

Іваніна В.В., Іваніна Р.В., Прокоп'юк Т.П.,
Коротенко І.М., Данюк М.С., Шаповаленко Р.М.,
Гурська В.М., Табачук О.О.



СТАЛЕ ВИРОЩУВАННЯ КУЛЬТУР У СІВОЗМІНАХ:

ВІД ОСНОВ ДО СУЧАСНОСТІ

УДК 631.8: 573:631.81:631.582

I 26

Рекомендовано до друку Інститутом біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (протокол № 7 від 16.03.2026 р.)

Авторський колектив:

В.В. Іваніна, Р.В. Іваніна, Т.П. Прокоп'юк,
І.М. Коротенко, М.С. Данюк, Р.М. Шаповаленко, В.М. Гурська, О.О. Табачук

Рецензенти:

Господаренко Г.М., доктор сільськогосподарських наук, професор,
Уманський національний університет

Примак І.Д., доктор сільськогосподарських наук, професор, Білоцерківський
національний аграрний університет

Цюк О.А., доктор сільськогосподарських наук, професор, Східноукраїнський
національний університет імені Володимира Даля

С 54 Стале вирощування культур у сівозмінах: від основ до сучасності / За редакцією д.с.-г.наук, професора В.В. Іваніни / [В.В. Іваніна, Р.В. Іваніна, Т.П. Прокоп'юк, І.М. Коротенко, М.С. Данюк, Р.М. Шаповаленко, В.М. Гурська, О.О. Табачук]. 2026. 448 с.

ISBN 978-617-558-467-5

В монографії узагальнено результати досліджень стаціонарних та тимчасових польових дослідів, подано нове бачення щодо сталого вирощування культур у сівозмінах за дефіциту гною, обґрунтовано високу ефективність побічної продукції і поживних сидеральних культур у відтворенні родючості ґрунтів та сучасних агрохімічних засобів у досягненні високої врожайності сільськогосподарських культур.

Монографія розрахована на науковців, студентів сільськогосподарських навчальних закладів, керівників та спеціалістів підприємств у сфері аграрного бізнесу. Рекомендована для студентів денної і заочної форм навчання з підготовки фахівців спеціальності 201 «Агрономія» в аграрних вищих навчальних закладах.

УДК 631.8: 573:631.81:631.582

ISBN 978-617-558-467-5

DOI: <https://doi.org/10.47414/978-617-558-467-5>

© В.В. Іваніна, Р.В. Іваніна, Т.П. Прокоп'юк,
І.М. Коротенко, М.С. Данюк, Р.М. Шаповаленко,
В.М. Гурська, О.О. Табачук., 2026
© ТОВ «НІЛАН-ЛТД», 2026

ЗМІСТ

Вступ	7
Розділ 1. Сталість родючості ґрунтів та продуктивність культур у сівозмінах залежно від удобрення (Іваніна В.В., д.с.-г.н., професор, Іваніна Р.В., Прокоп'юк Т.П., Данюк М.С., Шаповаленко Р.М., доктори філософії)	9
1.1 Добрива – основа сталих і високих врожаїв	9
1.2 Вплив добрив на сталість та відродження родючості ґрунтів у сівозмінах	18
1.2.1 Поживний режим та фізико-хімічні властивості ґрунтів...	18
1.2.2 Гумус ґрунту його стабільність та відтворення	26
1.3 Ефективність біологізації та альтернативного удобрення сівозмін	31
1.4 Осучаснення та інтенсифікація систем удобрення культур	39
Розділ 2. Умови та методика проведення досліджень (Іваніна В.В., д.с.-г.н., професор, Іваніна Р.В., Прокоп'юк Т.П., Коротенко І.М., Данюк М.С., Шаповаленко Р.М., Гурська В.М., Табачук О.О., доктори філософії)	46
2.1 Умови проведення досліджень	46
2.2 Методика досліджень	48
2.3 Агрометеорологічні умови в роки досліджень	62
Розділ 3. Динаміка родючості чорноземних ґрунтів за довготривалого застосування добрив (Іваніна В.В., д.с.-г.н., професор, Іваніна Р.В., Прокоп'юк Т.П., доктори філософії)	73
3.1 Стан гумусу чорноземних ґрунтів за 20-35 річного застосування добрив у сівозмінах	73
3.2 Поживний режим чорноземів за 20-35 річного застосування добрив	94
3.2.1 Динаміка азотного фонду ґрунту	94
3.2.2 Фосфатний фонд ґрунту та його трансформація	105
3.2.3 Динаміка калійного фонду ґрунту	118
3.2.4 Фізико-хімічні властивості чорноземних ґрунтів	129
3.3 Стан родючості чорнозему вилугуваного у ланках сівозмін за 45 річного застосування добрив	138
3.3.1 Вологозабезпеченість ґрунту та використання вологи пшеницею озимою	148
3.3.2 Мікробіологічна активність чорнозему вилугуваного	153

3.4	Стан родючості чорнозему вилугуваного у сівозмінах за 50 річного застосування добрив	158
-----	--	-----

Розділ 4. Врожайність культур у сівозмінах за довготривалого удобрення (Іваніна В.В., д.с.-г.н., професор, Іваніна Р.В., Прокоп'юк Т.П., доктори філософії)		183
--	--	-----

4.1	Продуктивність буряків цукрових за 20-35 річного застосування добрив у сівозмінах	183
4.1.1	Технологічна якість коренеплодів	191
4.2	Динаміка врожайності та якості зерна пшениці озимої за 20-35 річного застосування добрив	198
4.3	Урожайність та якість зерна кукурудзи.....	207
4.4	Урожайність культур за післядії добрив.....	208
4.5	Урожайність культур у сівозмінах за 50 річного застосування добрив	211
4.5.1	Буряки цукрові	211
4.5.2	Пшениця озима	216
4.5.3	Ячмінь ярий	219
4.5.4	Соняшник	221
4.5.5	Зерно-бобові культури, бобові трави та суміші	222

Розділ 5. Продуктивність сівозмін та баланс елементів живлення у ґрунті за різних систем удобрення (Іваніна В.В., д.с.-г.н., професор, Прокоп'юк Т.П., доктор філософії)		231
---	--	-----

5.1	Продуктивність сівозмін.....	231
5.2	Баланс елементів живлення.....	244

Розділ 6. Ефективність елементів біологізації в системі удобрення сівозмін (теоретичне і практичне обґрунтування) (Іваніна В.В., д.с.-г.н., професор)		260
--	--	-----

6.1.	Біогенне навантаження на ґрунт за біологізації сівозмін ...	260
6.2.	Використання елементів живлення культурами	274
6.2.1	Коефіцієнти використання поживних речовин із ґрунту ...	274
6.2.2	Коефіцієнти використання поживних речовин із мінеральних добрив.....	276
6.2.3	Коефіцієнти використання поживних речовин із побічної продукції попередника	278
6.3.	Трансформація рослинних решток у ґрунті	283
6.3.1	Динаміка нітратного азоту за застосування побічної продукції	283

6.3.2	Вплив компенсаційної дози азоту на гуміфікацію рослинних решток у ґрунті	290
6.4.	Особливості удобрення культур за біологізації сівозмін...	294
6.4.1	Органічні добрива та їх ефективність.....	301
6.5.	Методи розрахунку доз добрив та їх застосування.....	309
6.5.1	Розрахунок доз добрив за внесення побічної продукції.....	309
6.5.2	Агроекологічна оцінка методів розрахунку доз добрив.....	315
6.5.3	Внесення добрив за біологізації сівозмін.....	317
Розділ 7. Осучаснені системи удобрення культур (Іваніна Р.В., Прокоп'юк Т.П., Коротенко І.М., Данюк М.С., Шаповаленко Р.М., Гурська В.М., Табачук О.О., доктори філософії)		
7.1	Пшениця озима	322
7.1.1	Багаторазове удобрення пшениці озимої азотом весною ...	322
7.1.2	Ефективність позакореневого підживлення пшениці озимої мікроелементами	336
7.2	Буряки цукрові	340
7.2.1	Осучаснені системи удобрення буряків цукрових	340
7.2.2	Ефективність позакорневих підживлень буряків цукрових бором і кремнієм на тлі біологізації	365
Розділ 8. Енергетична та економічна ефективність систем удобрення сівозмін (Іваніна В.В., д.с.-г.н., професор)		
8.1	Енергетична ефективність вирощування культур у сівозмінах	372
8.2	Баланс енергії ґрунту за застосування добрив	382
8.3	Еколого-енергетична ефективність агротехнологій.....	388
8.4	Економічна ефективність застосування добрив у сівозмінах.....	393
Висновки		401
Рекомендації виробництву		409
Список використаних джерел		411

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- БЦДСС – Білоцерківська дослідно-селекційна станція
ВДСС – Верхняцька дослідно-селекційна станція
ДСС – дослідно-селекційна станція
ІБКіЦБ – Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків
НААН – Національна академія аграрних наук України
УЛДСС – Уладово-Люлинецька дослідно-селекційна станція
Д.р. – діюча речовина
К.од. – кормові одиниці
Сгк – вуглець гумінових кислот
Сфк – вуглець фульфокислот

ВСТУП

Трансформація аграрного сектору України упродовж останніх трьох десятиліть призвела до різкого скорочення тваринництва та виробництва гною, заміни довогортаційних десятипільних сівозмін чотири- та шестипільними, зі структури посівних практично зникли багаторічні бобові трави. Виробництво зазнало істотного зменшення обсягів застосування органічних та мінеральних добрив, що порушило баланс гумусу у ґрунті на тлі різкого дефіциту елементів живлення. Така агрономічна практика призвела до падіння родючості ґрунтів, спричинила їх деградацію, а виробництво аграрної продукції набуло ознак нестабільності.

У нових економічних реаліях аграрний сектор України потребує альтернативних зважених підходів з впровадження вуглецево нейтральних технологій, екологічно збалансованих систем удобрення, які забезпечать відтворення родючості ґрунтів та сформують сталі засади виробництва сільськогосподарської продукції.

Одним із перспективних напрямів на шляху сталого землеробства є впровадження альтернативних органо-мінеральних систем удобрення, які передбачають використання на добриво побічної продукції, поживних сидеральних культур, оптимізації доз внесення мінеральних добрив та залучення до системи удобрення біологічного азоту шляхом збільшення частки зернобобових культур у сівозмінах. Альтернативні підходи в системі удобрення насичують ґрунт органічною речовиною, зменшують на 30-40% винос із ґрунту елементів живлення і за рахунок рециркуляції залучають значний ресурс поживних речовин до повторного їх використання. Це дозволяє вирішити проблему відтворення родючості ґрунтів, підвищити врожайність культур, залучаючи при цьому внутрішні ресурси агроecosystem.

Вивченню питань біологізації та альтернативного органо-мінерального удобрення сільськогосподарських культур у сівозмінах присвячені дослідження А.Д. Балаєва, О.І. Наумовської, П.П. Надточія [5], Л.А. Барштейна, І.С. Шкаредного, В.М. Якименка [9], О.О. Бацули, М.В. Лісового [16], О.М. Берднікова [20], Е.Г. Дегодюка [76], В.І. Кисіля [159], В.М. Польового [247], В.Ф. Сайка [264], О.Г. Тараріки [286], Ю.О. Тараріки [293], М.К. Шикучи [354] та ін.

Матеріали цієї монографії є продовженням зазначених наукових напрацювань, присвячені вивченню ефективності заходів біологізації

та альтернативного удобрення у сівозмінах різної структури, дослідженню колообігу вуглецю і елементів живлення, їх впливу на природну та ефективну родючість чорноземних ґрунтів. В основу монографії покладено фундаментальні дослідження, які проводились у довготривалих стаціонарних польових дослідах Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН закладених у другій половині минулого століття. Дослідження охоплюють період від 20 до 50 років. Значна увага приділяється питанням трансформації органічної речовини у ґрунті, адже побічна продукція і сидерати істотно відрізняються від традиційного органічного добрива гною за хімічним складом, співвідношенням вуглецю і азоту, що істотно впливає на темпами їх мінералізації і особливості формування поживного режиму ґрунту.

За сприяння і надану вагому підтримку у проведенні польових, експериментальних та аналітичних досліджень автори висловлюють щире вдячність – директору Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків доктору с.-г. наук, професору, академіку НААН, М.В. Роїку, директору Верхняцької ДСС кандидату с.-г. наук Т.В. Колібабчук, провідним науковцям Білоцерківської ДСС кандидатам с.-г. наук О.Т. Петровій, Ю.П. Дубовому, С.М. Сінчук, завідувачці лабораторії агрохімії Уладово-Люлинецької ДСС Г.М. Мазур, особлива вдячність доктору с.-г. наук, професору

Я.П. Цвею
Г.А. Сенчук

 та провідному аналітику лабораторії агрохімії ІБКіЦБ

Г.А. Сенчук

.

