-просапної сівозміни найкращу динаміку підвищення вмісту гумусу у ґрунті фіксували за вирощування кукурудзи на зерно, особливо за першої ($N_{120}P_{100}K_{80}$) та другої норм добрив ($N_{120}P_{150}K_{160}$).

Крім макроелементів у ґрунті важливим та необхідним є визначення вмісту мікроелементів, які стимулюють ріст рослин і прискорюють їх розвиток, впливають на стійкість до несприятливих умов зовнішнього середовища,

підвищують урожайність рослин і якість отриманої продукції, а найголовніше, що вони входять до складу ферментів, які є каталізаторами біохімічних процесів.

Визначено, що вміст міді, в середньому за 2015—2019 рр. був на дуже низькому рівні — від 0,085 до 0,103 мг/кг ґрунту залежно від досліджуваних чинників. Зокрема, норми добрив забезпечили збільшення вмісту міді в ґрунті порівняно з контролем (без застосування добрив). Вищі показники вмісту міді у ґрунті фіксували за застосування другої норми добрив у посівах вівса та кукурудзи, тоді як у ґрунті під люпином, тритикале та буряками кормовими кращим варіантом виявилася перша норма добрив. Середнє значення за варіантами досліді становить 0,091 мг/кг ґрунту, а V 5,5 % (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

**Уміст рухомих сполук мікроелементів у ґрунті, мг/кг,
середнє за 2015—2019 рр.**

Варіант досліді	Cu	Co	Mn	Zn	B	Mo
<i>Овес</i>						
Без добрив (контроль)	0,086	0,158	4,89	2,43	0,85	0,082
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	0,09	0,16	5,06	2,63	0,88	0,083
N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	0,098	0,164	5,25	2,97	0,88	0,083
<i>Люпин</i>						
Без добрив (контроль)	0,09	0,166	4,77	1,84	0,83	0,081
N ₃₀ P ₄₀ K ₅₀	0,09	0,162	5,24	1,97	0,87	0,081
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₀₀	0,085	0,157	5,43	1,97	0,82	0,084
<i>Тритикале яре</i>						
Без добрив (контроль)	0,087	0,14	5,27	2,59	0,87	0,084
N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	0,088	0,135	5,39	1,98	0,91	0,085
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₆₀	0,086	0,149	5,08	1,75	0,92	0,085
<i>Буряки кормові</i>						
Без добрив (контроль)	0,092	0,154	4,62	2,03	0,85	0,081
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₆₀	0,097	0,16	5,98	2,04	0,89	0,081
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₃₂₀	0,09	0,154	9,47	1,77	0,89	0,089
<i>Кукурудза на зерно</i>						
Без добрив (контроль)	0,089	0,171	6,59	2,5	0,85	0,081
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₈₀	0,095	0,161	9,69	3,01	0,88	0,082
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀	0,103	0,175	9,48	2,58	0,90	0,088
<i>Середнє</i>	0,091	0,158	6,15	2,27	0,87	0,083
<i>Sx</i>	0,001	0,003	0,47	0,11	0,01	0,001
<i>V, %</i>	5,5	6,7	29,7	18,7	3,1	3,1
<i>S</i>	0,005	0,011	1,82	0,42	0,03	0,003

Уміст рухомих сполук кобальту у ґрунті також був на дуже низькому рівні — від 0,135 до 0,175 мг/кг ґрунту за всіма варіантами дослідів. Норми добрив мали деякий позитивний вплив. Зокрема, дещо більший вміст кобальту в ґрунті виявлено під посівами кукурудзи, тритикале ярого та вівса за другої норми добрив, тоді як за першої — у посівах буряків кормових порівняно з контролем. У ґрунті посівів люпину кращим був варіант без застосування добрив. Середнє значення за варіантами дослідів становило 0,158 мг/кг ґрунту з V 6,7 %.

За вмістом рухомих сполук марганцу в дерново-підзолистому ґрунті був дещо вищим порівняно з міддю та кобальтом, але його вміст залишався на низькому рівні забезпеченості. В середньому за 2015—2019 рр. уміст марганцу в ґрунті знаходився на рівні від 4,62 до 9,69 мг/кг ґрунту за найвищих показників у посівах кукурудзи, а найменше — у посівах вівса. Таку суттєву різницю за культурами сівозміни чітко видно за V, який становить 29,7 %. Норми добрив мали позитивний вплив на вміст рухомих сполук марганцу за вищих значень за застосування другої норми, що на 12—30 % більше, ніж у контролі.

Уміст рухомих сполук цинку був дещо вищим за рівнем забезпеченості, де середнє значення становило 2,27 мг/кг, а за варіантами дослідів — від 1,75 до 3,01 мг/кг ґрунту. З-поміж досліджуваних культур 5-пільної зерно-просапної сівозміни найвищий вміст цього елемента фіксували у ґрунті під посівами кукурудзи (2,5—3,01 мг/кг) та вівса (2,43—2,97 мг/кг ґрунту), а найнижчий — люпину (1,84—1,97 мг/кг). Внесення першої норми добрив було більш ефективним щодо забезпеченості цинку в дерново-підзолистому ґрунті.

Отримані результати засвідчили, що вміст рухомих сполук молібдену в ґрунті був на дуже низькому рівні — від 0,081 до 0,089 мг/кг ґрунту. Істотної різниці за варіантами дослідів не виявлено, про що свідчить коефіцієнт варіації, який знаходиться в дуже вузькому проміжку та становив лише 3,1 %.

Подібну тенденцію фіксували за вмістом бору, де різниця за варіантами дослідів була не значною (V 3,1 %), а вміст рухомих сполук бору в ґрунті був на рівні 0,82—0,92 мг/кг ґрунту. Дещо більшою забезпеченістю цим елементом характеризувався ґрунт за внесення другої норми добрив, а серед досліджуваних культур — тритикале яре (див. табл. 2.2).

2.2 Вплив норм удобрення на агроекологічний стан ґрунту

Попри, що від аварії на Чорнобильській АЕС минуло понад три з половиною десятиліття, радіонукліди й досі у малих кількостях мігрують із ґрунту в продукцію рослинництва та тваринництва. Протягом цього часу значну частину забруднених орних земель провапновано, що сприяло зв'язуванню ізотопу ^{137}Cs . Додатково природний радіоактивний розпад зумовив зниження його концентрації в ґрунтах приблизно на 35—38 % [18—19].

Виробництво аграрної продукції в умовах радіоактивного забруднення можливе лише за дотримання встановлених нормативів. Зокрема, безпечним вважається використання сільськогосподарських угідь із щільністю забруднення ґрунту нижче меж, за яких уміст радіонуклідів в отриманій продукції рослинництва не перевищує рівнів, регламентованих ДР-2006. Для отримання продовольчого зерна допустиме забруднення дерново-підзолистих ґрунтів не повинно перевищувати 344,1 кБк/м², картоплі — 444 кБк/м², а для овочевих культур — 555 кБк/м² [14, 20].

У зонах з підвищеним радіаційним навантаженням зниження рівня радіоактивного забруднення ґрунтів є одним із ключових завдань екологічної безпеки сільськогосподарського виробництва. Ефективність агротехнічних заходів, зокрема застосування добрив, має значний вплив на мобільність і накопичення радіонуклідів у дерново-підзолистих ґрунтах, що дає можливість зменшити ризики потрапляння ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr у продукцію рослинництва.

Визначено, що мінеральне удобрення під сільськогосподарські культури 5-пільної зерно-просапної сівозміни у період досліджень і фактор сівозміни мали позитивний ефект для зниження щільності забруднення дерново-підзолистого ґрунту ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr. Щільність забруднення ґрунту ¹³⁷Cs у середньому за п'ять років досліджень була в межах від 881,6 до 1046,1 кБк/м² за більшої його щільності у ґрунті на контролі, що перевищує ГДК на 37—57 %, або в 1,6—1,9 раза (табл. 2.3).

Найнижчою щільність забруднення ґрунту ¹³⁷Cs була за внесення першої норми добрив і становила 881,6—916,1 кБк/м², що на 32,3—48,3 кБк/м² менше, ніж за другої норми добрив і на 130—131,2 кБк/м² менше, ніж без внесення добрив (контроль). Це вказує на високу ефективність застосованих норм добрив, особливо першої норми (зниженої), водночас V становив 6,2 %. Середня концентрація ¹³⁷Cs у досліді загалом була на рівні 956,2 кБк/м².

Серед досліджуваних культур 5-пільної сівозміни найбільшою щільність забруднення ґрунту ¹³⁷Cs була у посівах вівса, а найменшою — кукурудзи (див. табл. 2.3).

Щільність забруднення ґрунту ¹³⁷Cs у середньому по сівозміні становила 895,1 кБк/м² за внесення першої норми добрив, 942,3 кБк/м² — за другої норми (за найбільшої концентрації ¹³⁷Cs у контролі — 1031,1 кБк/м²).

Встановлено, що найвищий вміст ¹³⁷Cs у ґрунті був у 2015 і 2016 роках. Починаючи з 2017 року, спостерігали поступове зниження щільності забруднення ґрунту ¹³⁷Cs, що свідчить про ефективність застосованих агрозаходів (сівозміна, норми добрив, морфологія сільськогосподарських культур) (рис. 2.1).

Таблиця 2.3

Щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs та ^{90}Sr , кБк/м^2 , середнє за 2015—2019 рр.

Культура сівозмінні	Варіант досліджу	^{137}Cs	^{90}Sr
Овес	без добрив (контроль)	1046,1	17,2
	N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	916,1	16,4
	N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	946,3	16,3
Люпин	без добрив (контроль)	1012,8	16,6
	N ₃₀ P ₄₀ K ₅₀	896,4	17,0
	N ₃₀ P ₆₀ K ₁₀₀	929,9	16,8
Тритикале яре	без добрив (контроль)	1032,3	16,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	883,6	16,2
	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₆₀	948,4	16,8
Буряки кормові	без добрив (контроль)	1039,9	17,3
	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₆₀	897,7	15,8
	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₃₂₀	945,7	16,1
Кукурудза	без добрив (контроль)	1024,2	15,9
	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₈₀	881,6	15,8
	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀	941,3	15,8
ГДК		555	111
Середнє		956,2	16,4
Sx		15,3	0,13
V, %		6,2	3,1
S		59,4	0,52

Найменшу щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs фіксували у 2019 році — цей показник становив $740,3 \text{ кБк/м}^2$ за внесення першої норми добрив, $823,8 \text{ кБк/м}^2$ — другої норми добрив, $906,7 \text{ кБк/м}^2$ — у ґрунті контролю.