1.1 Добрива – основа сталих і високих врожаїв

П.А. Власюк [42] зазначав: «... добрива є найбільш швидким і ефективним засобом підвищення врожайності сільськогосподарських культур».

Згідно досліджень М.В. Лісового [178], не менше третини сільськогосподарської продукції одержують за рахунок дії мінеральних добрив. Їх частка в формуванні врожаю культур у зонах Полісся і Лісостепу становить близько 30%, зони незрошуваних і зрошуваних земель Степу – відповідно 20 і 40%.

Дослідження М.М. Мартиновича, Л.І. Мартинович [197], які проводили впродовж 20-30 років ХХ ст. на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому в умовах зерно-бурякової сівозміни показали, що тривале застосування мінеральних добрив підвищило врожайність багаторічних трав – на 5%, вико-житньої сумішки – на 26%, пшениці озимої, залежно від розміщення в сівозміні – на 6-19%, буряків цукрових – на 12-25%, кукурудзи – на 6-10%, гороху – на 8%, ячменю – на 18%.

В дослідженнях Л.А. Барштейна, І.С. Шкаредного, В.М. Якименка [8], П.А. Власюка [41], М.М. Мартиновича, Л.І. Мартинович [194, 197], В.М. Якименка, В.Л. Теселька, Н.Н. Кожуховського [367], Ю.А. Тонкаля [294, 296], Я.П. Цвея [314], П.М. Шиїна [357] було встановлено, що ефективність добрив змінюється залежно від рівня родючості ґрунту, доз і способу їх застосування, збалансованості за елементами живлення, розподілу добрив між культурами сівозміни тощо.

Серед культур зерно-бурякової сівозміни найвибагливішими до умов мінерального живлення є буряки цукрові. Вони потребують значно більшої кількості поживних речовин для формування біомаси порівняно з іншими культурами [11, 58, 184, 314, 361, 367].

Буряки цукрові досить чутливі до умов азотного живлення. Надмірне споживання азоту, особливо в другій половині

вегетатійного періоду, подовжує розвиток буряків цукрових, веде до зниження цукристості та погіршує технологічні якості коренеплідів [41, 361, 395].

В дослідженнях з використанням стабільного ізотопу ^{15}N П.М. Шияном [360] встановлено, що у буряків цукрових відсутні механізми, які регулюють споживання азоту з поживного середовища. Тому для уникнення надмірного азотного живлення вони потребують оптимізації доз внесення азотних добрив з урахуванням запасів мінерального азоту ґрунту.

За вирощування буряків цукрових в ланці з багаторічними бобовими травами у ґрунті формуються значні запаси біологічного азоту [228]. На думку С.І. Руцкої, Ю.А. Тонкаля, В.П. Правілова [259], Ю.А. Тонкаля, В.С. Охмакевич [299], Н.К. Шиманської [356] за таких умов дозу внесення азотних добрив під буряки цукрові можна зменшувати на 40-60 кг/га.

Пом'якшення негативного впливу азоту на технологічну якість коренеплідів буряків цукрових можна досягти за збільшення частки фосфору і калію у складі добрив [299, 414].

За даними Ю.А. Тонкаля [296] за вирощування буряків цукрових у ланці з багаторічними бобовими травами у складі мінерального добрива має переважати частка фосфору і калію по відношенню до азоту. Оптимальним співвідношенням N:P:K для буряків цукрових у ланці з багаторічними травами було 1:1,3-1,6:1,1-1,4; ланці з горохом – 1:1,2-1,4:1,1-1,4. При цьому на чорноземі опідзоленому та типовому вилугуваному важкосуглинковому (умови нестійкого зволоження) оптимальною дозою у ланці з конюшиною є $\text{N}_{80}\text{P}_{100}\text{K}_{90}$ та $\text{N}_{70}\text{P}_{110}\text{K}_{100}$, чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому (умови достатнього зволоження) – $\text{N}_{95}\text{P}_{120}\text{K}_{135}$; у ланці з горохом відповідно $\text{N}_{110}\text{P}_{135}\text{K}_{120}$, $\text{N}_{80}\text{P}_{110}\text{K}_{110}$ та $\text{N}_{100}\text{P}_{130}\text{K}_{140}$.

Важливу роль в оптимізації мінерального живлення культур зерно-бурякової сівозміни має поєднання застосування органічних та мінеральних добрив [170, 294, 295]. П.А. Власюк, П.З. Лісовал [42] писали «Максимальні врожаї досягаються комбінацією гною і мінеральних добрив, яка дозволяє достатньо забезпечити рослини засвоєною поживою на перших стадіях розвитку і дати в той же час у вигляді гною резерв, поступово переходячи в дію мінеральних добрив». Перевагу органо-мінеральній системі удобрення в сівозмінах з буряками цукровими віддавали І.Ф. Бузанов, Ю.А. Тонкаль, А.І. Остроушко [31], Ю.А. Тонкаль, І.І. Череднічок [297].

За органо-мінеральної системи удобрення в умовах зерно-бурякової сівозміни (з внесенням гною під просапні культури) в середньому за 20-30 років врожайність буряків цукрових підвищилась до початкового на 22-33%, кукурудзи на зерно – на 22-25%, ячменю – на 42%, вико-житньої сумішки – на 38%, що порівняно з мінеральною системою удобрення було вищим відповідно на 8-10%, 15-16%, 24% та 12% [197].

Дія гною за даними Ю.А Тонкаля, Н.К. Шиманської [300], не обмежується роком його застосування. Зазвичай післядія 20-40 т/га гною на сірих лісових ґрунтах триває 6-8, на чорноземах – до 18 років. Поєднання внесення гною та мінеральних добрив не тільки підвищувало врожайність коренеплодів буряків цукрових, але й дозволяло раціонально їх застосовувати та отримувати економічний зиск.

Ефективність внесення органічних добрив значно залежить від умов зволоження. Найефективнішою дозою в умовах достатнього зволоження було внесення 30-40 т/га гною. Приріст урожайності коренеплодів становив 3,4-4,3 т/га, збору цукру – 0,5-0,9 т/га [250].

В умовах нестійкого та недостатнього зволоження за зростання посушливості клімату доцільним і економічно виправданим є внесення менших доз органічних добрив відповідно 30 та 20-30 т/га. Приріст урожайності коренеплодів порівняно з умовами достатнього зволоження на одну тонну внесеного гною зменшувався на 42-68% [282].

В дослідженнях Л.А. Барштейна, І.С. Шкаредного, В.М Якименка [8], Ю.А. Тонкаля, Н.К Шиманської [300] спостерігали зменшення ефективності мінеральних добрив на фоні внесення гною.

За органо-мінеральної системи удобрення застосування високих доз мінеральних добрив є мало ефективним, оскільки веде до зменшення цукристості та погіршення технологічних якостей коренеплодів [32, 103].

За поєднання внесення органічних і мінеральних добрив дозу останніх необхідно оптимізувати з урахуванням кількості поживних речовин у складі органічних добрив, забезпеченості ґрунту елементами живлення та системи ведення сівозміни. До тих же висновків приходять ряд зарубіжних учених [380, 436].

У Німеччині з 1975 по 2000 р. внаслідок оптимізації системи удобрення кількість внесення азотних добрив під буряки цукрові зменшилась з 189 до 154; калійних – з 147 до 63; фосфорних – з 103 до 25 кг/га, а врожайність коренеплодів буряків цукрових зросла з 42,7 до

54,1 т/га, цукристість – з 16,4 до 17,0% [424]. За даними В. Märlander, С. Hoffmann, Н.Ј. Koch, Е. Ladewig [445] оптимальною дозою внесення мінеральних добрив для отримання врожайності коренеплодів буряків цукрових 50-55 т/га є $N_{120}P_{100}K_{140}$. При цьому фосфорні і калійні добрива вносять під оранку, азотні – у передпосівну культивуацію N_{90} та ґрунтове підживлення N_{30} (фаза змикання листків у рядку).

У Франції згідно досліджень J.T. Tsialtas, N. Maslaris [471] під урожайність коренеплодів буряків цукрових 50 т/га оптимальною дозою внесення мінеральних добрив на фоні 20 т/га гною є $N_{130}P_{110}K_{200}$.

Згідно досліджень А.Р. Draycott, D.R. Cristenson [404], К.W. Jaggard, M.J. Armstrong [428] у Великій Британії для отримання врожайності коренеплодів 55-60 т/га оптимальною дозою внесення мінеральних добрив на фоні органічних добрив є $N_{120}K_{150}$. Фосфорні добрива під буряки цукрові не вносять із-за високого забезпечення ґрунтів рухомим фосфором. Кращим калійним добривом є калійна сіль, яка передбачає внесення значної кількості натрію.

Дослідження проведені на Верхняцькій і Білоцерківській дослідно-селекційних станціях свідчать, що збільшення доз добрив під буряки цукрові з $N_{90}P_{105}K_{90}$ до $N_{155}P_{165}K_{173}$ не мало переваги за показником збору цукру [8].

І.Ф. Бузанов, Ю.А. Тонкаль, А.І Остроушко [31] на основі результатів проведених досліджень прийшли до висновку, що в умовах Правобережного Лісостепу найоптимальнішою дозою мінеральних добрив під буряки цукрові було внесення $N_{70-80}P_{100-120}K_{80-100}$.

В.М. Якименко, В.Л. Теселько, Н.Н. Кожуховський [367] вважають, що оптимізація доз мінеральних добрив під буряки цукрові повинна враховувати структуру сівозміни. На чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому у сівозміні з 10-20% буряків цукрових найбільший збір і вихід цукру з 1 га ріллі досягався за внесення 20 т/га гною + $N_{90}P_{90}K_{90}$, з 30% – 20 т/га гною + $N_{120}P_{120}K_{120}$. На чорноземі типовому середньосуглинковому з вищим потенціалом природної родючості в ланці з багаторічними травами і горохом ці показники були кращі за внесення 20 т/га гною + $N_{40}P_{50}K_{50}$, ланцюзі з кукурудзою – за подвоєної дози мінеральних добрив на фоні гною.

На основі узагальнення даних мережі дослідних установ Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків розроблено рекомендації згідно яких, для отримання врожайності коренеплодів на рівні 35-40 т/га за обмежених ресурсів застосування гною рекоменду-

ється вносити мінеральні добрива на чорноземі типовому вилугуваному в дозі $N_{80-100}P_{90-110}K_{70-110}$, чорноземі опідзоленому і темно-сірому опідзоленому ґрунтах – $N_{90-100}P_{80-110}K_{100-130}$ [270].

За нинішніх умов господарювання на фоні різкого скорочення виробництва і внесення органічних добрив потребують поглибленого вивчення альтернативні на основі сидератів і побічної продукції системи орґано-мінерального удобрення.

Ефективність застосування мінеральних добрив під зернові культури залежить від їх фізіологічних особливостей, доз і співвідношення елементів живлення та попередника [82, 254].

Згідно рекомендацій Миронівського інституту пшениці оптимальною дозою мінеральних добрив під пшеницю озиму, яку вирощують після просапних культур є $N_{110}P_{70}K_{70}$, зернових бобових – $N_{80}P_{60}K_{60}$, багаторічних бобових трав – $N_{40-60}P_{60}K_{60}$. Сучасні сорти пшениці озимої потребують посиленого азотного живлення і добре відзиваються на внесення мінеральних добрив зі співвідношенням N:P:K рівним 1,5:1:1 [61].

Дослідження Г.Г. Дуди, Г.П. Жемели [91] свідчать, що ефективність внесення добрив під пшеницю озиму залежала від співвідношення елементів живлення у ґрунті і мала тенденцію до зменшення з півночі на південь – з 31-42% в Нечорноземному районі до 14-23% в Центральном-чорноземному.

За даними досліджень В.Н. Ремесла, В.Ф. Сайка [253] ефективним способом внесення азотних добрив під пшеницю озиму є позакореневе підживлення. Обприскування посівів пшениці озимої розчином сечовини у фазі молочно-воскової стиглості підвищує вміст білка в зерні і покращує його якість.

Вирощування пшениці озимої після бобових попередників сприяло покращенню якості зерна [189].

На Білоцерківській дослідній станції в середньому за 7 років уміст клейковини в борошні пшениці озимої, яку сіяли після багаторічних трав і гороху, був вищим, ніж після попередника кукурудзи на силос – відповідно на 2,8 і 2,2% [8].