Щільність забруднення ґрунту ^{90}Sr у середньому за 2015—2019 рр. була в межах від $15,8$ до $17,3 \text{ кБк/м}^2$ залежно від культур сівозмінні та норм добрив за дещо вищих значень у контролі, що в 6—7 разів нижче ГДК (111 кБк/м^2). Досліджувані фактори позитивно впливали на зменшення щільності забруднення ґрунту ^{90}Sr , про що свідчить незначне варіювання, де V 3,1 %. Серед досліджуваних культур 5-пільної зерно-просапної сівозмінні дещо вищу щільність забруднення ґрунту ^{90}Sr виявлено в посівах вівса й люпину, найменшу — у ґрунті під кукурудзою, де ці значення були в межах $15,8$ — $15,9 \text{ кБк/м}^2$. Середня щільність забруднення ґрунту ^{90}Sr у досліді загалом була на рівні $16,4 \text{ кБк/м}^2$ (див. табл. 2.3).

Виявлено, що щільність забруднення ґрунту ^{90}Sr у середньому по сівозмінні становила $16,2 \text{ кБк/м}^2$ за застосування першої норми добрив, $16,4 \text{ кБк/м}^2$ — другої

норми, за трішки більшої концентрації ^{90}Sr у варіантах без застосування добрив (контроль) — $16,6 \text{ кБк/м}^2$ (рис. 2.2).

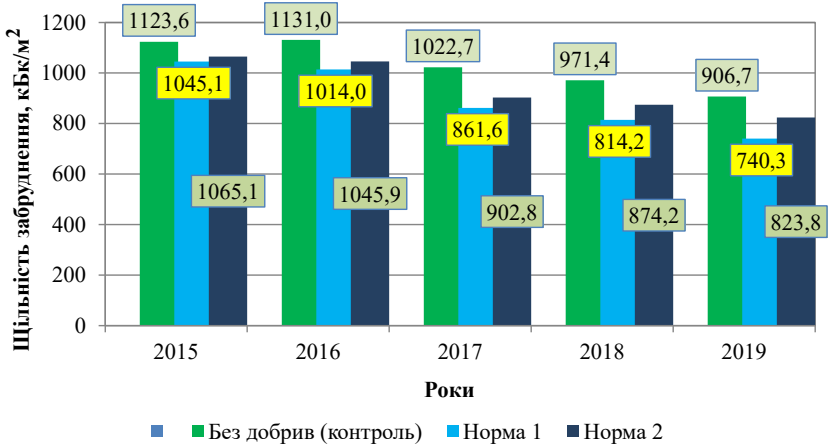


Рис. 2.1. Динаміка щільності забруднення ґрунту ^{137}Cs у середньому по сівозміні, 2015—2019 рр., кБк/м^2

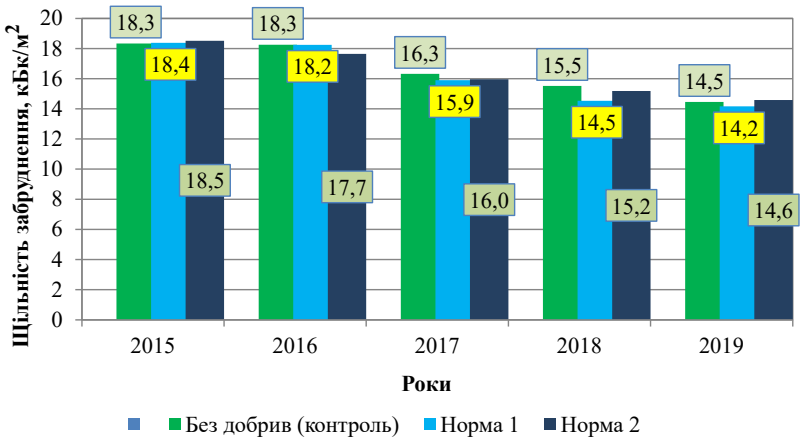


Рис. 2.2. Динаміка щільності забруднення ґрунту ^{90}Sr у середньому по сівозміні, 2015—2019 рр., кБк/м^2

Встановлено, що вищою щільність забруднення ґрунту ^{90}Sr була на початку проведення досліджень (2015 і 2016 роки), а з 2017 року відмічено зниження концентрації ^{90}Sr , що свідчить про ефективність застосованих агрозаходів. Найнижчою щільність забруднення ґрунту ^{90}Sr була у 2019 році, де цей показник

становив 14,2—14,6 КБк/м^2 за найменшого значення показника за застосування першої норми добрив (див. рис. 2.2).

2.3 Уміст важких металів у ґрунті залежно від норм удобрення

Встановлено, що в середньому за 2015—2019 рр. уміст рухомих форм свинцю у дерново-підзолистому ґрунті знаходився на рівні від 0,75 до 0,86 мг/кг ґрунту за вищого його вмісту під посівами вівса й кукурудзи 5-пільної зерно-просапної сівозміни, а саме: 0,8—0,83 і 0,78—0,86 мг/кг відповідно, що вказує на морфологічні особливості цих культур щодо нагромадження важких металів. Найменший же вміст рухомих форм свинцю в ґрунті був під посівами буряків кормових — 0,75—0,82 мг/кг , що на 4—13 % менше, порівняно до інших досліджуваних культур сівозміни (табл. 2.4).

Аналізуючи норми внесення добрив, очевидно, що найбільш ефективною щодо зниження вмісту свинцю в ґрунті виявилася перша норма під посівами вівса, люпину й тритикале ярого, тоді як під посівами буряків кормових і кукурудзи — друга норма добрив. Середній вміст рухомих форм свинцю по сівозміні був на рівні 0,8 мг/кг ґрунту (ГДК 6 мг/кг) за незначного варіювання показників (V 3,9 %).

Встановлено, що вміст рухомих форм кадмію у дерново-підзолистому ґрунті в середньому за п'ять років досліджень був у межах від 0,028 до 0,046 мг/кг . Найвищий вміст цього елемента в ґрунті виявлено під посівами тритикале ярого й кукурудзи, тоді як найменше накопичення кадмію було під посівами вівса (0,028—0,037 мг/кг). З-поміж досліджуваних норм добрив більш ефективною щодо зниження вмісту рухомих форм кадмію виявилася друга норма добрив, а найменше накопичення не залежно від досліджуваних факторів відбулося у ґрунті під посівами вівса без внесення добрив (контроль) — 0,028 мг/кг (див. табл. 2.4).

Середній вміст кадмію у ґрунті по сівозміні був на рівні 0,04 мг/кг ґрунту. Коефіцієнт варіації на рівні 13 %, що відповідає середньому рівню варіювання.

Уміст рухомих форм ртуті у дерново-підзолистому ґрунті під досліджуваними культурами 5-пільної зерно-просапної сівозміни в середньому за 2015—2019 рр. був на рівні від 0,0027 до 0,0034 мг/кг за найменшого нагромадження цього елемента під посівами кукурудзи — 0,0028—0,0032 мг/кг ґрунту. Найбільший вміст ртуті був у ґрунті під посівами буряків кормових — 0,0033—0,0034 мг/кг ґрунту. Досліджувані норми добрив мало впливали на вміст рухомих форм ртуті у ґрунті, про що свідчить незначне варіювання значень показників (V 7,3 %), а середнє значення вмісту цього елемента було на рівні 0,0031 мг/кг (див. табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Уміст рухомих форм важких металів у ґрунті, мг/кг, середнє за 2015—2019 рр.

Культура сівозміни	Варіант дослідю	Pb	Cd	Hg
Овес	без добрив (контроль)	0,8	0,028	0,003
	N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	0,8	0,037	0,0032
	N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	0,83	0,032	0,0033
Люпин	без добрив (контроль)	0,78	0,038	0,0034
	N ₃₀ P ₄₀ K ₅₀	0,78	0,045	0,0031
	N ₃₀ P ₆₀ K ₁₀₀	0,81	0,044	0,0027
Тритикале яре	без добрив (контроль)	0,82	0,046	0,0032
	N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	0,76	0,041	0,0028
	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₆₀	0,8	0,042	0,0031
Буряки кормові	без добрив (контроль)	0,82	0,042	0,0034
	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₆₀	0,76	0,041	0,0033
	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₃₂₀	0,75	0,041	0,0034
Кукурудза	без добрив (контроль)	0,86	0,045	0,0028
	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₈₀	0,84	0,045	0,0029
	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀	0,78	0,036	0,0032
ГДК		6	0,7	
Середнє		0,8	0,04	0,0031
Sx		0,01	0,001	0,0001
V, %		3,9	13,0	7,3
S		0,03	0,005	0,0002

З ВПЛИВ РІЗНИХ НОРМ УДОБРЕННЯ НА УРОЖАЙНІСТЬ КУЛЬТУР ЗЕРНО-ПРОСАПНОЇ СІВОЗМІНИ ТА ЯКІСТЬ ОТРИМАНОЇ ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА

3.1 Урожайність сільськогосподарських культур зерно-просапної сівозміни залежно від норм удобрення

Сучасне агропромислове виробництво в умовах ринкових трансформацій вимагає науково обґрунтованої оптимізації систем сівозмін, адаптованих до ґрунтово-кліматичних умов та агроекологічної доцільності. Особливе значення це має для дерново-підзолистих ґрунтів, які характеризуються низькою природною родючістю і потребують удосконалення систем живлення. Ефективність агровиробництва в таких умовах визначається збалансованим використанням органічних і мінеральних добрив, а також здатністю культур до накопичення продуктивної вологи та біологічного азоту [21—24].

У зонах радіоактивного забруднення головними обмежувальними факторами продуктивності є нестача вологи і вплив радіонуклідів, зокрема ^{137}Cs і ^{90}Sr , які знижують урожайність і погіршують якість продукції. Це підвищує ризики продовольчої безпеки та вимагає комплексних заходів щодо мінімізації їхнього впливу. Важливу роль у цьому процесі відіграють фосфорні й калійні добрива, здатні знижувати біодоступність радіоактивних елементів завдяки утворенню нерозчинних сполук, що обмежують їхнє надходження до рослин [25—27].

У середньому за 2015—2019 рр. урожайність культур 5-пільної зерно-просапної сівозміни становила 2,56—3,63 т/га вівса, водночас найменша істотна різниця (HIP_{05}) за факторами А і В (удобрення і роки досліджень) була на рівні 0,17 т/га, врожайність зерна люпину — 1,66—2,88 т/га (HIP_{05} — 0,11 т/га), 3,66—4,99 т/га тритикале ярого (HIP_{05} — 0,14 т/га), 4,47—7,53 т/га зерна кукурудзи (HIP_{05} — 0,28 т/га) та 23,1—37,5 т/га коренеплодів буряків кормових (HIP_{05} за факторами відповідно — 1,59 т/га) (табл. 3.1).