На Іванівській дослідній станції уміст клейковини і протеїну в борошні та скловидність зерна пшениці озимої після попередника виковісної сумішки становили 29,8, 13,7 і 88,9%, а після кукурудзи на зелений корм – 27,7, 13,7 і 87,1% [8].

Позитивний вплив на якість зерна пшениці озимої мали способи застосування добрив та їх збалансованість за елементами живлення.

Збільшення частки азоту у складі добрив та проведення декількох підживлень азотними добривами покращувало білковість зерна та його хлібопекарські якості [94].

У країнах Західної Європи отримання врожайності зерна пшениці озимої 8-10 т/га потребує внесенням високих доз мінеральних добрив. За даними О. Kozlovsky, J. Balík, J. Cerny [437] у Чехії для отримання врожайності зерна пшениці озимої 8,5-9,5 т/га вносять $N_{150}P_{110}K_{120}$. Фосфорно-калійні добрива застосовують під оранку, азотні у три прийоми: по мерзлоталому ґрунту N_{90} , у передпосівну культивуацію – N_{30} та позакоренево у фазі молочно-воскової стиглості – N_{40} .

За даними W. S. Wilson, K. L. Moore, A. D. Rochford, L. V. Vaidyanathan [479] у Великій Британії для отримання врожайності зерна пшениці озимої 9 т/га вносять $N_{120-210}P_{35-45}K_{100-130}$. Застосування добрив є диференційованим і залежить від індексу забезпечення ґрунту елементами живлення. За високого рівня забезпечення доза мінеральних добрив становить $N_{120}P_{35}K_{100}$, азотні добрива вносять у два прийоми: 1/3 у передпосівну культивуацію, 2/3 – у фазі кушення. За середнього рівня забезпечення доза добрив зростає до $N_{180-210}P_{45}K_{130}$, азотні добрива вносять у три прийоми: 1/4 – у передпосівну культивуацію, 1/2 – у фазі кушення, 1/4 – у позакоренево підживлення в фазі молочно-воскової стиглості.

За даними С. David, M. Valantin-Morison, D. Makowski, M. Jeuffroy [396] у Франції для отримання врожайності 9-10 т/га під пшеницю озиму вносять $N_{180}P_{130}K_{150}$. При цьому азотні добрива вносять у передпосівну культивуацію – N_{60} , фазі кушення – N_{80} та позакоренево у фазі молочно-воскової стиглості – N_{40} .

Отже, дози добрив під пшеницю озиму повинні відповідати рівню запланованої врожайності, враховувати забезпеченість ґрунту елементами живлення, ланку сівозміни та біологічні особливості сорту.

Кукурудза на зерно у зерно-буряковій сівозміні вирощується після пшениці озимої або буряків цукрових. Ефективність добрив під цю культуру визначається дозами внесених добрив і місцем культури в сівозміні.

За даними М.В. Козлова, А.А. Плішка [161] для забезпечення врожайності зерна 6,0-8,0 т/га в зоні Лісостепу на чорноземних ґрунтах необхідно вносити за мінеральної системи удобрення $N_{120-150}P_{90-120}K_{120-150}$, на фоні 30-40 т/га гною – $N_{90-120}P_{60-90}K_{90-120}$.

П.І. Бойко [24] вважає, що провідним чинником високої продуктивності кукурудзи на зерно є сівозміна, яка дозволяє розміщення цієї культури після кращих попередників: еспарцету, гороху, пшениці озимої та буряків цукрових. Приріст урожайності від сівозмінного фактору становив 0,35-1,43, оптимальних доз добрив – 0,48-1,20 т/га. Кращою дозою мінеральних добрив за вирощування кукурудзи на зерно на чорноземі типовому малогумусному після пшениці озимої було $N_{120}P_{80}K_{120}$, гороху – $N_{60}P_{40}K_{60}$, що забезпечило врожайність зерна на рівні 5,6-6,5 т/га.

В країнах Західної Європи внесення мінеральних добрив під кукурудзу на зерно поєднують із застосуванням на добриво зеленої маси сидеральних культур таких як люпин, ріпак, гірчиця біла, редька олійна. За даними М. Boh, J. Germer, T. Muller, J. Sauerborn [391], T.L. Roberts [460] у Франції для отримання врожайності зерна 9-10 т/га під кукурудзу вносять $N_{180}P_{100}K_{100}$. Фосфорні і калійні добрива застосовують під оранку, азотні у два прийоми: 1/3 норми у передпосівну культивуацію, 2/3 норми – у фазі 6-8 листків.

За даними R.G. Hoefl [423], E.D. Nafziger, J.E. Sawyer, R.G. Hoefl [452] в США оптимальною дозою мінеральних добрив для отримання врожайності зерна кукурудзи понад 10 т/га на сході кукурудзяного поясу є $N_{170}P_{80}K_{80}$, заході – $N_{150}P_{50}K_{60}$. Фосфорні і калійні добрива застосовують під основний обробіток ґрунту, азотні – 2/3 у передпосівну культивуацію, 1/3 – після появи сходів шляхом ґрунтового підживлення у міжряддя на глибину 8-10 см.

Отже, кукурудза на зерно добре відзивається на внесення добрив і їх післядію, вибаглива до попередників, потребує оптимізації доз застосування добрив з урахуванням особливостей гібриду та сівозмінного фактору.

Ячмінь ярий в зерно-буряковій сівозміні висівають переважно після буряків цукрових. Елементи живлення із ґрунту рослини ячменю найінтенсивніше використовують у першій половині вегетації. За даними А.І. Буджерак [28], до кінця фази куцнення ячмінь засвоює майже половину азоту та фосфору і 75% калію від загального виносу.

У зерно-буряковій сівозміні ячмінь ярий вирощують по післядії добрив, переважно після буряків цукрових. Основну роль в його живленні відіграє доза органічних і мінеральних добрив внесена під попередник, інтенсивність процесів мінералізації гною та ступінь закріплення елементів живлення ґрунтом.

Застосування подвійної дози добрив під буряки цукрові на чорноземі типовому вилугуваному в умовах Білоцерківської ДСС підвищило врожайність ячменю в післядії на 1,15, потрібної дози – на 1,70 т/га порівняно з варіантом без добрив (2,0 т/га). За окультурення ґрунту врожайність ячменю ярого зростала у варіантах досліду на 17,8-27,9%. При цьому без добрив урожайність коренеплодів зростає до 2,52, за подвійної дози – 4,03, потрібної – 4,36 т/га [8].

Однорічні і багаторічні бобові трави та горох у зерно-буряковій сівозміні розміщують переважно після буряків цукрових і ярих зернових культур як попередник пшениці озимої. Це дає змогу поповнити ґрунт біологічним азотом, збільшити кількість органічної речовини у ґрунті за рахунок кореневих решток та оптимізувати умови мінерального живлення пшениці озимої [8, 259, 263].

За науково обґрунтованих систем удобрення з урахуванням особливостей ґрунту, кліматичних умов та біологічних особливостей вирощуваних культур можна підвищити продуктивність сівозміни і забезпечити високі показники рентабельності виробництва [18, 47, 197, 322, 367].

Дослідження М.М. Мартиновича, Л.І. Мартинович [198] свідчать, що в умовах нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому найефективнішою була органо-мінеральна система удобрення з внесенням на 1 га ріллі 7,7 т гною + $N_{18}P_{22}K_{20}$. За п'ять ротаций продуктивність зерно-бурякової сівозміни зростає в середньому за органо-мінеральної системи удобрення на 24%, тоді як за мінеральної – на 17%. Зміни співвідношення елементів живлення та дози добрив, а також перерозподіл добрив між культурами не привели до росту продуктивності сівозміни.

В дослідженнях В.М. Якименка, В.Л. Теселька, Н.Н. Кожуховського [367], які проводили в умовах достатнього зволоження на чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому, вищі показники продуктивності зерно-бурякової сівозміни досягали за внесення на 1 га ріллі 6 т гною + $N_{56}P_{50}K_{60}$ та 9 т гною + $N_{42}P_{38}K_{45}$ і становили відповідно 7,81 та 8,03 т к.од./га, що на 2,31 та 2,53 т к.од./га було більшим, ніж на контролі без добрив.

За нестійкого зволоження на чорноземі вилугуваному середньосуглинковому, за даними Л.А. Барштейна, І.С. Шкаредного, В.М. Якименка [8], оптимальною дозою добрив в 10-пільній зерно-буряковій сівозміні було внесення 6 т гною + $N_{42}P_{38}K_{45}$ на 1 га сівозмінної площі. У варіанті без добрив загальна кількість кормових

одиниць в першій ротації становила 6,28, у другій – 4,87, за органо-мінеральної системи удобрення відповідно 9,11 та 8,84 т к.од./га.

За нестійкого зволоження на чорноземі типовому слабосолонцюватому, за даними Я.П. Цвея, А.М. Горобця [322], оптимальною дозою добрив у короткоротаційних зерно-бурякових сівозмінах було внесення 6,25 т гною + $N_{33,8}P_{45}K_{33,8}$ на 1 га ріллі. Продуктивність плодозмінної сівозміни в середньому за період шести ротацій становила 6,70, зернової – 5,23, парової – 6,49, просапної – 6,82 т к.од./га. Наявність в сівозміні бобових культур підвищувало її продуктивність на 0,67-1,45 т к.од./га.

На думку багатьох вчених, продуктивність сівозміни значно залежить від раціонального розподілу добрив між культурами [294, 296]. За даними Ю.А. Тонкаля [294], за внесення оптимального складу і помірних доз мінеральних добрив в умовах зерно-бурякової сівозміни найбільшу віддачу приростом урожаю одержано на буряках цукрових, пшениці озимій, кукурудзі на зерно. За цим принципом, на думку дослідників, має визначатись черговість внесення добрив у сівозміні. Культури з низькою віддачею від внесення добрив повинні використовувати їх у післядії.

Важливе значення для формування високопродуктивних сівозмін в тривалій перспективі, оцінки ефективності застосування добрив, корегування їх доз та розроблення екологічно збалансованої системи удобрення має показник балансу елементів живлення у сівозміні [340, 344].

На чорноземі вилугуваному у тривалому стаціонарному досліді внесення 6 т гною + $N_{50}P_{61}K_{66}$ на 1 га ріллі забезпечило позитивний баланс фосфору, на тлі від'ємного балансу азоту і калію. За збільшення дози мінеральних добрив до $N_{100}P_{132}K_{132}$ в сівозміні досягається позитивний баланс усіх елементів живлення [245].

За даними Л.А. Барштейна, І.С. Шкаредного, В.М Якименка [8] баланс елементів живлення в сівозміні помітно залежав від її структури. Насичення сівозміни зерновими культурами збільшувало дефіцит балансу фосфору, цукровими буряками – дефіцит балансу азоту та калію.

Дослідження А.С. Заришняка, В.В. Іваніни, Н.К. Шиманської, Г.Н. Мазур [100], А.П. Лісовала, Н.П. Сорокотяга, О.Г. Коваленка [175], Я.П. Цвея, Н.К. Шиманської [340], В.П. Черепанова, В.М Якименка [344] свідчать, що стабілізація балансу елементів живлення у сівозмінах відбувається за органо-мінеральної системи удобрення.

Отже, ефективність добрив в умовах зерно-буракової сівозміни залежить від оптимізації доз, строків та способів їх застосування під окремо взяті культури з урахуванням біологічних особливостей їх розвитку, попередників, ґрунтово-кліматичних умов та технологій вирощування. Застосування добрив у сівозміні повинно бути диференційованим. Першочергово їх вносять під культури, які забезпечують найвищу віддачу приростом урожаю (буряки цукрові, пшениця озима, кукурудза на зерно), решта культур використовує післядію добрив.

Порівняння даних досліджень дає підстави стверджувати, що основою високої продуктивності культур зерно-буракової сівозміни є органо-мінеральна система удобрення. Поєднання внесення органічних і мінеральних добрив забезпечує врівноважений баланс органічної речовини і елементів живлення у ґрунті, створює збалансоване та рівномірне впродовж періоду вегетації мінеральне живлення рослин, сприяє отриманню високої врожайності культур та формує основи для ведення господарства на засадах сталого землекористування.

1.2 Вплив добрив на сталість та відродження родючості ґрунтів в умовах сівозмін

1.2.1 Поживний режим та фізико-хімічні властивості ґрунтів

В системі сучасного землеробства добрива залишаються одним з найдієвіших засобів впливу на екологічну і функціональну стабільність агроєкосистем. Внесення добрив сприяє стабілізації балансу поживних речовин та енергії в системі «ґрунт-рослина», формує основу для простого та розширеного відновлення родючості ґрунтів. Ступінь впливу добрив на ґрунтову систему залежить від їх хімічної природи, дози застосування та направленості процесів трансформації добрив у ґрунті [10].