З-поміж досліджуваних норм добрив найвищу врожайність забезпечила друга норма, де ці значення були на рівні: 3,63 т/га — вівса, 2,88 — люпину, 4,99 — тритикале ярого, 7,53 — кукурудзи на зерно та 37,5 т/га буряків кормових, що на 27—42 % більше, ніж у контролі. Тоді як за внесення першої норми добрив урожайність сільськогосподарських культур 5-пільної сівозміни становила: 3,53 т/га — вівса, 2,49 — люпину, 4,75 — тритикале ярого, 7,2 — кукурудзи на зерно, 35,8 т/га — буряків кормових, що на 23—38 % більше, ніж у контролі та на 3—14 % менше, ніж за другої норми добрив. Отримані результати свідчать про високу ефективність застосовуваних норм удобрення.

Збір зерна з 1 га сівозмінної площі (в середньому по сівозміні) становив 4,49 т/га за першої норми добрив, 4,75 т/га — за другої, 3,09 т/га — в контролі. Найбільший збір зерна за роками досліджень фіксували: 5,03 т/га — за першої

норми добрив у 2019 році, 5,68 т/га — за другої у 2018 році і на контролі у 2017 році — 3,69 т/га (рис. 3.1).

Таблиця 3.1

Урожайність культур 5-пільної зерно-просапної сівозміни, т/га, 2015—2019 рр.

Культура сівозміни	Варіант досліджу	Роки досліджень						НІР ₀₅ за факторами А і В (А — удобрення, В — роки)
		2015	2016	2017	2018	2019	середнє	
Овес	без добрив (контроль)	2,71	2,46	2,41	2,57	2,67	2,56	А і В — 0,17 А — 0,08 В — 0,1
	N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	2,76	2,95	3,5	4,24	4,19	3,53	
	N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	2,76	2,83	3,43	4,58	4,53	3,63	
Люпин	без добрив (контроль)	1,94	2,41	1,78	1,16	1,03	1,66	А і В — 0,11 А — 0,05 В — 0,06
	N ₃₀ P ₄₀ K ₅₀	2,08	2,12	2,65	2,76	2,82	2,49	
	N ₃₀ P ₆₀ K ₁₀₀	2,04	2,09	2,67	3,88	3,71	2,88	
Тритикале яре	без добрив (контроль)	4,47	4,15	3,98	2,96	2,76	3,66	А і В — 0,14 А — 0,06 В — 0,08
	N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	4,54	4,67	4,9	5,02	4,6	4,75	
	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₆₀	4,46	4,63	4,89	5,6	5,35	4,99	
Кормові буряки	без добрив (контроль)	29,7	30,7	29,5	12,0	13,7	23,1	А і В — 1,59 А — 0,71 В — 0,92
	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₆₀	30,6	35,8	36,6	38,0	38,1	35,8	
	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₃₂₀	30,7	34,0	36,9	42,3	43,8	37,5	
Кукурудза на зерно	без добрив (контроль)	4,89	5,43	6,6	2,58	2,87	4,47	А і В — 0,28 А — 0,13 В — 0,16
	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₈₀	5,25	5,85	8,68	7,71	8,5	7,2	
	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀	5,44	5,78	8,72	8,64	9,05	7,53	

3.2 Якість продукції культур зерно-просапної сівозміни залежно від норм удобрення

Уміст поживних речовин в основній продукції культур зерно-просапної сівозміни. Нашими дослідженнями передбачалося визначення вмісту поживних речовин в основній продукції рослинництва. За результатами лабораторних аналізів, у середньому за 2015—2019 рр., встановлено, що вміст протеїну знаходився у межах від 2,16 до 30,59 % залежно від культури зерно-просапної сівозміни та норм добрив, уміст клітковини — 0,97—13,95 %, жиру — 0,13—5,49 %, золи — 1,5—3,09 % за середніх значень по сівозміні 13,07 %, 5,85, 3,07 та 2,34 % відповідно (табл. 3.2).

Найбільший вміст сирого протеїну був у зерні люпину, де цей показник становив 26,9 % у контролі, 30,15 % — за першої норми, 30,59 % — за другої норми добрив, що на 0,44 % за першої та на 3,69 % більше, ніж у контролі, що пов'язано з морфологічними особливостями бобової культури та позитивного ефекту добрив.

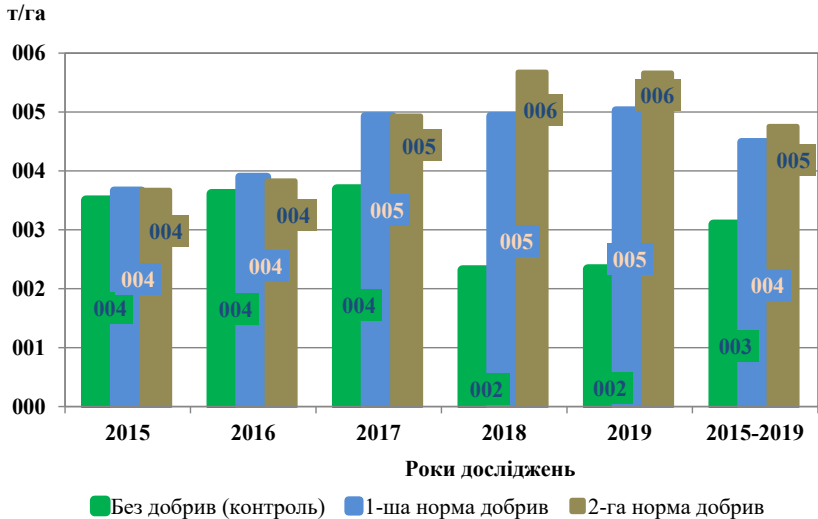


Рис. 3.1. Збір зерна з 1 га сівозмінної площі в середньому по сівозміні та за роками досліджень, т/га

Серед зернових культур найвищий вміст протеїну був у зерні тритикале ярого: 12,05 % — за першої норми, 12,12 % — за другої норми добрив, тоді як на контролі — 11,17 %, що на 0,88 % за першої та на 0,95 % за другої норми більше порівняно до контролю. Це свідчить про достатньо високу ефективність застосованих норм добрив під культуру.

Найнижчий вміст сирого протеїну в середньому за 2015—2019 рр. був у коренеплодах буряків кормових, де цей показник становив 2,16 % у контролі, 2,51 % — за першої норми та 2,58 % — за другої норми добрив. Коефіцієнт варіації при цьому був на рівні 69,8 %, що свідчить про значне варіювання (див. табл. 3.2).

Уміст сирі клітковини залежав від морфологічних особливостей досліджуваних культур 5-пільної зерно-просапної сівозміни. Зокрема, найбільший вміст клітковини був у зерні люпину — 13,59—13,95 % (13,59 % — контроль, 13,93 — друга норма, 13,95 % — перша норма добрив) та вівса — 10,22—10,6 % (10,22 % — контроль, 10,5 — перша норма, 10,6 % — друга норма добрив). А найнижчим умістом клітковини вирізнялися коренеплоди буряків кормових, де цей показник становив 0,97—1,07 % залежно від норми добрив відповідно. Достатньо велика різниця за досліджуваними культурами за цим показником підтверджується V 93 %.

Таблиця 3.2

Показники якості в основній продукції культур 5-пільної сівозміни, %, середнє за 2015—2019 рр.

Варіант досліджу	Уміст поживних речовин, %			
	сира зола	сирий жир	сира клітковина	сирий протеїн
<i>Овес</i>				
Без добрив (контроль)	2,72	3,58	10,22	10,63
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	2,9	3,84	10,5	11,81
N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	2,97	3,89	10,6	11,9
<i>Люпин</i>				
Без добрив (контроль)	2,88	5,01	13,59	26,9
N ₃₀ P ₄₀ K ₅₀	3,04	5,36	13,95	30,15
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₀₀	3,09	5,49	13,93	30,59
<i>Тритикале яре</i>				
Без добрив (контроль)	2,21	1,43	1,7	11,17
N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	2,34	1,56	1,78	12,05
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₆₀	2,38	1,65	1,81	12,12
<i>Буряки кормові</i>				
Без добрив (контроль)	1,84	0,13	0,97	2,16
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₆₀	1,95	0,15	1,05	2,51
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₃₂₀	2,06	0,16	1,07	2,58
<i>Кукурудза на зерно</i>				
Без добрив (контроль)	1,5	4,42	2,09	9,49
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₈₀	1,62	4,66	2,21	10,67
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀	1,66	4,74	2,28	11,35
<i>Середнє</i>	2,34	3,07	5,85	13,07
<i>Sx</i>	0,14	0,52	1,4	2,36
<i>V, %</i>	23,9	65,3	93,0	69,8
<i>S</i>	0,56	2,0	5,44	9,13

Аналізуючи вміст сирого жиру у зерні досліджуваних культур, з'ясовано, що найбільший його вміст був у зерні люпину, кукурудзи та вівса. Вміст жиру в зерні люпину був на рівні від 5,01 до 5,49 % за вищого показника за другої норми добрив, у зерні кукурудзи від 4,42 до 4,74 % за дещо більшого вмісту за другої норми та в зерні вівса — 3,58—3,89 % відповідно, що вказує на морфологічні особливості цих культур і достатньо високу ефективність застосованих норм мінеральних добрив, водночас V 65,3 %.

Уміст сирої золи в зерні досліджуваних культур 5-пільної сівозміни, в середньому за п'ять років, залежав від біології культури та деякою мірою від унесених добрив. Зокрема, найбільший вміст золи був у зерні люпину (2,88 % — контроль, 3,04 % — перша норма, 3,09 % — друга норма добрив) та вівса (2,72 % — контроль, 2,9 % — перша норма, 2,97 % — друга норма добрив). Найменший вміст золи був у зерні кукурудзи: 1,62 % — за першої норми, 1,66 % — за другої норми добрив, тоді як у контролі — 1,5 % (див. табл. 3.2).

Уміст мікроелементів в основній продукції культур 5-пільної сівозміни у середньому за 2015—2019 рр. не перевищував ГДК за всіма елементами. Зокрема, вміст міді за різних норм добрив і культур сівозміни був на рівні від 2,71 до 4,84 мг/кг, а середнє значення становило 3,58 мг/кг за найбільшого вмісту в зерні тритикале ярого: 4,41 мг/кг за першої норми, 4,84 — за другої норми добрив і 4,47 мг/кг — у контролі (табл. 3.3). Найменший же вміст міді у зерні кукурудзи — 2,71 мг/кг у варіанті без внесення добрив, 2,77 — за першої норми та 2,84 мг/кг — за другої норми добрив. V за вмістом міді у досліді становив 18,7 %.