Застосування мінеральної системи удобрення призводить до рельєфно виражених трансформаційних змін поживного режиму ґрунтів [55, 61, 178, 193, 315, 328, 330].

Вивчення впливу азотних добрив на ґрунт в дослідженнях А.П. Лісовала, Н.П. Сорочотяга, О.Г. Коваленка [175], Л.І. Мартинович, М.М. Мартиновича [193], І.У Марчука, Л.А Яценка [199], А.І. Фатєєва [304], П.М. Шияна, О.М. Ляшенка, Б.Т. Прокопчука [357], П.М. Шияна [358], П.М. Шияна, В.М. Бондаренко [360, 362], G.M. Bernston, J.D. Aber [387],

D.S. Jenkinson [432] показало, що застосування технічного азоту мінеральних добрив порушує в ґрунті природну рівновагу між процесами азотфіксації-денітрифікації, іммобілізації-мінералізації, зумовлюючи додаткову мобілізацію ґрунтового азоту.

За внесення N_{200} на чорноземі типовому вилугуваному під буряки цукрові, в дослідженнях з ^{15}N , процеси мінералізації органічного азоту ґрунту майже удвічі перевищували іммобілізацію азоту добрив. За період вегетації буряків цукрових кількість іммобілізованого азоту добрив становила лише 47% від обсягів мінералізації азоту ґрунту [358].

Внесення технічного азоту добрив підвищує вміст нітратного азоту у ґрунті. За високих доз застосування азотних добрив істотно зростають непродуктивні його втрати в результаті процесів вимивання та емісії [451, 455].

В дослідженнях Я.П. Цвея [315] на чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому в умовах достатнього зволоження зони Лісостепу встановлено, що внесення мінеральних добрив збільшувало у ґрунті вміст нітратного азоту в період сходів цукрових буряків по всьому метровому шарі ґрунту.

У тривалих польових дослідженнях Л.І. Мартинович, Н.Н. Мартиновича [193] на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому в умовах нестійкого зволоження зони Лісостепу відмічали значне збагачення нітратним азотом нижніх шарів ґрунту, які істотно переважали його вміст в орному шарі. В умовах зерно-бурякової сівозміни у варіанті без внесення добрив за межі орного шару вимито 60% всього нітратного азоту, а за внесення добрив – 64-67%. При цьому в роки з меншою кількістю опадів більше нітратного азоту під буряками цукровими концентрується в шарі ґрунту 0-40 см, більшою – 60-80 см.

В дослідженнях А.Я. Гетманця [55], Г.М. Господаренка [61] за систематичного застосування азотних добрив спостерігали вимивання нітратів у глибші шари ґрунту в районах з дефіцитом вологи на чорноземах звичайних і південних.

Лізиметричними дослідженнями В.Ф. Зубенка, П.М. Шияна [120] з використанням ^{15}N встановлено, що за вимивання азоту за межі кореневмісного шару ґрунту основна частка належала азоту ґрунтового походження.

Зменшенню непродуктивних втрат азоту сприяло застосування амонійних та амідних форм азотних добрив. Дослідження П.М. Шияна

[363] свідчать, що закріплення ґрунтом амонійних і особливо амідних форми азоту проходить значно інтенсивніше, ніж нітратних, що, в свою чергу, зменшує втрати азоту внаслідок вимивання та денітрифікації.

Оптимальні умови азотного режиму ґрунту в зерно-бураковій сівозміні, на думку А.П. Лісовала, Н.П. Сорочотяга, О.Г. Коваленка [175], І.У Марчука, Л.А Яценка [199] Я.П. Цвея, О.І. Недашківської, М.О Кіселевської [335], які сприяють накопиченню в достатній кількості мінеральних сполук азоту в ґрунті впродовж вегетації, стабілізують вміст азоту в органічних фракціях та мінімалізують його непродуктивні втрати, створюються за орґано-мінеральної системи удобрення.

За даними К.Л. Загорча [96], систематичне тривале застосування підвищених доз гною і мінеральних добрив збільшувало запаси загального азоту ґрунту, вміст легко гідролізованих фракцій та частки мінеральних сполук, що свідчить про покращення родючості ґрунту.

В дослідженнях Л.І. Мартинович, М.М. Мартиновича [193] вивчали вплив тривалої дії добрив за мінеральної та орґано-мінеральної систем удобрення на вміст потенційно-доступного азоту у ґрунті. По завершенню п'яти ротацій зерно-буракової сівозміні в умовах нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому вміст потенційно-доступного азоту за мінеральної системи зростав в орному шарі на 49%, орґано-мінеральної – на 77% до початкового. Систематичне застосування мінеральних та орґанічних добрив спричиняло позитивні зміни і в глибших шарах, аж до глибини одного метра. На кінець 50-го року проведення досліджень в метровому шарі кількість потенційно доступного азоту за мінеральної системи зросла на 24%, орґано-мінеральної – на 45% порівняно з контролем. При цьому вміст мінерального азоту підвищувався по всьому 1,5-метровому профілю ґрунту.

Зростання запасів ґрунтового азоту та підвищення його стабільності в умовах зерно-буракової сівозміні спостерігали за вирощування багаторічних бобових трав. Дослідження Л.А. Барштейна, І.С. Шкаредного, В.М Якименка [8], В.Г. Молдован, Л.С. Квасницької [213], Н.К. Шиманської [356] проведені на чорноземних ґрунтах свідчать, що в посівах буряків цукрових і пшениці озимої у ланках з багаторічними травами та горохом мало місце підвищення вмісту загального азоту в ґрунті порівняно з їх вирощуванням після небобових попередників на 0,014-0,021%.

За даними досліджень Б.С. Носка [226], Н.П. Сорокотяга [281] чинником, який дозволяє регулювати процеси трансформації азоту в ґрунті та сприяє стабільності азотного його фонду є вуглецево-азотне співвідношення. За дотримання співвідношення (Сорг.:Nмін.) в межах 30-50 формується екологічно оптимальний режим вуглецю й азоту в ґрунті, створюється баланс між процесами мінералізації та іммобілізації азоту.

Отже, формування оптимального азотного режиму, зменшення непродуктивних втрат азоту в результаті вимивання та денітрифікації, підвищення стабільності азотного фонду ґрунту в умовах зернобуракової сівозміни можна досягти за екологічно збалансованої системи удобрення, яка передбачає застосування органічних і мінеральних добрив та дозволяє оптимізувати вуглецево-азотне співвідношення.

Біогеохімія фосфору як і азоту тісно пов'язана з кількістю органічної речовини в ґрунті, однак фосфор залишається абсолютно ліофільним елементом і на відміну від азоту в його трансформації відсутня газоподібна форма сполук [230, 447].

Низька мобільність фосфору у ґрунті та відсутність газоподібних втрат створює умови стабілізації фосфорного фонду ґрунту за внесення органічних та мінеральних добрив. На думку переважної більшості вітчизняних та зарубіжних вчених, зростання запасів валового та рухомого фосфору у ґрунті тісно пов'язано з дозами застосування добрив та величиною виносу фосфору сільськогосподарськими культурами [195, 218, 225, 233, 310, 313, 335, 332, 411, 422, 425, 454, 458, 469].

За даними Б.С. Носка, В.І. Бабиніна, Л.М. Бурлакової, Н.П. Копоть [232], Я.П. Цвея, В.В. Іваніни, О.Т. Петрової, Ю.П. Дубового [327] під впливом добрив формується антропогенний фосфатний профіль ґрунту, який в чорноземах поширюється до глибини 60 см. За внесення добрив у ґрунті збільшується вміст валових та рухомих форм фосфору, підвищується ступінь рухомості та покращується фракційний склад (за рахунок накопичення більш доступних для рослин фракцій). Добрива створюють квазірівноважний фосфатний режим ґрунту, який зумовлює підвищену доступність фосфорних сполук для рослин і забезпечує тривалу післядію фосфорних добрив.

За органічної та мінеральної систем удобрення в дослідженнях Н.К. Бороніна, Б.С. Носка, І.І. Філон [27] встановлено, що обидві системи удобрення однаково впливали на вміст валового фосфору в чорноземі типовому, забезпечуючи помітне його збільшення в орному

та підорному шарах до глибини 0-50 см. При цьому накопичення мінеральних фосфатів проходило інтенсивніше за мінеральної системи удобрення, а органічних – за внесення гною.

Моніторингові спостереження за станом ґрунтів проведені спільними зусиллями фахівців агрохімічної служби і науковців показали, що внесення 8,5 т гною та 41 кг фосфору на 1 га ріллі, яке простежувалось в Україні впродовж 1986-1990 рр., забезпечило позитивний щорічний баланс фосфору в кількості 18-25 кг/га, натомість зменшення кількості внесення мінеральних добрив в період 1990-2000 рр. до 3-4 кг/га, органічних – до 1,5-1,7 т/га зумовило щорічний дефіцит балансу фосфору в землеробстві 20-25 кг/га. Згідно прогнозів за такого дефіциту балансу фосфору в землеробстві вже найближчими роками його вміст у ґрунтах зменшиться (у середньому) з 10,2 до 7,8 мг/100 г ґрунту. Це зумовить значне зниження продуктивності сільськогосподарських угідь та окупності азотних добрив, стійкості рослин до посушливих умов та погіршення якості врожаю [226, 227, 272].

Внесення 6,25 т/га гною + $N_{33,8}P_{45}K_{33,8}$ на 1 га ріллі в зерно-буряковій сівозміні на чорноземі типовому слабсолонцюватому було достатнім для формування позитивного балансу фосфору у ґрунті. При цьому вміст рухомого фосфору в орному шарі ґрунту зріс за період ротації сівозміни на 4,1, підорному – 7,0 мг/кг ґрунту [335, 338].

В дослідженнях Ф.Ф. Адаменя, Л.А. Радченка, К.Г. Женченка [2] на чорноземі південному малогумусному в зерно-просапній сівозміні внесення 7 т гною + $N_{40}P_{40}$ на 1 га ріллі забезпечило позитивний баланс фосфору та збільшило його вміст в шарі ґрунту 0-30 см за період ротації сівозміни на 1,3 мг/100 г ґрунту порівняно з варіантом без добрив.

Стабільність фосфатного фонду ґрунту за тривалого сільськогосподарського використання помітно залежала від структури сівозміни. За високої частки просапних культур ґрунти інтенсивніше втрачали фосфати в результаті виносу їх рослинами, що негативно позначилось на запасах фосфору у ґрунті. В умовах недостатнього зволоження на чорноземі типовому слабсолонцюватому за період шести ротацій у варіанті без внесення добрив вміст фосфору в орному шарі плодозмінної сівозміни зменшився на 1,0, підорному – на 0,7; просапної – відповідно на 3,5 і 2,1 мг/кг ґрунту [335].

Таким чином, підвищення вмісту рухомого фосфору у ґрунті, досягнення стабільності фосфатного фонду залежить від доз застосування фосфорних добрив. Внесення добрив має забезпечувати

фізіологічні потреби сільськогосподарських культур у фосфорі та створювати позитивний баланс фосфору у ґрунті.

Запаси валового калію в чорноземних ґрунтах України за узагальненими даними становлять 2-2,5%. Вміст обмінного калію, найближчого резерву доступного рослинам, у ґрунтах зон Лісостепу і Степу не перевищує 10-14 мг/100 ґрунту [195].

Високий калійний фонд ґрунту обумовлено значним вмістом у ґрунтоутворюючій породі калієвмісних мінералів групи польових шпатів та слюд, а також продуктів їх вивітрювання, так званих вторинних мінералів, – ілліту, вермікуліту, смектиту, каолініту. Як правило, чим важча текстура ґрунту, тим більше в ньому мулистих часток і вищий валовий вміст калію [93, 223, 229, 370, 464].

За даними Л.І. Мартинович, М.М. Мартиновича [195] високі валові запаси калію у ґрунті дозволяють отримувати стабільні врожаї сільськогосподарських культур впродовж тривалого періоду навіть без внесення добрив. За інтенсивного використання чорнозему опідзоленого важкосуглинкового протягом 50 років запаси обмінного калію в орному і метровому шарах залишались стабільними, натомість валові запаси зменшились на 5,4 т/га, що вказує на постійний характер перетворень калію у ґрунті.

За даними О.Г. Тараріка [286] незважаючи на те, що протягом 1996-2001 рр. кількість фосфорних і калійних добрив з 160-170 кг/га зменшилась до 15-20 кг/га, тобто майже у 10 разів порівняно з 1990 р., намітилась лише тенденція зниження вмісту цих елементів у ґрунті на фоні різкого від'ємного їх балансу в агроecosистемах.