Найвищий вміст міді фіксували у зерні за внесення другої норми добрив, де цей показник був у межах від 2,84 до 4,84 мг/кг за всіма досліджуваними культурами 5-пільної сівозміни, тоді як за першої норми — 2,77—4,41 мг/кг, за найменшого накопичення у контролі — 2,71—4,47 мг/кг, що на 2—4 % менше, ніж за першої та на 5—8 % менше, ніж за другої норми добрив.

Уміст цинку в основній продукції за всіма культурами сівозміни та різних норм добрив був на рівні від 19,36 до 40,61 мг/кг (ГДК 50,0 мг/кг). Найвищий вміст цинку зафіксовано в зерні люпину: 39,23 мг/кг — за першої норми, 40,61 мг/кг — за другої норми добрив. Тоді як у контролі цей показник становив 39,15 мг/кг, що на 0,08 та 1,46 мг/кг менше, ніж за першої та другої норм відповідно. Найнижче накопичення цинку було в зерні кукурудзи — 19,36—21,14 мг/кг за більшого вмісту за другої норми добрив. Достатньо низький вміст цинку був у зерні вівса 28,74—31,92 мг/кг за дещо більшого накопичення цього елемента за першої норми добрив. Середній вміст у досліді був у межах 31,45 мг/кг, а V 22 %.

Отримані дані свідчать, що вміст кобальту був на рівні від 0,474 до 0,923 мг/кг залежно від досліджуваних норм добрив і культури в сівозміні (ГДК 2,0 мг/кг). Середнє значення по досліді становило 0,639 мг/кг. Найбільше накопичення кобальту зафіксовано в коренеплодах буряків кормових, де цей показник сягав 0,864 мг/кг у контролі, 0,848 — за першої норми та 0,923 мг/кг — за другої норми добрив, що на 0,075 мг/кг більше порівняно до першої норми та на 0,059 мг/кг більше, ніж у контролі. З-поміж зернових злакових культур найбільше накопичення кобальту в основній продукції в середньому за п'ять років було в зерні вівса (0,594 мг/кг — контроль, 0,6 — перша норма, 0,638 мг/кг

— друга норма добрив) та кукурудзи (0,594 мг/кг — контроль, 0,629 — перша норма, 0,674 мг/кг — друга норма добрив) (див. табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Уміст мікроелементів в основній продукції культур 5-пільної сівозміни, мг/кг, середнє за 2015—2019 рр.

Культура сівозміни	Удобрєння	Cu	Zn	Co	Mn	Fe
Овес	без добрив (контроль)	3,11	28,74	0,594	23,09	36,99
	N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	3,02	31,92	0,6	23,41	38,7
	N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	3,13	29,25	0,638	24,27	38,43
Люпин	без добрив (контроль)	3,41	39,15	0,586	19,76	32,53
	N ₃₀ P ₄₀ K ₅₀	3,73	39,23	0,592	19,52	32,64
	N ₃₀ P ₆₀ K ₁₀₀	4,14	40,61	0,578	19,45	35,05
Тритикале яре	без добрив (контроль)	4,47	30,77	0,474	17,46	30,02
	N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	4,41	31,66	0,48	19,26	30,82
	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₆₀	4,84	31,58	0,511	19,65	32,22
Буряки кормові	без добрив (контроль)	3,54	35,75	0,864	24,24	45,78
	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₆₀	3,63	35,33	0,848	29,23	48,68
	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₃₂₀	3,98	37,25	0,923	30,05	50,85
Кукурудза на зерно	без добрив (контроль)	2,71	19,36	0,594	23,68	22,07
	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₈₀	2,77	19,95	0,629	23,54	22,37
	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀	2,84	21,14	0,674	23,87	22,87
ГДК		10,0	50,0	2,0	150,0	50,0
<i>Середнє</i>		<i>3,58</i>	<i>31,45</i>	<i>0,639</i>	<i>22,70</i>	<i>34,67</i>
<i>Sx</i>		<i>0,17</i>	<i>1,78</i>	<i>0,035</i>	<i>0,93</i>	<i>2,31</i>
<i>V, %</i>		<i>18,7</i>	<i>22,0</i>	<i>21,3</i>	<i>15,9</i>	<i>25,8</i>
<i>S</i>		<i>0,67</i>	<i>6,91</i>	<i>0,136</i>	<i>3,62</i>	<i>8,94</i>

Найменший же вміст кобальту з-поміж досліджуваних культур був у зерні тритикале ярого, де цей показник знаходився у межах 0,474 мг/кг у контролі, 0,48 — за першої норми, 0,511 мг/кг — за другої норми добрив. V за вмістом кобальту у досліді становив 21,3 %.

За результатами отриманих даних визначено, що вміст мангану залежно від норм добрив і культур 5-пільної зерно-просапної сівозміни знаходився на рівні від 17,46 до 30,05 мг/кг (ГДК 150,0 мг/кг) за найвищого вмісту мангану в

коренеплодах буряків кормових, де накопичення цього елемента становило 24,24 мг/кг — у контролі, 29,23 — за першої норми та 30,05 мг/кг — за другої норми добрив, що на 5,81 мг/кг більше, ніж у контролі. З-поміж зернових культур найбільше накопичення мангану було в зерні вівса (23,09 мг/кг — контроль, 23,41 — перша норма, 24,27 мг/кг — друга норма добрив) та кукурудзи (23,68 мг/кг — контроль, 23,54 — перша норма, 23,87 мг/кг — друга норма добрив), що вказує на достатньо високу ефективність застосовуваних норм добрив. Середнє значення у досліді становило 22,7 мг/кг, а V 15,9 %.

Уміст заліза за всіма культурами сівозміни та різних норм добрив у середньому за 2015—2019 рр. був на рівні від 22,07 до 50,85 мг/кг (ГДК 50,0 мг/кг). Найбільший вміст заліза поміж досліджуваних культур 5-пільної сівозміни був у коренеплодах буряків кормових, де цей показник становив 45,78 мг/кг на контролі, 48,68 — за першої норми добрив і наближався до рівня ГДК, та 50,85 мг/кг — за другої норми добрив, що перевищує ГДК на 0,85 мг/кг та більший вміст на 5,07 мг/кг, ніж у контролі. Найменше накопичення заліза було в зерні кукурудзи (22,07 мг/кг — контроль, 22,37 — перша норма, 22,87 мг/кг — друга норма добрив). Уміст заліза в зерні вівса, люпину і тритикале не залежно від норм добрив був у межах від 30,02 до 38,7 мг/кг. Середній вміст у досліді становив 34,67 мг/кг, V — 25,8 % (див. табл. 3.3).

3.3 Вплив норм добрив під культури зерно-просапної сівозміни на вміст важких металів і радіонуклідів в основній продукції

Упродовж останніх десятиліть спостерігається істотне зростання рівня вмісту ВМ у біосфері, що зумовлено впливом як природних, так і антропогенних чинників. ВМ належать до найпоширеніших і найбільш стійких забруднювачів агроecosистем, здатних акумулюватися в ґрунті, воді та рослинній продукції. Надмірне їх накопичення може призводити до перевищення ГДК у тканинах сільськогосподарських рослин, що так само негативно позначається на врожайності, якісних показниках продукції рослинництва та її безпечності для споживання [28—30].

З іншого боку, забруднення продукції рослинництва ВМ часто пов'язують із інтенсифікацією землеробства, зокрема із застосуванням мінеральних добрив як потенційного джерела екзогенного надходження токсичних елементів до агроecosистем [31—33].

Встановлено, що вміст ВМ, у середньому за 2015—2019 рр., не перевищував ГДК за накопиченням міді та цинку. Зокрема, вміст міді в основній продукції за різних норм мінерального удобрення та культур сівозміни варіював у межах від 2,71 до 4,84 мг/кг. Максимальну концентрацію цього елемента визначили у зерні тритикале ярого: 4,41 мг/кг за внесення першої норми добрив, 4,84 — за другої

норми та 4,47 мг/кг — у контролі (без добрив). Середній вміст міді у сівозміні становив 3,58 мг/кг, що є нижчим за ГДК у 2,1—3,7 рази і свідчить про екологічно безпечну вирощену продукцію. Найменше накопичення цього елемента зафіксовано у зерні кукурудзи — 2,71 мг/кг у контролі, 2,77 — за першої норми та 2,84 мг/кг — за другої норми добрив. Загальний коефіцієнт варіації вмісту міді у досліді становив 18,7 %, що характеризує середній рівень мінливості показника в межах дослідження (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Уміст токсичних речовин у основній продукції культур 5-пільної сівозміни, мг/кг, середнє за 2015—2019 рр.

Культура сівозміни	Варіант досліду	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg
Овес	без добрив (контроль)	3,11	28,74	1,7	0,249	нв*
	N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	3,02	31,92	1,82	0,251	нв
	N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	3,13	29,25	1,69	0,232	нв
Люпин	без добрив (контроль)	3,41	39,15	1,64	0,218	нв
	N ₃₀ P ₄₀ K ₅₀	3,73	39,23	1,78	0,208	нв
	N ₃₀ P ₆₀ K ₁₀₀	4,14	40,61	1,69	0,233	нв
Тритикале яре	без добрив (контроль)	4,47	30,77	1,49	0,181	нв
	N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	4,41	31,66	1,52	0,195	нв
	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₆₀	4,84	31,58	1,55	0,194	нв
Буряки кормові	без добрив (контроль)	3,54	35,75	1,49	0,303	нв
	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₆₀	3,63	35,33	1,49	0,351	нв
	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₃₂₀	3,98	37,25	1,79	0,361	нв
Кукурудза на зерно	без добрив (контроль)	2,71	19,36	1,31	0,173	нв
	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₈₀	2,77	19,95	1,22	0,179	нв
	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀	2,84	21,14	1,4	0,196	нв
ГДК		10,0	50,0	0,5	0,1	—
ГДК**		15—35	120	5	1,0	0,1
Середнє		3,58	31,45	1,57	0,235	—
S_x		0,17	1,78	0,05	0,015	—
V, %		18,7	22,0	11,4	25,4	—
S		0,67	6,91	0,18	0,06	—

*нв – не виявлено;

**ГДК — для виготовлення комбікормів для годівлі ВРХ, свиней та птиці.

Найвищий вміст міді в основній продукції культур 5-пільної сівозміни спостерігали за внесення другої норми мінеральних добрив, де його концентрація варіювала в межах від 2,84 до 4,84 мг/кг залежно від культури. За застосування першої норми добрив зниження вмісту міді фіксували до 2,77—4,41 мг/кг, а в

контролі (без внесення добрив) — до 2,71–4,47 мг/кг. Порівнюючи з варіантом другої норми, вміст міді у контролі був нижчим на 5–8 %, а відносно першої норми — на 2–4 %, що свідчить про позитивний вплив підвищених норм мінерального удобрення на інтенсивність акумуляції міді рослинами.