Окремі дослідники відмічають, що тривале вирощування культур без внесення добрив на ґрунтах легкого механічного складу може призвести до зменшення фонду рухомого калію у ґрунті. В дослідженнях Я.П. Цвея, Г.М. Мазур [334] вирощування культур зерно-бурякової сівоzmіни впродовж двох ротацій без внесення добрив на чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому зменшило вміст обмінного калію в орному шарі ґрунту до початкового на 7,0 мг/кг ґрунту.

Стабілізація валових та рухомих запасів калію у ґрунті, покращання умов калійного живлення рослин спостерігались за поєднання внесення мінеральних та органічних добрив [61, 77, 195, 222, 224, 326].

Згідно досліджень Л.І. Мартинович, М.М. Мартиновича [195] внесення повного органо-мінерального добрива загальною дозою

$N_{50}P_{49}K_{56}$ в рік забезпечило бездефіцитний баланс валового калію в орному шарі ґрунту.

За даними Б.С. Носка, Є.Ю. Гладкіх [229] за систематичного застосування середніх та підвищених доз калійних добрив (навіть за від'ємного балансу калію в сівозміні) накопичувався залишковий калій у ґрунті, який збільшував вміст рухомого калію на 23-37%, легкорозчинного та слабозв'язаного – на 30-35%, обмінного – на 80-110%. Такі зміни еволюції калійного фонду на цих фонах відбувались до глибини 100 см.

Найбільшого значення показника обмінного калію у ґрунті, за даними М.М. Єрмолаєва, Л.І. Шиліна, Д.В. Літвінова [93], було досягнуто за поєднання внесення органічних і мінеральних добрив у дозі 10 т гною + $N_{45}P_{42}K_{55}$ на 1 га ріллі. Систематичне внесення добрив збільшувало вміст калію по всьому метровому профілю ґрунту, не дивлячись на зростання його виносу рослинами.

Зростання вмісту рухомого калію у ґрунті залежало від структури сівозміни. У просапній сівозміні за дози добрив 6,25 т гною + $N_{33,8}P_{45}K_{33,8}$ на 1 га ріллі вміст його в орному шарі чорноземі типового слабкоголонцюватого (умови недостатнього зволоження) за період двох ротацій підвищився на 28, плодозмінній – на 32 мг/кг ґрунту (за вихідного вмісту 134 мг/кг ґрунту) [332, 335].

За нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому внесення 6 т гною + $N_{36}P_{24}K_{32}$ на 1 га ріллі збільшило вміст рухомого калію в орному та підорному шарах сівозміни з 30%-м насиченням просапними культурами відповідно на 33,3 та 22,6; 50%-м насиченням просапними – на 13,3 та 18,3 мг/кг ґрунту [333].

Дослідження зарубіжних учених свідчать, що внесення мінеральних добрив посилює необмінну фіксацію калію ґрунтом. Помітніша фіксація протікає в орному шарі ґрунту і наслідком цього процесу стає трансформація глинистих мінералів з рухомою кристалічною ґраткою (монтморилоніт, вермікуліт) у мінерали з нерухомою ґраткою (хлорит) [384, 414, 450, 461].

Внесення добрив впливає на процеси трансформації елементів живлення у ґрунті, змінює рухомість та доступність їх рослинам [218, 291, 310]. Позитивна динаміка трансформаційних перетворень і формування сприятливих умов мінерального живлення культур зернобурякової сівозміни відбувались за орнано-мінеральної системи удобрення. При цьому ступінь впливу добрив на ґрунт та формування екологічної його стабільності значно залежали від дози внесення добрив,

структури сівозміни, диференціації системи удобрення за ґрунтово-кліматичними умовами та здатності добрив забезпечує додатний баланс елементів живлення у ґрунті [8, 113, 338].

Тривале застосування мінеральних добрив може спричиняти негативні зміни фізико-хімічних властивостей ґрунту [93, 203, 226, 462]. Мінеральні добрива в своїй більшості є фізіологічно кислими, тому тривале їх внесення призводить до підкислення ґрунтового розчину, підвищення гідролітичної кислотності, зниження ступеня насиченості ґрунту основами і, як наслідок, порушення стабільності колоїдного комплексу та втрати лужних і лужноземельних металів у процесі вимивання [301, 309].

За даними В.В. Іваніни [126], особливо помітним зростання кислотності відмічено у зерно-бурякових сівозмінах, оскільки для отримання високої продуктивності буряків цукрових застосовують значно вищі порівняно з іншими сівозмінами дози внесення мінеральних добрив [93].

В дослідженнях Б.С. Носка [226] внесення на чорноземі типовому мінеральних добрив у дозі 100 кг діючої речовини зменшило за період 5-ти ротаций шестипільної сівозміни рН сол. з 5,4 до 4,7 і збільшило гідролітичну кислотність з 4,7 до 6,1 мг-екв./100 г ґрунту.

У тривалому експерименті, який проводили в Швейцарії порівнювали вплив на ґрунт органічних та мінеральних добрив. Через 21 рік досліджень відмічено, що на полях, де застосовували тільки мінеральні добрива, ґрунт мав гладку поверхню, сформовану дрібними частинками, велику кількість тріщин і втратив водопроникність. За внесення органічних добрив у ґрунті помічено значну кількість черв'яків, відмічалась кореляція між мікробною біомасою та врожаєм пшениці [441].

Пом'якшення негативного впливу внесення мінеральних добрив на фізико-хімічні властивості ґрунту і збереження при цьому високого рівня його ефективної родючості можна досягти за орґано-мінеральної системи удобрення [93, 262].

В.Ф. Сайко [262] вважає, що внесення органічних добрив є потужним чинником підвищення біологічної активності ґрунтів, поліпшення їх фізико-хімічних та водно-фізичних параметрів. Про позитивний вплив органічних добрив на покращання водно-фізичних властивостей ґрунтів відмічено в дослідженнях Б.С. Носка, В.В. Медведєва, О.П. Непочатова, В.І. Скорохода [231].

В зерно-буряковій сівозміні за даними Б.С. Носка, В.В.

Медведева, О.П. Непочатова, В.І. Скорохода [231] поєднання внесення органічних і мінеральних добрив знижувало на 20-30% витрати вологи на формування врожаю культур.

В дослідженнях М.М. Єрмолаєва, Л.І. Шиліної, Д.В. Літвінова [93] встановлено, що поєднання внесення органічних і мінеральних добрив порівняно з мінеральною системою удобрення сприяло пом'якшенню деструктивних змін ґрунтово-вбирного комплексу.

В окремих дослідженнях покращання фізико-хімічних властивостей ґрунту за орґано-мінеральної системи не спостерігали [246, 335]. Результати досліджень В.М. Польового [246] свідчать, що за орґано-мінеральної системи удобрення порівняно з неудобреним фоном відбувається підкислення ґрунту. Внесення на темно-сірому опідзоленому ґрунті у середньому за період досліджень 10 т гною + $N_{72}P_{64}K_{75}$ на 1 га ріллі посилювало деградацію порівняно з варіантом без добрив, зменшуючи насичення основами з 76 до 54% і збільшуючи майже удвічі величину гідролітичної кислотності. Відмінності за фізико-хімічними показниками відбувались в шарах ґрунту до глибини 80-100 см.

В дослідженнях Я.П. Цвея, О.І. Недашківського, М.О. Кісілевської [335], які проводили в зерно-буряковій сівозміні на чорноземі типовому вилугуваному за внесення 6,25 т/га гною + $N_{33,8}P_{45}K_{33,8}$ на 1 га ріллі за 10 років $pH_{\text{сол}}$ ґрунтового розчину зменшилось з 6,2 до 5,6, а гідролітична кислотність зросла з 2 до 2,5 мг-екв./100 г ґрунту.

Загальну тенденцію погіршення фізичних, фізико-хімічних та агрохімічних властивостей ґрунтів за скорочення виробництва і внесення гною в умовах сучасного землеробства відмічали В.В. Медведєв [203].

Отже, рівень ефективної родючості ґрунту, стабільність цього показника у часі залежить від системи удобрення, її збалансованості за органічним і мінеральним компонентами, здатності її забезпечувати зрівноважений або позитивний баланс елементів живлення у ґрунті. Поєднання внесення органічних і мінеральних добрив є найефективнішою системою удобрення, яка здатна підтримувати високий рівень забезпечення ґрунтів елементами живлення та створювати найсприятливіші умови для використання їх рослинами.

1.2.2 Гумус ґрунту його стабільність та відтворення

Родючість чорноземів визначається, насамперед, вмістом гумусу, який впливає на найважливіші властивості і режими ґрунту:

обмінну та вбирну здатність, буферність, ґрунтову структуру, агрохімічні, фізико-хімічні та водні властивості тощо [84].

За даними численних досліджень у ґрунтах України за тривалого їх використання переважає деґуфікаційний тренд розвитку [25, 200, 201, 204, 228, 283, 308]. Процеси мінералізації гумусу спостерігають всюди, особливо інтенсивно вони проявляються на чорноземах зони Лісостепу, які від природи більш гумусовані [26, 35, 220, 228, 408].

За даними О.О. Бацули, Е.А. Головачова, Р.Г. Деревянко [17] за 100 років двадцятого століття втрати гумусу ґрунтами України становили 20%, а величина середньорічних втрат у Поліссі – 0,18 т/га, Лісостепу – 0,37, Степу – 0,31 т/га. Про значні втрати гумусу в процесі інтенсивного використання ґрунтів вказано в дослідженнях С.Ю. Булигіна, В.В. Дегтярьова, С.В. Крохіна [36], В.В. Медведєва [202], В.Ф. Сайка [264].

Однією з причин деґуміфікації ґрунтів є зменшення кількості рослинних решток, що надходить у ґрунт. За даними С.Ю. Булигіна, В.В. Дегтярьова, С.В. Крохіна [36] в цілих ґрунтах порівняно з орними чорноземами їх надходить в 2,5-3 рази більше, а з урахуванням і надземної біомаси ця різниця буде ще більшою. Гумус, що утворюється з пожнивних решток здатен лише на 40-60% компенсувати його втрати в процесі мінералізації [110, 394].

Особливо інтенсивно зменшується вміст гумусу у ґрунтах, де культури вирощують без внесення добрив. За даними В.М. Польового [246] використання темно-сірого опідзоленого ґрунту упродовж сорока років без внесення добрив призвело до зменшення вмісту гумусу порівняно з фоном, де вносились органо-мінеральні добрива, на 0,18%.

В дослідженнях В.І. Гамалея, Л.І. Шкарівської [49] використання темно-сірого опідзоленого ґрунту впродовж 19 років без внесення добрив і за проведення вапнування знизило вміст гумусу в орному (0-20 см) шарі відносно вихідного рівня на 0,33%, або на 8,9 т/га.

В чорноземі вилугуваному вміст гумусу за 10 років його використання без внесення добрив у зерно-буряковій сівозміні зменшився в орному шарі до початкового на 0,1%, підорному – 0,05% [335].

Серед чинників антропогенного впливу на гумусний стан ґрунту органічні і мінеральні добрива є найбільш вагомими. Добрива різнобічно впливають на процеси трансформації органічної речовини ґрунту, здатні змінювати весь комплекс показників, що характеризують гумусний стан ґрунтів [13, 337, 351, 398, 431, 435].

За мінеральної системи удобрення з відчуженням основної і побічної продукції відбувається зниження вмісту гумусу [221, 397, 402, 442]. Згідно досліджень Л.І. Мартинович, М.М. Мартиновича [192] абсолютні втрати гумусу в чорноземі опідзоленому за 50 років використання без внесення добрив становили 1,06% (37,94 т/га), за мінеральної системи удобрення – 0,85% (30,6 т/га), що на 0,21% (7,3 т/га) було меншим.

Більшість учених дотримується думки, що стабілізації та підвищення вмісту гумусу у ґрунті можна досягти за орґано-мінеральної системи удобрення [29, 112, 192, 197, 269, 323].

За даними Л.І. Мартинович, М.М. Мартиновича [192], Б.С. Носка [226] внесення орґанічних добрив в кількості 8,8-10,7 т/га може забезпечити бездефіцитний баланс гумусу у ґрунтах чорноземної зони.

За узагальненими даними досліджень для підтримки бездефіцитного балансу гумусу в чорноземах зони Степу необхідно вносити 6-10 т/га гною, Лівобережного і Центрального Лісостепу – 8-9, Західного Лісостепу – 9-12 т/га [186].

Позитивна динаміка орґанічної речовини у ґрунті помітно залежить від культури землеробства та структури сівозмін [172, 282].

За даними А.І. Буджерак, Ю.І. Кривди [29], в чорноземі реґрадованому внесення 10 т/га гною забезпечило бездефіцитний баланс гумусу лише на фоні високих доз мінеральних добрив ($N_{93}P_{93}K_{93}$ на 1 га ріллі), тоді як за дози добрив $N_{62}P_{62}K_{62}$ зберігався дефіцитний баланс орґанічної речовини.

Для підтримання родючості темно-сірого опідзоленого ґрунту застосування 10 т гною + $N_{72}P_{64}K_{75}$ на 1 га ріллі було недостатнім. Вміст гумусу в орному 0-40 см шарі ґрунту за період 40 років його використання зменшився з 1,79 до 1,68% [246].

У десятирічній зерно-бураковій сівозміні (40% просапних, в т.ч.20% цукрових буряків) на сірому лісовому ґрунті за тривалого, впродовж 45 років використання, зростання вмісту гумусу в орному шарі спостерігали за внесення 12 т гною та 197-260 кг NPK на 1 га ріллі і становило 1,75%. Припинення внесення добрив упродовж наступних 10 років призвело до зменшення запасів гумусу в середньому на 0,3-0,5 т/га в рік, а вміст загального гумусу зменшився в 1,1-1,3 рази [81].

Дослідження О.Т. Петрової [244] свідчать, що внесення 6-9 т гною + $N_{50}P_{66}K_{66}$ на 1 га ріллі стабілізувало за дві ротації вміст гумусу

в чорноземі типовому вилугуваному у плодозмінній сівозміні і забезпечило зростання вмісту гумусу на 0,16% у зерно-просапній сівозміні.

Мінералізація гумусу у ґрунті посилюється за збільшення частки просапних культур у сівозміні. Під ярими зерновими (пшениця, ячмінь та овес) втрати гумусу з кореневмісного шару в середньому за рік становили 0,5-0,6 т/га, пшеницею озимою – 0,7 т/га, горохом та кукурудзою – 1,0 т/га, буряками цукровими – 1,5 т/га. Збільшення в сівозміні частки просапних культур на 10% призводило до збільшення втрат гумусу на 0,2-0,4 т/га [93, 271].

В дослідженнях Я.П. Цвея, О.І. Недашківського, М.О. Кісілевської [335] за 24 річного використання ріллі без внесення добрив в умовах недостатнього зволоження вміст гумусу в чорноземі типовому слабосолонцюватому зменшився у плодозмінній сівозміні на 0,16%, просапній – на 0,40%, зерно-просапній – на 0,10%. За внесення 6,25 т гною + N_{33,8}P₄₅K_{33,8} на 1 га ріллі досягався позитивний баланс гумусу, а його вміст в орному шарі зростав відповідно на 0,29%, 0,15% та 0,14%.

За нестійкого зволоження збільшення частки просапних культур з 30 до 50% за внесення 6 т гною + N₃₆P₂₄K₃₆ на 1 га ріллі підвищило втрати гумусу в чорноземі типовому вилугуваному по завершенню 3-х ротаций зерно-просапної сівозміни на 0,08-0,20% [333].

Стабілізації запасів гумусу у ґрунті сприяє наявність у сівозміні багаторічних бобових трав. За даними В.Р. Вільямса [40] вони утворюють 500-700 кг/га гумусу, що еквівалентно внесенню 20-30 т/га гною. Наявність у сівозміні 20% і більше бобових трав у багатьох випадках забезпечує стабілізацію запасів гумусу у ґрунті.

Ряд дослідників вважають, що для оптимізації параметрів гумусоутворення важливу роль відіграє достатнє забезпечення ґрунту органічною речовиною та оптимізація вуглецево-азотного співвідношення [54, 226, 343, 365, 385]. За даними Б.С. Носка [226], екологічно оптимальний режим вуглецю й азоту у ґрунті забезпечується за умови дотримання їх співвідношення (Сорг.:Nмін.) в межах 30-50.

Дослідники А.Д. Балаєв [3], М.К. Шичула [354] пропонують за основу брати співвідношення між органічними та мінеральними добривами, яке в зерно-буряковій сівозміні, на їх думку, має становити 1:15-20, тобто на 1 т органічних добрив вносять 15-20 кг мінеральних добрив.

Дослідження А.І. Буджерак, Ю.І. Кривди [29], Я.П. Цвея, В.В. Іваніни, О.Т. Петрової [324], І.С. Шкаредного, І.В. Глущенко, М.О. Кісілевської, І.О. Мельник [364] свідчать, що за мінеральної системи удобрення погіршуються якісні показники гумусу. За внесення мінеральних добрив у складі гумусу зменшувався негідролізований залишок, погіршувалась його стабільність, зростала міграційна здатність гумусових речовин, які активніше проникали в глибокі (40-100 см) шари ґрунту.

За даними В.І. Гамалея, М.І Драган, Л.І. Шкарівської [51] в умовах скорочення виробництва і внесення гною у складі гумусу в опідзолених, у т.ч. й сірих лісових ґрунтах, дедалі більше утворюється фульвокислот, серед яких переважають фракції пов'язані з рухомими формами півтораоксидів, так звані «агресивні» фракції.

В дослідженнях Я.П. Цвея [316] відмічалось, що в чорноземі типовому слабосолонцюватому за насичення сівозміни просапними культурами відбувалось звуження співвідношення Сгк:Сфк у складі гумусу та зменшення ступеня його гуміфікації.

Покращання якісного складу гумусу на фоні зростання його запасів, на думку багатьох вчених, можна досягти за органо-мінеральної системи удобрення [68, 248, 292, 364]. Поєднання органічних і мінеральних добрив на темно-сірому опідзоленому ґрунті збільшувало на 12% вміст загального гумусу порівняно з неокультуреним ґрунтом та стабілізувало гумус у пасивній формі. Під впливом удобрення відбулося як збільшення абсолютного вмісту пасивного гумусу на 73%, так і підвищення частки пасивного гумусу у складі загального на 26%. Тому можна вважати, що такий спосіб окультурення темно-сірого опідзоленого ґрунту сприяє не лише відтворенню його родючості, а й посилює стійкість органічної речовини до можливих змін окремих показників ґрунту [248].

За даними І.С. Шкаредного, І.В. Глущенко, М.О. Кісілевської, І.О. Мельник [364] за поєднання внесення органічних і мінеральних добрив у складі гумусу відмічали підвищення гумінових кислот, зростала глибина гуміфікації, збільшувалась частка фракцій, що міцно зв'язана з мінеральною частиною ґрунту.

В дослідженнях, які проводили на чорноземі вилугуваному легкосуглинковому встановлено, що за тривалого застосування органо-мінеральної системи удобрення відбувається трансформація гумусу через перерозподіл груп гумусових речовин і зміну ступеня гуміфікації. У складі гумусу зростав вміст лабільної його форми на

0,03-0,12абс.% та збільшувався негідролізований залишок (гумін), кількість якого зростала з підвищенням доз добрив [68].

З точки зору ефективної родючості зростання лабільного гумусу у ґрунті є важливим резервом елементів живлення і енергетичним матеріалом для ґрунтових мікроорганізмів, що забезпечує сприятливі умови росту і розвитку культурних рослин у першій половині вегетації, коли їхня коренева система розвинена ще недостатньо. Вихідна кількість детриту поряд з іншими чинниками, які впливають на продуктивність посівів, помітно визначає рівень урожайності наступної культури [364].

Отже, значний обсяг експериментальних даних щодо впливу добрив за різних систем удобрення на трансформацію органічної речовини ґрунту дає можливість різнобічно і достатньо глибоко оцінити вплив тривалого удобрення на формування ґрунтових режимів та спрямованість процесів ґрунтоутворення. За даними досліджень встановлено негативний вплив тривалого застосування мінеральних добрив та відзначено позитивну роль органічних добрив в окультуренні ґрунтів і стабілізації органічної речовини ґрунту. За порівняння різних систем удобрення відмічено перевагу органо-мінеральної системи як одного з найефективніших агрохімічних заходів досягнення агроекологічної стабільності ґрунту в процесі його тривалого використання.

1.3 Ефективність біологізації та альтернативного удобрення сівозмін

Однією з основних проблем сучасного землероба є значне зменшення обсягів застосування органічних та мінеральних добрив. Дози внесення органічних добрив зменшили з 8,6 т/га (1981-1990 рр.) до 0,6 т/га (2001-2010 рр.), мінеральних за сумою NPK – відповідно з 120-150 до 26-46 кг/га. Різке зниження застосування добрив в останні двадцять років призвели до падіння природної та ефективної родючості ґрунтів ріллі та посилення деградаційних процесів [5, 26, 65, 75, 98, 157, 179, 180, 264].

Баланс гумусу за період 2001-2010 рр. у зоні Лісостепу в середньому за адміністративними областями був від'ємний і становив – (-0,15) т/га, Степу – (-0,23) т/га (з коливаннями по областях від -0,08 до -0,32 т/га) [65, 75, 98, 179, 180]. За даними О.Г. Тараріко, В.О. Грекова, Л.В. Дацько [287] величина від'ємного балансу гумусу в

останні 10 років становить 0,4-0,8 т/га в рік.

Низькі дози органічних добрив та незбалансованість системи удобрення за основними елементами живлення призвели до порушення екологічної рівноваги ґрунту. Якщо в 1990 р. співвідношення N:P:K у складі внесених добрив становило 90:70:90, то в 2008 р. – 60:30:35, що посилило дефіцит фосфорного і калійного живлення та знизило біопродуктивність ґрунтів. Щорічний дефіцит балансу калію і фосфору в сучасних агроєкосистемах становить понад 40-60 кг/га [287].

Зменшення доз застосування органічних і мінеральних добрив в сучасному землеробстві спричинило падіння вмісту фосфору в ґрунті в середньому на 8 мг/кг ґрунту з коливаннями за зонами від 7 до 12 мг, що еквівалентно щорічній втраті цього елемента від 1,4 до 2,4 мг/кг ґрунту. Щодо калію, то його вміст в середньому по Україні зменшився на 8 мг/кг ґрунту, що еквівалентно щорічній втраті до 1,6 мг/кг ґрунту [287].

На думку С.А. Балюка, В.В. Медведєва, О.Г. Тараріки [216], О.Г. Тараріки, В.О. Грекова, Л.В. Дацько [287], нині система ведення аграрного виробництва ґрунтується на принципах отримання максимального прибутку рослинництва завдяки мінімалізації витрат на відтворення родючості, а це суперечить основним законам землеробства і веде до погіршення якісного стану ґрунтів.

Основним завданням сучасного землеробства, на думку М.Д. Безуглого, А.С. Заришняка, М.В. Лісового, Г.М. Седіла [18], є підвищення родючості ґрунтів за рахунок впровадження енерго- і ресурсозберігаючих технологій, що забезпечить одержання токсикологічно чистої продукції рослинництва та дотримання екологічної рівноваги в агроландшафтах. Одним з основних напрямів є «біологічне» відновлювальне, біодинамічне або альтернативне землеробство. З огляду на сучасну соціальноекономічну ситуацію, вважає О.Г. Тараріко [286], в ближній перспективі розв'язати проблему підтримання родючості ґрунтів можна лише за умови інтенсифікації використання біологічних ресурсів.

Переважаюча більшість учених, А.Д. Балаєв, О.І. Наумовська, П.П. Надточій [5], Л.А. Барштейн, І.С. Шкаредний, В.М. Якименко [9], О.О. Бацула, Є.В. Скрильник, Т.Ф. Кравець [14], О.О. Бацула, М.В. Лісовий [16], В.І. Кисіль [156, 158], Г.А. Мазур, М.А. Ткаченко, Ю.Г. Медвідь [185], І.А. Пабат, А.І. Горбатенко, А.Г. Горобець [240], В.М. Польовий [247], В.Ф. Сайко [264], О.Г. Тараріко [286], М.Й. Шевчук

[350], М.К. Шикула, А.Д. Балаєв, О.В. Демиденко [355], В.М. Якименко, І.С. Шкаредний, А.Ф. Одреховський [368] дотримуються думки, що зональні системи землеробства не повинні передбачати спеціальні витрати на відтворення гумусу. Стабілізацію балансу гумусу слід забезпечити за рахунок внутрішніх ресурсів, які включають у себе залучення побічної продукції, поживних залишків, сівбу післяжнивних сидеральних культур.