Уміст цинку в основній продукції культур сівозміни залежно від застосування різних норм мінерального удобрення коливався в межах від 19,36 до 40,61 мг/кг, що не перевищує ГДК для продовольчої продукції (50,0 мг/кг). Найвищу концентрацію цинку виявлено в зерні люпину — 39,23 мг/кг за внесення першої норми добрив та 40,61 мг/кг — за другої норми. У варіанті без добрив (контроль) уміст цинку становив 39,15 мг/кг, що на 0,08 мг/кг нижче порівняно з першою нормою та на 1,46 мг/кг — з 2-ю нормою, що свідчить про незначне, але стабільне підвищення вмісту цього елемента внаслідок удобрення.

Найменше накопичення цинку зафіксовано у зерні кукурудзи — від 19,36 мг/кг у контролі до 21,14 мг/кг у варіанті із застосуванням другої норми мінеральних добрив. Відносно низький рівень вмісту цього мікроелемента також відмічено у зерні вівса — 28,74–31,92 мг/кг, причому дещо вищі показники спостерігали за внесення першої норми добрив. Середнє значення вмісту цинку у досліді становило 31,45 мг/кг, а коефіцієнт варіації — 22 %, що свідчить про середній рівень варіабельності показника в межах досліджуваних варіантів.

Уміст свинцю, в середньому за 2015–2019 рр. був на рівні від 1,22 до 1,82 мг/кг не залежно від норм добрив і культур сівозміни. Встановлено, що вміст свинцю перевищував ГДК (0,5 мг/кг) для переробки на продовольчі цілі, а для виготовлення комбікормів для годівлі ВРХ, свиней та птиці був у межах норми (5 мг/кг).

Найвищий вміст свинцю був у зерні вівса (1,7 мг/кг — контроль, 1,82 — перша норма, 1,69 мг/кг — друга норма добрив) та люпину (1,64 мг/кг — контроль, 1,78 — перша норма, 1,69 мг/кг — друга норма добрив). Натомість, найменший рівень накопичення свинцю був у зерні кукурудзи: 1,31 мг/кг — у контролі, 1,22 — за першої норми та 1,4 мг/кг — за другої норми добрив, що свідчить про ефективність культури до зниження в основній продукції цієї токсичної речовини. З-поміж досліджуваних норм добрив дещо більший вміст свинцю був за першої норми добрив в зерні вівса і люпину, тоді як за другої норми — у зерні тритикале ярого, кукурудзи та коренеплодах буряків кормових. Середній вміст свинцю у досліді становив 1,57 мг/кг за V 11,4 %.

Уміст кадмію в основній продукції культур 5-пільної зерно-просапної сівозміни в середньому за п'ять років дослідження був у межах від 0,173 до 0,361 мг/кг за найбільшої концентрації цього елемента в коренеплодах буряків кормових: 0,351 мг/кг за першої норми, 0,361 — за другої норми добрив, тоді як у

контролі — 0,303 мг/кг, що на 0,048 за першої та на 0,058 мг/кг за другої норми більше, ніж у варіанті без внесення добрив (див. табл. 3.4).

Уміст кадмію перевищував ГДК (0,1 мг/кг) для переробки на продовольчі цілі, а для виготовлення комбікормів для годівлі ВРХ, свиней та птиці був у межах норми (ГДК 1,0 мг/кг).

Найменший вміст кадмію був у зерні тритикале (0,181 мг/кг — контроль, 0,195 — перша норма, 0,194 мг/кг — друга норма добрив) та кукурудзи (0,173 мг/кг — контроль, 0,179 — перша норма, 0,196 мг/кг — друга норма добрив), що вказує на високу ефективність цих культур щодо зниження концентрації кадмію в основній продукції. Серед норм добрив дещо більше накопичення цього елемента фіксували за другої норми. Середній вміст кадмію у досліді становив 0,235 мг/кг за V 25,4 %.

Отже, вмісту ртуті за всіма варіантами дослідів як за нормами добрив, так і за культурами сівозміни не виявлено в основній продукції (див. табл. 3.4).

Одним із пріоритетних завдань агропромислового виробництва на землях, що зазнали радіонуклідного забруднення, є отримання екологічно безпечної сільськогосподарської продукції та харчових товарів, які відповідають чинним Державним гігієнічним стандартам і гарантують мінімізацію ризиків радіаційного впливу на населення, що проживає та працює на таких територіях. Досягнення цієї мети потребує інтегрованого підходу, який містить обґрунтовані з наукової точки зору агротехнічні, агрохімічні та меліоративні заходи, спрямовані на зниження інтенсивності переходу радіонуклідів із ґрунтового середовища у рослину продукцію [34–35].

Серед агротехнічних методів особливе значення має впровадження сівозмін із вирощування культур, менш схильних до акумуляції радіонуклідів (зокрема зернових — пшениці, ячменю, тритикале). Ефективним є також застосування мінімального обробітку ґрунту, що зменшує доступність радіоактивних елементів у верхньому орному горизонті. Використання сидеральних та покривних культур також сприяє обмеженню міграції радіонуклідів шляхом їх біологічного зв'язування у фітомасі. Агрохімічні заходи базуються на внесенні добрив, здатних модифікувати склад ґрунтового розчину та змінювати конкурентність іонів, що впливають на рухливість радіонуклідів. Меліоративні заходи спрямовано на оптимізацію водного режиму, зменшення ерозійних процесів і зниження ризику вертикальної міграції радіоактивних елементів [36, 37].

Комплексне застосування цих заходів забезпечує зменшення біодоступності радіонуклідів, сприяє стабілізації агроєкосистем і створює передумови для одержання безпечної продукції навіть за умов радіоактивного забруднення [36, 38].

Одним із першочергових заходів у радіоекологічно несприятливих умовах є раціональне розміщення сільськогосподарських культур з урахуванням рівня забруднення територій, їх екологічного стану, ґрунтових характеристик та індивідуальних особливостей накопичення радіонуклідів різними культурами. Такий підхід дозволяє мінімізувати надходження радіонуклідів в отриману продукцію та перешкоджати їх поширенню харчовими ланцюгами. Зокрема, ці стратегії набувають особливого значення для агроландшафтів, забруднених після аварії на Чорнобильській АЕС.

Встановлено, що в середньому за 2015—2019 рр. рівень накопичення радіонуклідів у продукції був різним залежно від культури сівозміни та норм добрив. За вирощування вівса спостерігали помірний рівень накопичення радіонуклідів, зокрема ^{137}Cs у межах 36,8 Бк/кг у контролі та зниження його концентрації до 33,5 і 34,5 Бк/кг за внесення добрив $\text{N}_{70}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ і $\text{N}_{70}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ відповідно (табл. 3.5). Внесення мінеральних добрив сприяло зниженню вмісту ^{137}Cs на 6—9 %. Уміст ^{90}Sr у зерні вівса був на рівні 21,1 Бк/кг у контролі, тоді як за внесення першої норми добрив — 20,9, за другої норми — 20,3 Бк/кг. Тобто, зменшення радіонуклідного забруднення від застосування добрив було на рівні 1—4 %.

Визначено, що у зерні люпину рівень накопичення радіонуклідів був найвищий серед усіх досліджуваних культур, зокрема, вміст ^{137}Cs у контролі становив 837,6 Бк/кг, що у 20—30 разів перевищує рівні в зерні кукурудзи. Застосування добрив $\text{N}_{30}\text{P}_{40}\text{K}_{50}$ та $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{100}$ дещо сприяло зниженню вмісту ^{137}Cs до 754,6 та 761,7 Бк/кг відповідно, або на 9,9 % та 9,1%, однак рівень накопичення цього елемента залишився дуже високим. Уміст ^{90}Sr був на рівні 46,5—48,3 Бк/кг, що є також найвищим серед усіх досліджуваних культур. При цьому застосування добрив не дало істотного зниження (лише в межах 2—4 %). Коефіцієнт варіації був найбільшим у варіантах з добривами (до 25 %), що свідчить про нестабільність процесів акумуляції ^{90}Sr у рослинах люпину. Отже, порівнюючи з іншими культурами, люпин найбільш чутливий до накопичення радіонуклідів, що пов'язано з біологічними особливостями культури — високою здатністю до поглинання елементів із ґрунту.

За вирощування тритикале ярого спостерігали відносно низьке накопичення радіонуклідів в основній продукції, особливо ^{137}Cs . У контролі вміст ^{137}Cs у зерні становив 29,8 Бк/кг, а за внесення $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{80}$ та $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{160}$ — 29,0 і 26,5 Бк/кг відповідно, застосування добрив забезпечило зниження цього елемента на 3—11 % (див. табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Радіонуклідне навантаження в основній продукції культур 5-пільної сівозміни, середнє за 2015—2019 рр.

Варіант досліджу	¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr	
	питома активність, Бк/кг	Кп = Ар, Бк/кг / /As, кБк/м²	питома активність, Бк/кг	Кп = Ар, Бк/кг / /As, кБк/м²
Овес				
Без добрив (контроль)	36,8	0,035	21,1	1,26
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	33,5	0,037	20,9	1,29
N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	34,5	0,036	20,3	1,26
Люпин				
Без добрив (контроль)	837,6	0,827	46,5	2,81
N ₃₀ P ₄₀ K ₅₀	754,2	0,845	48,2	2,84
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₀₀	761,7	0,821	44,7	2,64
Тритикале яре				
Без добрив (контроль)	29,8	0,029	19,8	1,26
N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	29,0	0,033	18,9	1,19
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₆₀	26,5	0,028	19,7	1,18
Буряки кормові				
Без добрив (контроль)	38,1	0,036	23,1	1,36
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₆₀	35,9	0,04	22,7	1,49
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₃₂₀	34,4	0,036	24,1	1,51
Кукурудза на зерно				
Без добрив (контроль)	24,7	0,024	17,1	1,08
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₈₀	21,9	0,025	18,2	1,16
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀	21,3	0,023	18,8	1,2
Середнє	181,3	0,192	25,6	1,57
Sx	80,7	0,09	2,84	0,16
V, %	172,5	172,7	42,9	40,2
S	312,7	0,33	11,0	0,63

Уміст ⁹⁰Sr у зерні тритикале ярого коливався в межах від 18,9 до 19,8 Бк/кг. Варто зазначити, що внесення добрива дещо знизили середній рівень накопичення радіонуклідів, проте ефект був незначним. V для ¹³⁷Cs був мінімальним (10,3—16 %), що свідчить про стабільність показників за роками та ефективність агротехнічного впливу на накопичення радіонуклідів. Рівень варіабельності ⁹⁰Sr також був не значним (10,7—15 %), без різких коливань. Порівнюючи з іншими культурами, тритикале демонструє високу екологічну стабільність і низький рівень радіоактивного забруднення продукції.

Визначено, що за вирощування буряків кормових накопичення ^{137}Cs та ^{90}Sr у коренеплодах було помірним. У контрольному варіанті вміст ^{137}Cs у коренеплодах становив 38,1 Бк/кг, а за внесення $\text{N}_{120}\text{P}_{100}\text{K}_{160}$ і $\text{N}_{120}\text{P}_{150}\text{K}_{320}$ — 35,9 і 34,4 Бк/кг відповідно. Рівень накопичення ^{90}Sr у коренеплодах буряків кормових варіював у межах від 22,7 до 24,1 Бк/кг за найнижчого рівня за внесення першої норми добрив, а найбільшого — за другої норми відповідно, що вказує на можливе небажане накопичення ^{90}Sr за впливу добрив, особливо за високих норм NPK. Загалом рівень накопичення радіонуклідів в основній продукції був середнім, проте вони вирізнялися вищою варіабельністю для ^{90}Sr (10,8—13,9 %) (див. табл. 3.5).

За вирощування кукурудзи спостерігали найменше накопичення як ^{137}Cs , так і ^{90}Sr . У контролі середній вміст ^{137}Cs становив 24,7 Бк/кг, тоді як за внесення добрив ($\text{N}_{120}\text{P}_{100}\text{K}_{80}$ та $\text{N}_{120}\text{P}_{150}\text{K}_{160}$) — 21,9 та 21,3 Бк/кг відповідно, що забезпечило ефективне зниження до 13,8 % завдяки застосованих норм добрив. Уміст ^{90}Sr у контрольному варіанті був у межах 17,1 Бк/кг, а за внесення першої та другої норм добрив — 18,2 та 18,8 Бк/кг відповідно, що свідчить про тенденцію до незначного підвищення рівня забруднення зерна. У для ^{90}Sr був найвищим з-поміж усіх культур (21,5—33,4 %), тобто культура чутливо реагує на зміну фону удобрення за збереження низького загального рівня.

Отже, порівнюючи з іншими культурами, кукурудза є найбільш придатною до вирощування в умовах радіоактивного забруднення: має найнижчий рівень ^{137}Cs і ^{90}Sr , добре реагує на внесення добрив, варіабельність ^{137}Cs — низька (9,2—13,8 %) (див. табл. 3.5).

Отже, проаналізувавши отримані дані щодо схильності культур 5-пільної зерно-просапної сівозміни до накопичення радіонуклідів в основній продукції, можна зауважити, що найбезпечнішою виявилася кукурудза, а найбільш схильний до накопичення ^{137}Cs і ^{90}Sr — люпин.

4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РІЗНИХ НОРМ УДОБРЕННЯ КУЛЬТУР ЗЕРНО-ПРОСАПНОЇ СІВОЗМИНИ

У сучасних умовах господарювання аграрні підприємства стикаються з необхідністю забезпечення сталого розвитку виробництва, підвищення продуктивності сільськогосподарських культур та ефективного використання ресурсів. Водночас на тлі високої вартості матеріально-технічних ресурсів, особливо мінеральних добрив, зростає потреба в обґрунтуванні ефективності їх застосування. Одним із найважливіших інструментів такого обґрунтування є визначення економічної ефективності вирощування культур за різних агротехнологічних рішень, зокрема різних норм застосування мінеральних добрив. Вона визначається за комплексом показників, зокрема, виробничі витрати, валовий дохід, умовно чистий дохід, собівартість продукції та рівень рентабельності. Ці показники характеризують економічну доцільність застосування мінеральних добрив у конкретних умовах та дозволяють виявити найбільш ефективні варіанти удобрення в сівозміні.

Раціональне поєднання оптимального рівня мінерального живлення культур із економічним аналізом витрат на їх вирощування сприяє уникненню перевитрат добрив та зменшенню собівартості продукції, водночас забезпечуючи високу ефективність і рентабельність виробництва. Ефективність функціонування аграрного сектору значною мірою визначається збалансованим внесенням мінеральних добрив, які не лише формують урожайність, але й впливають на структуру витрат і рівень прибутковості.

У сучасних ринкових умовах особливої актуальності набуває економічна оцінка доцільності використання технологічних елементів, що слугує основою для ухвалення обґрунтованих управлінських рішень і вибору технологій вирощування, пристосованих до конкретних умов виробництва [37, 39].

З огляду на це, нами здійснено всебічний аналіз економічної ефективності вирощування культур 5-пільної зерно-просапної сівозміни за різних норм мінерального удобрення, що дозволило простежити не лише абсолютні величини економічних показників, а й їхню зміну залежно від агрогенного навантаження в агроценозах.

Аналізування узагальнених показників по сівозміні свідчить, що застосування мінеральних добрив істотно впливає на економічну ефективність вирощування культур. Зокрема, найвищу прибавку вартості валової продукції та умовно чистого прибутку спостерігали за оптимізованого рівня удобрення (перша норма добрив), відповідно до 46501 грн/га та до 12727 грн/га, або +15217 та +1703 грн/га сівозмінної площі порівняно до контролю, тоді як надмірне (збільшення норми в два рази) внесення фосфорних і калійних добрив не завжди

супроводжувалося пропорційним зростанням умовного чистого прибутку (–2137 грн/га у середньому по сівоzmіні) (табл. 4.1). Особливо це проявлялося за вирощування культур, чутливих до економічної межі ефективності застосування мінеральних добрив (наприклад, овес та люпин).

Таблиця 4.1

Показники економічної ефективності вирощування культур 5-пільної зерно-просапної сівоzmіні залежно від різних норм добрив, 2015—2019 рр.

Варіант досліджу	Виробничі витрати, грн/га	Вартість валової продукції, грн/га	Умовно чистий прибуток, грн/га	Собівартість продукції, грн/т	Рівень собівартості, %
Овес					
Без добрив (контроль)	13500	20512	7012	5265	52
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	24347	28218	3871	6903	16
N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	28619	29051	431	7881	2
Люпин					
Без добрив (контроль)	12500	15486	2986	7539	24
N ₃₀ P ₄₀ K ₅₀	20809	23222	2413	8370	12
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₀₀	24491	26874	2383	8512	10
Тритикале яре					
Без добрив (контроль)	14800	32233	17433	4041	118
N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	27846	41793	13947	5863	50
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₆₀	33391	43923	10531	6690	32
Буряки кормові					
Без добрив (контроль)	32000	46186	14186	1386	44
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₆₀	51997	71618	19621	1452	38
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₃₂₀	62252	75075	12823	1658	21
Кукурудза на зерно					
Без добрив (контроль)	28500	42002	13502	6378	47
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₈₀	43872	67655	23783	6096	54
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀	52506	70775	18269	6974	35
На 1 га сівоzmінної площі					
Без добрив (контроль)	20260	31284	11024	4922	57
НРК (перша норма)	33774	46501	12727	5737	34
НРК (друга норма)	40252	49139	8887	6343	20

Зокрема, за вирощування вівса у контрольному варіанті без застосування мінеральних добрив вартість валової продукції становила 20512 грн/га, умовно чистий прибуток — 7012 грн/га за рівня рентабельності 52 %. Внесення

мінеральних добрив у нормі $N_{70}P_{60}K_{60}$ сприяло зменшенню умовного чистого прибутку до 3871 грн/га, підвищенню собівартості продукції до 6903 грн/т, або на 31,1 % за рівня рентабельності 16 %. Тоді як збільшення норми застосування добрив ($N_{70}P_{90}K_{120}$) забезпечило отримання лише 431 грн/га умовно чистого прибутку за рентабельності 2 %, незважаючи на найвищі значення вартості валової продукції (29051 грн/га). Це вказує на перевищення економічно доцільної норми застосування мінеральних добрив, коли прибуток зменшується через збільшення виробничих витрат із 13500 грн/га у контрольному варіанті до 24347 грн/га за $N_{70}P_{60}K_{60}$ та до 28619 грн/га за інтенсивного удобрення ($N_{70}P_{90}K_{120}$), підвищення рівня собівартості продукції на 31—50 % та низький рівень рентабельності (2—16 %).

Подібну закономірність виявлено за вирощування люпину, де економічно найбільш доцільним виявився контрольний варіант (без добрив) — умовний чистий прибуток становив 2986 грн/га за рівня рентабельності виробництва 24 %, що перевищує інші варіанти з удобренням. Зокрема, у варіантах внесення, порівнюючи з іншими культурами, невисоких доз мінеральних добрив — $N_{30}P_{40}K_{50}$ та $N_{30}P_{60}K_{100}$, умовно чистий прибуток зменшився до 2413 і 2383 грн/га, або на 19,2 і 20,2 % відповідно, що свідчить про низьку економічну ефективність удобрення посівів люпину, можливо через його здатність до біологічної фіксації атмосферного азоту. Найнижчий рівень рентабельності в межах 10—12 % також спостерігали на фоні застосування мінеральних добрив, що зумовило зростання загальних виробничих витрат порівняно до контрольного варіанту (12500 грн/га) на 66,5 % за першої і на 96 % за другої норми добрив відповідно.

Застосування мінеральних добрив у посівах тритикале ярого забезпечило істотний приріст валового доходу (вартість валової продукції) — від 32233 грн/га у контролі без добрив до 41793 грн/га з внесенням $N_{90}P_{60}K_{80}$ та 43923 грн/га з унесенням $N_{90}P_{90}K_{160}$. Однак зростання загальних виробничих витрат до 27846 і 33391 грн/га, призвело до зниження умовно чистого прибутку до 13947 і 10531 грн/га за внесення мінеральних добрив $N_{90}P_{60}K_{80}$ і $N_{90}P_{90}K_{160}$ відповідно. Максимальний умовно чистий прибуток на рівні 14136 грн/га отримано у контрольному варіанті.