Поживно-кореневі рештки, які є основним джерелом відтворення гумусу за мінеральної системи удобрення здатні компенсувати втрати гумусу ґрунту лише на 24-40%, тому стогодні є потреба в залученні додаткових джерел органічних добрив до гумусові дно-влювальних процесів, включаючи альтернативні джерела, як наприклад, побічна продукція зернових культур [21, 58, 83, 331].

На думку М.К. Шикули [70], В.М. Якименка, І.С. Шкаредного, А.Ф. Одреховського [368], застосування побічної продукції сільськогосподарських культур, зокрема соломи, є одним з найдешевших і екологічно чистих джерел органічної речовини. Внесення соломи як добрива економить близько 65% витрат, пов'язаних зі збиранням зернових культур [264]. Зокрема, скорочуються витрати на збирання, перевезення, скиртування, розкидання підстилки і видалення гною зі стійла, завантажування і транспортування гною, розкидання по полю тощо [248, 293].

За даними В.Ф. Сайка [264] навіть за відсутності підвищення врожайності культур за внесення на добриво соломи, це потрібно широко практикувати, насамперед, на віддалених від ферм полях, особливо в цей час, коли кількість гною зменшилась, а транспортування є надто дорогим.

Численні дослідження із застосування соломи зернових культур як органічного добрива, проведені в різних ґрунтово-кліматичних умовах України, показали високу його ефективність [34, 104].

За даними М.І. Драгана, Р.С. Грищенко, О.Г. Любича, С.П. Стопа [89] заробляння у ґрунт соломи посилює інтенсивність мікробіологічних процесів, покращує забезпечення рослин вуглекислою. За внесення на добриво соломи на фоні мінеральних добрив кількість виділеної з ґрунту вуглекислоти, порівняно з мінеральною системою удобрення, збільшилась на 17-22%.

Ефективним заходом поповнення органічної речовини ґрунту в умовах достатнього зволоження є поєднання застосування на добриво поживних сидератів та побічної продукції зернових культур [66, 87,

101]. Вирощування сидеральних культур у проміжних посівах на зелене добриво збагачує ґрунт поживними речовинами, сприяє його фітосанітарному оздоровленню, підвищує ефективність добрив та продуктивність сільськогосподарських культур [21, 331].

В умовах зерно-буракової сівозміни, за даними А.С. Заришняка, С.І. Руцької, Т.В. Колібабчук [101], найефективнішими виявились традиційна органо-мінеральна система удобрення та мінеральна в поєднанні з елементами біологізації землеробства – заорюванням соломи зернових культур та гички буряків цукрових.

В дослідженнях на Білоцерківській дослідно-селекційній станції на чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому за поєднання мінеральних добрив і соломи врожайність буряків цукрових була дещо нижчою порівняно з поєднанням мінеральних добрив і гною, але вихід цукру з 1 га в цих варіантах був практично однаковим [368].

За даними В.М. Польового [247], Ю.О. Тараріко, О.А. Андрійченка [289] відмічено зниження продуктивності буряків цукрових за біологізації системи удобрення порівняно з традиційною органо-мінеральною системою. Так, в умовах Хмельницької області на чорноземі опідзоленому поєднання внесення гною і мінеральних добрив було ефективнішим на посівах буряків цукрових, ніж мінеральних добрив, внесених разом з соломою та сидератом, збір цукру становив відповідно 8,23 та 7,28 т/га [289].

В умовах Рівненської області на темно-сірому опідзоленому ґрунті за внесення $N_{120}P_{120}K_{120}$ врожайність коренеплодів буряків цукрових становила 35,4 т/га, солома + зелена маса гірчиці білої + $N_{120}P_{120}K_{120}$ – 39,0 т/га, 40 т/га гною + $N_{120}P_{120}K_{120}$ – 45,7 т/га [247].

Високий стабілізуючий вплив альтернативних систем удобрення на природну родючість ґрунту відмічався в дослідженнях Р.П. Богдановича, М.О. Кудлай [23], І.П. Пабата, А.І. Горбатенка, А.Г. Горобця [240]. Загортання у ґрунт протягом 6 років біомаси побічної продукції культур сівозміни на чорноземі звичайному важкосуглинковому навіть без внесення добрив забезпечило бездефіцитний баланс гумусу [240].

За даними М.І. Драгана, Р.Є Грищенко, О.Г. Любчича, С.П. Стопа [89], внесення 4-8 т соломи може бути еквівалентно 15-30 т гною, оскільки солома має органічної речовини в 3-4 рази більше, ніж гній.

Стабілізуючий вплив соломи на родючість ґрунту значно зростає за внесення її разом з компенсаційною дозою (N_{10} на 1 т соломи)

азотних добрив. В умовах лівобережного Лісостепу внесення 2,4-2,5 т соломи на 1 га сівозмінної площі за компенсаційної дози азоту 24-25 кг та оптимальної дози мінеральних добрив ($N_{60-70}P_{60-70}K_{60-70}$) не поступалось за ефективністю внесенню 10-12 т/га гною на 1 га сівозмінної площі на фоні аналогічної дози мінеральних добрив [38].

За даними досліджень В.І. Канівця, С.М. Черствого [150], додавання до соломи мінерального азоту стимулювало азотфіксацію, підсилювало гуміфікацію соломи, сприяло підвищенню в 1,3 рази гуматності новоутворених гумусових речовин. Утворення гумусових речовин поступово зростало від весни до осені і помітно збільшувалось в наступні два роки.

Систематичне застосування на добриво соломи з внесенням мінеральних добрив та компенсаційної дози азоту підвищило за період ротації (10 років) вміст гумусу в шарі 0-30 см чорнозему типового середньосуглинкового порівняно з початковим на 0,23-0,25%, а його запаси на 8 т/га [355].

Ефективним заходом стабілізації родючості ґрунту, на думку Р.П. Богдановича, М.О. Кудлай [23], є поєднання соломи та зеленої маси післяжнивних сидеральних культур. Уміст гумусу порівняно з контролем без добрив, у варіанті 40 т/га гною + $N_{110}P_{90}K_{90}$ підвищився на 25%, варіанті 20 т/га гною + 4 т/га соломи + N_{40} + $N_{110}P_{90}K_{90}$ – на 20%. Застосування на добриво соломи і сидератів збільшувало вміст лабільних гумусових речовин у ґрунті і сприяло підвищенню вмісту гумусу практично по всьому метровому профілю.

І.В. Гриник, О.І. Бакун, Ю.О. Бакун, О.В. Єгоров [67] вважають, що кращим способом внесення соломи на добриво в умовах Полісся на сірому лісовому ґрунті є поєднання її з гноєм, зеленою масою сидеральних культур (люпину) та мінеральними добривами. Порівняно з мінеральною системою удобрення за період двох ротацій у плодозмінній сівозміні приріст вмісту гумусу становив 0,05%, зерно-картопляній – 0,08%.

За даними В.І. Гамалея, Л.І. Шкарівської [50] внесення побічної продукції на добриво впродовж 22 років на темно-сірому опідзоленому ґрунті позитивно впливало на якісні показники гумусу – підвищило гуматність, знизило рухомість, збільшило кількість негідролізованого залишку у його складі.

Застосування побічної продукції рослинництва на добриво сприяло оптимізації поживного режиму ґрунту. За рахунок процесів рециркуляції в ґрунт поверталось до 30% азоту, близько 40% фосфору і до

80% калію, що дозволяло одержати врожай з меншими енергетичними та матеріальними витратами, за одночасного поліпшення гумусного та фізико-хімічного стану ґрунту [151, 249, 288, 470].

За різними джерелами заорювання 4-6 т побічної продукції на 1 га ріллі забезпечило надходження у ґрунт азоту – 23-61 кг, фосфору – 11-25 кг, калію – 39-91 кг, кальцію – 20-30 кг, а також мікроелементів S, B, Cu, Mn, Zn. Найбільше надходження біогенних елементів відмічали за заорювання на добриво побічної продукції кукурудзи на зерно, найменше – сої [4, 130, 133, 146, 264, 270].

За даними А.С. Заришняка, А.О. Сипка [105], А.С. Заришняка, А.О. Сипка, А.М. Горобця [116] в умовах недостатнього зволоження на чорноземі типовому слабкосолонцюватому використанню на добриво 5 т/га соломи підвищило вміст рухомого фосфору у ґрунті порівняно з контролем без добрив на 1,8 мг/кг, подрібнених стебел кукурудзи (5 т/га) – на 3,5; обмінного калію відповідно – на 5,2 та 24,2 мг/кг ґрунту. За поєднання соломи, стебел кукурудзи і внесення повного мінерального добрива ($N_{150}P_{150}K_{150}$) вміст рухомого фосфору у ґрунті підвищився на 13,5 та 37,0, обмінного калію – на 24,2 та 30,7 мг/кг ґрунту порівняно з варіантом без добрив.

Заорювання на добриво побічної продукції на фоні внесення мінеральних добрив ($N_{50}P_{66}K_{66}$ на 1 га ріллі) за нестійкого зволоження забезпечило позитивний баланс фосфору і калію в чорноземі типовому вилугуваному важкосуглинковому в сівозмінах різної структури відповідно 37-46 кг/га та 13-17 кг/га, зберігаючи при цьому від'ємний баланс азоту в кількості 19-28 кг/га сівозміни [330].

За даними І.П. Пабата, А.І. Горбатенка, А.Г. Горобця [240] внесення побічної продукції у поєднанні з 13 т/га гною в зерновій сівозміні помітно покращило показники родючості чорнозему звичайного важкосуглинкового. На кінець шостого року вміст гумусу в орному шарі ґрунту підвищився до початкового на 0,14-0,29%, мінерального азоту, рухомих сполук фосфору і калію відповідно – на 21-30, 17-27 та 34-49%.

О.Г. Тараріко [286] вважає, що за умов біологізації землеробства особливої уваги потребує регулювання азотного живлення рослин. Застосування на добриво побічної продукції забезпечує досить низький коефіцієнт рециркуляції азоту, посилює іммобілізацію азоту мікроорганізмами, що негативно відображається на азотному живленні культур.

За даними В.С. Снігового [278], О.В. Ступенка [285], внесення мінеральних добрив разом з гноєм, соломою та сидератами

знижує за рахунок процесів іммобілізації коефіцієнт використання азоту з мінеральних добрив на 3-10%.

В дослідженнях Я.П. Цвея, В.П. Карачки, О.Т. Петрової [332] було встановлено, що вміст мінерального азоту у ґрунті на час сходів буряків цукрових за внесення мінеральних добрив ($N_{80}P_{100}K_{100}$) становив – 14,3, а мінеральних добрив у поєднанні з 5 т/га соломи – 11,5 мг/кг ґрунту. У середині вегетації, попри інтенсивне засвоєння азоту рослинами, його кількість у ґрунті за альтернативної органо-мінеральної системи удобрення була вищою, що пов'язано з посиленою мінералізацією органічних добрив у цей період.

Дослідження D.S. Jenkinson [430], проведені на Ротамстедській дослідній станції показали, що за внесення соломи потрібна компенсаційна доза азоту. Азотні добрива, внесені безпосередньо у ґрунт, забезпечували кращі результати, ніж та сама кількість соломи і азоту, закомпостованих для удобрення.

Біологізація зерно-бурякової сівозміни шляхом вирощування багаторічних трав та гороху дає можливість збільшити запаси біологічного азоту у ґрунті відповідно на 100 та 30 кг/га, що позитивно впливає на якість зернових культур, підвищує ефективність добрив і покращує родючість ґрунту [1, 165, 338]. Найбільше запаси біологічного азоту в ґрунті підвищувались за вирощування люцерни – 120-158 кг/га [154].

За даними В.Г. Молдован, Л.С. Квасніцької [213] у сівозміні з часткою конюшини 20%, зернових культур 60%, просапних 40% (в т.ч. буряків цукрових 20%) внесення 8 т/га гною + $N_{66}P_{56}K_{78}$ збільшувало вміст загального азоту в чорноземі опідзоленому за рахунок добрив і сівозмінного фактору на 0,021%.

В.Ф. Сайко [264, 265] вважає, що для покращання азотного режиму, збереження гумусу і відтворення родючості ґрунту необхідне відновлення площ багаторічних бобових культур. Площа посіву люцерни в Україні 1,5 млн га буде рівнозначна внесенню 45 млн т гною і 1 млн т технічного азоту. В США кожен третій гектар посіву займають бобові культури. Лише під люцерною в США розміщується 32,7% світової площі посіву.

За нинішніх умов відчутного подорожчання енергії на виробництво і застосування промислових мінеральних добрив збільшення частки бобових культур у сівозмінах стає необхідністю [268].