Найменша собівартість (5660 грн/т) та найвищий рівень рентабельності (118 %) також зафіксовані в контрольному варіанті без добрив, що свідчить про обмежену доцільність додаткового удобрення за високого генетичного потенціалу біопродуктивності культури. Результати підтверджують, що економічна ефективність добрив залежить не лише від урожайності тритикале ярого, а й від структури загальних виробничих витрат, зокрема високої вартості мінеральних добрив та зростання витрат на вирощування культури відповідно.

Розрахунки показали, що найвищий економічний ефект серед усіх культур сівозміни був за вирощування кормових буряків. У контролі (без добрив) умовно чистий прибуток становив 13502 грн/га, але за внесення $N_{120}P_{100}K_{160}$ відмічено зростання до 23182 грн/га, тоді як за збільшення норми добрив ($N_{120}P_{150}K_{320}$) прибуток знизився до 18953 грн/га, що пов'язано з різким зростанням загальних виробничих витрат до 62252 грн/га, собівартості 1 тонни коренеплодів до 1658 грн/т, або на 19,6 % порівняно з контролем та зниження рівня рентабельності виробництва до 21 %. Це підтверджує, що після певного порогу економічної доцільності застосування мінеральних добрив, ріст урожайності культури не компенсує витрати, і надлишкове удобрення стає економічно недоцільним.

Кукурудза як культура з високим біологічним потенціалом урожайності чутливо реагує на рівень мінерального живлення. Найвищий умовно чистий прибуток отримано за першої норми ($N_{120}P_{100}K_{80}$) — 12727 грн/га за відносно невисоких загальних виробничих витратах (33774 грн/га) та найвищого рівня рентабельності — 54 %. У контрольному варіанті без добрив отримано найменший умовно чистий прибуток 11024 грн/га за 47 % рівня рентабельності, тоді як за підвищеної норми добрив ($N_{120}P_{150}K_{160}$) отримано середні значення умовно чистого прибутку (18269 грн/га), найвищу собівартість 1 тонни зерна (6974 грн) та рівня рентабельності 35 %, що демонструє зниження ефективності за перевищення оптимальних норм добрив унаслідок зростання виробничих витрат, не компенсованих відповідним приростом вартості валової продукції.

Отже, у середньому по сівозміні, найбільш економічно доцільним виявився варіант застосування першої норми добрив — в розрахунку на 1 га сівозмінної площі формувався найвищий умовний чистий прибуток на рівні 12727 грн/га за собівартості одиниці продукції 5737 грн/т та рівнем рентабельності 34 %.

5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ НОРМ УДОБРЕННЯ КУЛЬТУР ЗЕРНО-ПРОСАПНОЇ СІВОЗМІНИ В УМОВАХ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Для господарств із достатнім матеріально-технічним забезпеченням доцільно застосовувати 5-пільну зерно-просапну сівозміну з такими культурами як овес, люпин, тритикале яре, буряки кормові та кукурудза на зерно. Досліджено, що застосування другої норми мінеральних добрив (під овес $N_{70}P_{90}K_{120}$, люпин — $N_{30}P_{60}K_{100}$, тритикале яре — $N_{90}P_{90}K_{160}$, буряки кормові — $N_{120}P_{150}K_{320}$, кукурудзу на зерно — $N_{120}P_{150}K_{160}$) забезпечує оптимальний баланс поживних речовин у дерново-підзолистих ґрунтах, підвищує врожайність культур сівозміни і водночас знижує коефіцієнт накопичення радіонуклідів у зерні та коренеплодах.

Упровадження такої системи удобрення забезпечує стабільний урожай зернових культур на рівні 4,75 т/га, водночас уміст сирого протеїну в зерні варіює від 11,35 до 30,59 %, що відповідає високим стандартам кормової цінності. Урожайність кормових буряків досягає 37,5 т/га, що значно підвищує загальну продуктивність сівозміни, еквівалентну 7,25 т/га зернових та 9,12 т/га кормових одиниць.

Встановлено взаємозв'язок між нормами мінеральних добрив і рівнем накопичення радіонуклідів. Збільшення рівня азотного і калійного живлення сприяє активному росту і розвитку рослин, що призводить до більш інтенсивного розподілу радіонуклідів у вегетативних частинах і зменшення їх концентрації у зерні та коренеплодах. Це дозволяє знизити надходження ^{137}Cs і ^{90}Sr в основну продукцію на 6—14 %, порівнюючи з контролем без добрив. Отже, оптимізація системи удобрення є важливим інструментом агроекологічного управління ризиками радіоактивного забруднення.

Економічний ефект від застосування другої норми добрив у межах п'ятипільної сівозміни також підтверджено розрахунками умовно чистого прибутку та рентабельності. Умовно чистий прибуток за такої умови становив 8887 грн/га, а рівень рентабельності виробництва досягав 20 %. Позитивна економічна віддача забезпечується не лише високою врожайністю зернових і кормових культур, а й зменшенням втрат продукції через підвищену безпечність її для використання у харчуванні тварин та людини.

Також важливим аспектом є інтегроване застосування добрив у поєднанні з агротехнічними заходами, такими як оптимальний обробіток ґрунту, правильне розміщення культур у сівозміні та своєчасне внесення добрив у фазі активного росту рослин. Це дозволяє максимально використовувати потенціал рослин щодо накопичення поживних речовин і зменшення транспортування радіонуклідів у цільову продукцію.

Отже, науково обгрунтоване застосування мінеральних добрив із підвищеними нормами фосфорних і калійних добрив під культури п'ятипільної зерно-просапної сівозміни є ефективним заходом для господарств із достатнім матеріально-технічним забезпеченням у зонах радіоактивного навантаження. Воно забезпечує комплексний ефект: підвищення продуктивності культур, поліпшення кормової цінності продукції, зменшення надходження ^{137}Cs і ^{90}Sr у харчову та кормову продукцію, а також підвищення економічної ефективності виробництва. Впровадження цих рекомендацій сприятиме не лише стабільності аграрного виробництва, а й підвищенню екологічної безпеки та раціонального використання ресурсів у господарствах, що функціонують у радіоактивно забруднених зонах.

Для господарств із обмеженим матеріально-технічним забезпеченням, які прагнуть отримувати продукцію рослинництва високої якості та максимальний економічний ефект, доцільно застосовувати оптимізовану систему удобрення у межах п'ятипільної зерно-просапної сівозміни. Зокрема, внесення під овес $\text{N}_{70}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$, люпин — $\text{N}_{30}\text{P}_{40}\text{K}_{50}$, тритикале яре — $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{80}$, буряки кормові — $\text{N}_{120}\text{P}_{100}\text{K}_{160}$, кукурудзу на зерно — $\text{N}_{120}\text{P}_{100}\text{K}_{80}$ забезпечує ефективний баланс між економічними витратами та агроекологічною безпекою виробництва, дозволяючи підтримувати продуктивність рослин за обмежених ресурсів.

Рекомендовані норми добрив для культур сівозміни встановлено з урахуванням потреб рослин у поживних речовинах та їх здатності до акумуляції вегетативної маси без надмірного транспортування радіонуклідів у зерно та коренеплоди.

Впровадження такої системи удобрення забезпечує бездефіцитний баланс гумусу на рівні $-0,07$ т/га з інтенсивністю 99 %, що свідчить про стабільність органічного стану дерново-підзолистого ґрунту. Баланс азоту також залишається майже бездефіцитним ($-3,1$ кг/га), тоді як фосфор і калій демонструють позитивний баланс ($+188,6$ та $+92,5$ кг/га відповідно), що підвищує родючість ґрунту та його здатність забезпечувати рослини необхідними поживними елементами протягом усієї вегетації.

Економічно важливим є те, що ця система удобрення забезпечує збір зерна з 1 га сівозмінної площі на рівні $4,49$ т/га, з умістом сирого протеїну $10,67\text{—}30,15$ %. Урожайність кормових коренеплодів становить $35,8$ т/га, що сприяє підвищенню загальної кормової цінності сівозміни. За підсумками агроекологічного та економічного аналізу, така система забезпечує продуктивність у межах $6,83$ т/га зернових та $8,63$ т/га кормових одиниць.

З точки зору радіоекології, застосування першої норми добрив сприяє зменшенню надходження ^{137}Cs і ^{90}Sr у продукцію на $3\text{—}11$ %. Це пояснюється тим, що збалансоване внесення поживних речовин стимулює розвиток

вегетативної маси, підвищує поглинання радіонуклідів листям і стеблами, обмежує їх транспортування до зерна і коренеплодів. Такий підхід дозволяє одночасно підвищувати безпеку рослинної продукції й підтримувати її якісні показники.

Економічна ефективність системи також підтверджується розрахунками: умовно чистий прибуток за цих умов становив 12727 грн/га, рентабельність — 34 %, а коефіцієнт економічної ефективності (K_{ee}) досягав 3,75. Високий рівень рентабельності зумовлений оптимальним поєднанням витрат на добрива і доходів від реалізації високоякісної продукції, що особливо актуально для господарств із обмеженим фінансовим ресурсом.

Загалом, застосування першої норми мінеральних добрив у складі п'ятипільної зерно-просапної сівозміни дозволяє забезпечити комплексний ефект: підвищення продуктивності та кормової цінності сівозміни; стабілізацію поживного режиму дерново-підзолистого ґрунту; зниження надходження ^{137}Cs і ^{90}Sr у продукцію рослинництва; отримання високого прибутку за обмежених ресурсів; підвищення економічної та екологічної стійкості виробництва.

Отже, перша норма добрив є оптимальним рішенням для господарств із фінансовими обмеженнями, оскільки забезпечує раціональне використання ресурсів, високі показники якості та безпеки продукції, а також стабільний економічний результат у зоні радіоактивного навантаження.

ВИСНОВКИ

1. В умовах дерново-підзолистих ґрунтів Полісся оптимізація системи удобрення є ключовим чинником підвищення ефективності землеробства і зменшення радіоекологічного ризику.

2. Внесення мінеральних добрив у науково обґрунтованих нормах сприяє підвищенню вмісту рухомих форм азоту, фосфору й калію, стабілізації гумусного стану та зменшенню кислотності ґрунту.

3. Застосування мінеральних добрив (помірної норми) забезпечує оптимальний баланс поживних речовин, підвищення врожайності на 25—35 % і зниження вмісту ^{137}Cs у ґрунті на 15—20 % порівняно з контролем.

4. Надмірне удобрення (подвійна норма фосфорних і калійних добрив) може спричинювати підкислення ґрунту, зростання гідролітичної кислотності й активізацію рухомості токсикантів, тому потребує обов'язкового вапнування.

5. Поєднання мінеральних добрив із органічними (гній, компости, сидерати) сприяє поліпшенню структури ґрунту, зменшенню міграції радіонуклідів і важких металів, а також підвищує біологічну стійкість агроєкосистем.

6. Найменше накопичення ^{137}Cs і ^{90}Sr у продукції зафіксовано за вирощування кукурудзи та тритикале, тоді як овес і люпин є культурами-акумуляторами, тому їх чергування у сівозміні забезпечує «самоочищення» ґрунту.

7. Для підтримання екологічної безпеки агровиробництва в зоні радіаційного забруднення необхідне регулярне агрохімічне обстеження ґрунтів, контроль вмісту радіонуклідів і коригування доз добрив у кожній ротації.

8. Використання системи удобрення на принципах адаптивності, збалансованості й екологічної стійкості забезпечує отримання високоякісної, безпечної продукції рослинництва та відновлення родючості ґрунтів Полісся.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Малиновський А. С., Дідух М. І., Романчук Л. Д. Радіологічна оцінка території безумовного (обов'язкового) відселення Житомирської області (20 років після аварії на ЧАЕС). Житомир : ДАУ, 2005. 72 с.
2. Надточій П. П., Ратошнюк В. І., Ратошнюк Т. М. Вплив добрив та обробітку на якісний стан дерново-підзолистого ґрунту та продуктивність польових культур сівозміни в умовах Житомирського Полісся. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 5(818). С. 5—15. URL: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202105-01>
3. Гамаюнова В. В., Хоненко Л. Г., Бакланова Т. В., Коваленко О. А., Пилипенко Т. В. Сучасні підходи до застосування мінеральних добрив за збереження ґрунтової родючості в умовах зміни клімату. *Наукові горизонти*. 2020. № 2 (87). С. 89—101. [10.33249/2663-2144-2020-87-02-89-101](https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-89-101)
4. Камінський В. Ф. Наукові основи оптимізації живлення рослин в сучасних системах землеробства. *Міжвід. темат. наук. зб. «Землеробство»*. Київ : 2018. Випуск 2. С. 3—6. <https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2021/04/zemlerobstvo-2-2018.pdf>
5. Погромська Я. Вплив систем удобрення на забезпеченість чорнозему звичайного рухомими формами NPK залежно від способів його обробітку. *Вісн. Львів. нац. ун-ту природокорист. Серія «Агрономія»*. 2019. № 23. С. 212—221.
6. Asanishvili N. M. Optimization of mineral nutrition of maize hybrids on the basis of plant diagnostics. *Plant and Soil Science*. 2020. 11(3). 22—32. <https://doi.org/10.31548/agr2020.03.022>
7. Tkachuk N. L., Butenko A.O., Onychko V.I., Onychko T.O., Masyk I.M., Litvinov D.V., Davydenko G.A., Kobzhev O.M., Antonovskyi O.V., Poriadynskyi V.P. Effect of growing technology on the energy crops yield in Precarpathian conditions. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021, 11(1), 126—131, doi: 10.15421/2021_18
8. OECD Nuclear Energy Agency (NEA). *Chernobyl: Chapter VI. Agricultural and environmental impacts*. Paris : OECD-NEA, 1996. 17 p. DOI: 10.1787/9789264162677-en. URL: https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_8351/chernobyl-chapter-vi-agricultural-and-environmental-impacts
9. Бобрик Н. Ю., Кривцова М. В., Ніколайчук В. І., Волощук І. С. Реакція мікробіоти ґрунту на дію важких металів у зоні впливу залізничного транспорту. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*, 2016. 24(1). С. 151.
10. Hea Z. L., Yanga X. E., Stoffellab P. J. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2005. № 19. P. 125—140.
11. Tkachuk O., Verhelis V. Intensity of soil pollution by toxic substances depending on the degree of its washout. *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24 (3). P. 52—57. URL: [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(3\).2021.52-57](https://doi.org/10.48077/scihor.24(3).2021.52-57)
12. Корсун С. Г., Довбаш Н. І. Трансформації в агроценозі кукурудзи під впливом важких металів : монографія. Київ : Аграрна наука, 2018. 192 с.

13. Ландін В. П., Чоботько Г. М., Кучма М. Д., Райчук Л. А. Подолання наслідків Чорнобильської катастрофи в агросфері України. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 2. С. 67—75. http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2017_2_11

14. Ландін В. П., Чоботько Г. М., Тараріко М. Ю., Райчук Л. А., Швиденко І. К. Еколого-економічні засади реабілітації радіоактивно забруднених земель Полісся : монографія. Київ : Аграрна наука, 2018. 214 с.

15. Броннікова Л. Ф. Формування азотного поживного режиму ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно. *Сільське господарство та лісівництво*. 2018. № 8. С. 53—61. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agf_2018_8_8

16. Корсун С. Г., Клименко І. І. Екотоксикологічний статус систем удобрення культур зерно-просапної сівозміни : монографія]. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2018. 212 с.

17. Tanchyk S., Litvinov D., Butenko A., Litvinova O., Pavlov O., Babenko A., Shpyrka N., Onychko V., Masyk I. & Onychko T. Fixed nitrogen in agriculture and its role in agrocenoses. *Agronomy Research*, 2021. 19(2), 601—611, <https://doi.org/10.15159/AR.21.086>

18. Паламарчук Р. П., Трембіцька О. І., Клименко Т. В., Федорчук С. В., Лісовий М. М. Радіологічний стан ґрунтів сільськогосподарських угідь Житомирської області. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 4. С. 36—43. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2018.155813>

19. Періодична доповідь про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення України (2011—2015 рр.). Х тур. ДУ «Держґрунтохорона». Київ, 2020. 207 с.

20. Ведення сільського господарства в умовах радіоактивного забруднення території України внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС на 1999—2002 рр. : методичні рекомендації / Прістер Б. С., Кашпаров В. О., Надточій П. П. та ін. Київ, 1998. 105 с.

21. Агроекономічне та екологічне оцінювання сівозміни : наукове видання / За ред. Харченка О. В., Міщенко Ю. Г. Суми : Мрія, 2015. 70 с.

22. Гандзало Я., Камінський В., Сайко В. Сівозміни в землеробстві України. *Аграрний тиждень*. № 4—5, 2015. С. 14—16.

23. Камінський В. Ф. Сівозміна як основа сталого землекористування та продовольчої безпеки України. *Зб. наук. праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2015. Вип 2. С. 3—15.

24. Оптимізація удобрення та родючості ґрунту в сівозмінах / За ред. А. С. Заришняка. Київ : Аграрна наука, 2015. 207 с.

25. Гамаюнова В. В., Хоненко Л. Г., Бакланова Т. В., Коваленко О. А., Пилипенко Т. В. Сучасні підходи до застосування мінеральних добрив за збереження ґрунтової родючості в умовах зміни клімату. *Наукові горизонти*. 2020. № 2 (87). С. 89—101. [10.33249/2663-2144-2020-87-02-89-101](https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-89-101)

26. Ландін В. П., Чоботько Г. М., Тараріко М. Ю., Райчук Л. А., Швиденко І. К. Еколого-економічні засади реабілітації радіоактивно забруднених земель Полісся : монографія. Київ : Аграрна наука, 2018. 214 с.

27. Чоботько Г. М., Ландін В. П., Яковець І. І., Райчук Л. А., Швиденко І. К. Радіологічно критичні екосистеми та їх роль у формуванні забруднення сільськогосподарської продукції. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 4. С. 29—35. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2018.155772>
28. Носко Б. С., Лісовий М. В., Кучир Н. О. Оптимізація доз добрив на основі ґрунтової та рослинної діагностики. *Довідник працівника агрохімслужби*. Київ : Урожай, 1991. С. 129—152.
29. Gardea-Torresdey J. L., Polette L., Arteaga S. Determination of the content of hazardous heavy metals on Larrea tridentata grown around a contaminated area. *Proceedings of the Eleventh Annual EPA Conf. On Hazardous Waste Research*. Albuquerque; NM., 2011. P. 660.
30. Meagher R. B. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. С. op. in *Plant Biol*. 2000. № 3. P. 153—162.
31. Клименко І. І. Вплив агрохімічного навантаження на рівень забрудненості сільськогосподарських культур важкими металами в зернопросапній сівозміні. *Матеріали всеукраїнської наук.-практ. конф.* Умань, 2008. Ч. 1. С. 91—92.
32. Корсун С. Г., Клименко І. І. Вплив агрохімічного навантаження на рівень накопичення важких металів культурами ланки зернопросапної сівозміни. *Агроекологічний журнал*. 2008. Спец. вип. С. 120—122.
33. Макаренко Н. А. Агроекологічна оцінка мінеральних добрив за впливом на ґрунтову систему : автореф. дис. д. с.-г. н. : 03.00.16 УААН. Київ. 2002. 16 с.
34. Біденко В. М., Кальчук Л. А., Трохименко В. З. Ефективність застосування солей і комплексонатів мікроелементів у вирощуванні люпину на радіоактивно забруднених ґрунтах. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2019. № 30. С. 9—14.
35. Barrios, E., Gemmill-Herren, B., Bicksler, A., Siliprandi, E., Brathwaite, R., Moller, S., Batello, C., & Tittonell, P. The 10 elements of agroecology: Enabling transitions towards sustainable agriculture and food systems through visual narratives. *Ecosystems and People*. 2020. 16(1). 230—247. doi: 10.1080/26395916.2020.1808705.
36. Ведення сільського господарства на радіоактивно забруднених територіях / В. Д. Виноградська та ін. Нац. доп. України «25 років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього». Київ, 2011. С. 75—91.
37. Медведєв Е. Б. Економічна ефективність вирощування сільськогосподарських культур залежно від способів обробки ґрунту і добрив у північному степу України. *Зернові культури*. Том 4. № 1. 2020. С. 209—214. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0128>
38. Barrios, E., Gemmill-Herren, B., Bicksler, A., Siliprandi, E., Brathwaite, R., Moller, S., Batello, C., & Tittonell, P. The 10 elements of agroecology: Enabling transitions towards sustainable agriculture and food systems through visual narratives. *Ecosystems and People*. 2020. 16(1). 230—247. doi: 10.1080/26395916.2020.1808705.
39. Khalep Y., & Moskalenko A. Еколого-економічні аспекти ефективності органічних рослинницьких моделей Полісся. *Agricultural and Resource Economics : International Scientific E-Journal*. 2020. 6(4). С. 5—19. <https://doi.org/10.51599/are.2020.06.04.01>