Біологізація землеробства сприяє покращанню агрофізичних,

фізико-хімічних та водних властивостей ґрунту. П'ятнадцятирічне застосування у зерно-просапній сівозміні побічної продукції польових культур (5 т/га) та беззмінне вирощування багаторічних трав підвищувало водостійкість агрегатів, фільтрацію і засвоєння вологи ґрунтом [88]. Поєднане внесення соломи і сидератів сприяло розуцільненню ґрунту, покращувало його агрегатний стан [66, 87, 101].

За альтернативних орґано-мінеральних систем удобрення загальні запаси вологи у шарі ґрунту 0-30 см помітно не змінюються порівняно з мінеральною системою удобрення. У середньому за 5 років кількість вологи у різні періоди розвитку культур були близькими [30, 89].

Дослідники Л.А. Барштейн, І.С. Шкаредного, В.М. Якименка [12], В.І. Канівець, С.М. Черствий [150], Н.І. Лактіонов [171] відмічали помітне підвищення кислотності ґрунту (на 0,1 од.) за застосування на добриво соломи злакових культур та зеленої маси пожнивних сидератів. Це пов'язано з утворенням під час їх розкладання орґанічних кислот і дуже малою кількістю нейтралізуючих катіонів – амонію і кальцію.

За достатнього зволоження ефективним заходом підвищення родючості ґрунту та продуктивності сільськогосподарських культур є поєднання соломи та пожнивних сидеральних культур [20, 21, 241, 266, 331]. Сидеральні культури мобілізують запаси рухомого фосфору та мікроелементів у ґрунті, сприяють розчиненню фосфору фосфоритного борошна завдяки посиленню процесів нітрифікації [22].

Вчені В.А. Осипчук, Л.А. Барштейн, В.К. Слободяник [239], Г.І. Парфенюк [241], А.В. Рибкін [255], Я.П. Цвей, Ф.П. Касянчук [331] вважають, що підвищені дози мінеральних добрив під буряки цукрові доцільно замінити сидератами та побічною продукцією. За зорювання зеленого добрива хрестоцвітих і бобових культур на фоні помірних доз мінеральних добрив урожайність буряків цукрових підвищувалась на 2,5-4 т/га, цукристість – на 0,2-0,6%.

В дослідженнях Г.І. Парфенюка [241] застосування на добриво сидератів у поєднанні з мінеральними добривами на чорноземі опідзоленому середньосуглинковому забезпечило стабільний приріст урожайності коренеплодів у межах 11,8 т/га за врожайності на контролі без добрив 27,5 т/га.

За внесення 10 т/га зеленої маси редьки олійної на сірому лісовому ґрунті врожайність буряків цукрових підвищилась на

1,8-2 т/га, а за її поєднання з соломою та мінеральними добривами – на 6,5-9 т/га [280].

Ряд науковців дотримуються думки, що в умовах біологізації землеробства інтенсивніше необхідно використовувати позакореневі підживлення мікродобривами [7, 106].

В дослідженнях М.Й. Орловського [237] вивчалось позакореневе підживлення кристаломом у дозі 3 кг/га за заорювання на добриво соломи разом з сидератом (гірчицею білою) та мінеральними добривами ($N_{110}P_{130}K_{150}$) в умовах достатнього зволоження на чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому. Підживлення мікроелементами на фоні альтернативного органо-мінерального удобрення забезпечило підвищення врожайності коренеплодів на 1,9, збору цукру – на 0,3 т/га.

Важлива роль у формуванні стійких агроценозів в умовах сучасного землеробства, на думку Е.Г. Дегодюка, Л.В. Бобер, О.І. Предко [82], В.Ф. Сайка, А.М. Малієнка, Г.А. Мазура [269], належить питанню структури посівних площ, чергуванню культур у сівозмінах та системі удобрення. В.В. Медведєв [201] вважає, що зменшення частки просапних культур у польових сівозмінах, мінімалізація основного обробітку, залучення рослинних решток як органічних добрив і, передусім, соломи озимих культур, здатне стабілізувати баланс гумусу і забезпечити просте відтворення родючості ґрунту.

В літературі є досить скромні дані щодо впливу побічної продукції, сидератів та інших альтернативних джерел органічних добрив на якість продукції сільськогосподарських культур.

1.4 Осучаснення та інтенсифікація систем удобрення культур

Пшениця озима. Пшениця озима є основою сучасних сівозмін. Вона є хорошим попередником для просапних культур, посідає особливе місце в харчовому раціоні людини, з посівною площею у світі - 230 млн. га, валовим збором зерна - 565 млн. т [437].

За даними державної експертизи сортів рослин в Україні врожайність сортів пшениці реалізується в середньому на 65,9%, у виробництві – на 36-37% [160, 238]. Ново зареєстровані сорти пшениці м'якої озимої мають потенціал урожайності 8,6-10,3 т/га, а сорти Сотниця, Каланча, Ліра Одеська, Тацітус – понад 10 т/га [124, 182, 302].

На думку М.М. Гаврилюка [48], М.А. Литвиненка [182], В.В. Моргуна, Є.В. Саніна, В.В. Швартау [214], О.Л. Улич [303] сучасні сорти пшениці озимої за високого рівня інтенсифікації здатні забезпечити врожайність зерна 11-12 т/га.

Застосування добрив є провідним фактором, що впливає на мінеральне живлення сільськогосподарських культур та визначає їх біологічна продуктивність [90, 170, 275, 314]. Застосування мінеральних добрив підвищує продуктивне кушіння пшениці озимої: без добрив – коефіцієнт кушіння 1,08, за дози $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 1,18, $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 1,30, $N_{90}P_{90}K_{90}$ – 1,32 [57]. Оптимальні показники площі листової поверхні і чистої продуктивності фотосинтезу встановлено за дози добрив $N_{110}P_{120}K_{120}$ – 51,8 тис. м²/га та 11,5 г/м² за добу [168].

Під зернові культури у сівозмінах застосовують переважно мінеральні добрива. За рекомендаціями Миронівського інституту пшениці оптимальна доза під пшеницю озиму після просапних культур – $N_{110}P_{70}K_{70}$, зернобобових – $N_{80}P_{60}K_{60}$, багаторічних бобових трав – $N_{40-60}P_{60}K_{60}$ [61]. Для отримання високих врожаїв пшениці озимої по післядії органічних добрив оптимальним є внесення 90-120 кг/га д.р. азоту, фосфору та калію [319]. За даними Г.М. Господаренка, О.Д. Черно [63] внесення мінеральних добрив здатне підвищити врожайність пшениці озимої на 31–71%.

Врожайність пшениці озимої істотно залежала від доз та строків внесення азотних добрив. Найкращі результати забезпечувало дво- та триразове внесення азотних добрив в дозах N_{60+60} та $N_{60+60+30}$ по фону $P_{30}K_{30}$ – врожайність зерна відповідно 6,26 та 6,28 т/га. Зазначені варіанти відзначались найвищим вмістом білка (12,8% та 13,3%) та клейковини (27,4% та 28,2%) [52, 62, 234].

В останні роки спостерігається підвищений інтерес до сульфату амонію для ранньовесняних підживлень. Ефективним вважається дворазове застосування азотних добрив під пшеницю озиму – на початку вегетації та у фазі кушіння дозою 50 кг/га. Ефективність азотного підживлення зростала за внесення мікроелементів: молібдену, марганцю, міді та цинку [210].

Результати досліджень В.В. Іваніни, І.М. Коротенка [137] показали, що максимальну врожайність пшениці озимої забезпечило внесення азотних добрив навесні по мерзлоталому ґрунту та у фазі кушіння рослин із проведенням позакореневого підживлення сечовиною на восьмому етапі органогенезу. При цьому сульфат амонію внесений рано навесні по мерзлоталому ґрунту дозою 60 кг/га

підвищив врожайність пшениці озимої порівняно з контролем без добрив на 1,25 т/га, а абсолютна врожайність становила 6,02 т/га. Азотні добрива підвищили врожайність зерна у 4,2 рази більше, ніж від унесення фосфорних і калійних добрив.

За вирощування пшениці озимої важливим показником є якість зерна, яка залежить від погодних умов, ґрунтового чинника, ланок сівозміни, системи удобрення, особливу вагу має азотне живлення, яке впливає на вміст білка, клейковини, визначає скловидність і натуру зерна [149, 155, 181, 257, 321].

В умовах Лісостепу на основних підтипах чорнозему нормативні показники вмісту білка в зерні пшениці озимої становлять: на чорноземі опідзоленому – 11,0%, чорноземі типовому – 11,3%, в умовах Степу на чорноземі звичайному – 11,9%, чорноземі південному – 12,6%, вміст клейковини – відповідно 23,0%, 26,2%, 28,1%, 28,0%, скловидність – 61%, 68%, 75% та 79% [181].

Дослідження В.В. Іваніни, Т.П. Прокоп'юк [138, 139, 140] показали, що максимальну врожайність та якість зерна пшениці озимої отримали за внесення під оранку $P_{60}K_{60}$ та проведення весною трьох підживлень азотом сумарною дозою 110 кг/га з внесенням додатково у фази виходу в трубку та колосіння марганцю та кремнію: врожайність зерна – 6,67 т/га, вміст білка – 12,5%, що було вищим порівняно з контролем без добрив на 1,99 т/га та 1,2%, відповідно.

Дослідження В.Н. Ремесла, В.Ф. Сайка [253] зазначають ефективність обприскування пшениці озимої розчином сечовини у фазі молочно-воскової стиглості. Такий захід підвищує вміст білка та якість зерна пшениці озимої.

У країнах Західної Європи вносять вищі дози добрив під пшеницю озиму. Доза добрив у Чехії становить $N_{150}P_{110}K_{120}$, що забезпечує врожайність зерна 8,5-9,5 т/га. Удобрення азотом передбачає триразове його внесення: N_{30} – при посіві, N_{90} – по мерзлоталому ґрунту весною, N_{30} – фоліарно у фазі молочно-воскової стиглості [437]. Вирощування пшениці у Франції передбачає внесення у три прийоми дози добрив $N_{180}P_{130}K_{150}$ – врожайність 9-10 т/га [396]. У Великій Британії залежно від родючості ґрунту доза добрив під пшеницю коливається в межах $N_{120-210}P_{35-45}K_{100-130}$. При цьому проводять додатково підживлення мікродобривами [479].

В умовах сучасного виробництва особливу увагу приділяють збалансованому живленню рослин усіма необхідними елементами для

забезпечення стійких врожаїв, що зумовлює застосування мікродобрив з урахуванням їх умісту у ґрунті [64, 305].

За даними I.S. Voloshchuk, O.P. Voloshchuk, H.S. Konyk, V.V. Hlyva, Yu.V. Vorobiova, H.S. Hereshko, O.M. Sluchak [474] найбільш економічно вигідним визначено позакореневе внесення мікродобрив у фазі ВВСН 29–31 – рентабельність такого удобрення становила 175–176%. За пізнішого проведення підживлення вплив мікроелементів на врожайність зменшувався, але якість зерна зростає [277].

При вирощуванні пшениці озимої на чорноземі опідзоленому лівобережного Лісостепу позакореневе підживлення комплексним мікродобривом «Реаком-Р-Зерно» у фазі кушення і наливу зерна на тлі $N_{60}P_{60}K_{60}$ забезпечило врожайність 5,68 т/га, за приросту від повного мінерального добрива і «Реаком-Р-Зерно» - відповідно 1,43 та 0,39 т/га, а за їх поєднання – 1,82 т/га. При цьому отримано зерно з умістом білка 13,1% і клейковини 29,8%, що відповідає II класу та з підвищеним умістом корисних мікроелементів (Co, Fe, Zn) [169].

Отже, триразове внесення азотних добрив весною на тлі помірних доз фосфорних і калійних добрив та проведення позакореневих підживлень сечовиною і мікродобривами є основою високої врожайності і якості зерна пшениці озимої у сучасних технологіях.

Буряки цукрові. Буряки цукрові є однією із найвибагливіших культур до умов мінерального живлення і потребують значно більше поживних речовин, ніж інші культури сівозміни [11, 58, 152]. На утворення 1 т коренеплодів і відповідної вегетативної маси рослини потребують значної кількості поживних речовин: мінерального азоту – 5-6 кг, фосфору – 1,5-2 кг, калію – 5,5-7,5 кг [56, 215].

Найефективнішою системою удобрення буряків цукрових є органо-мінеральна [380, 449]. За даними В. Märlander, С. Hoffmann, Н. J. Koch, Е. Ladewig [445] у Німеччині за врожайності буряків цукрових 50-55 т/га доза добрив $N_{120}P_{100}K_{140}$ на тлі 20 т/га гною є оптимальною. У Франції під планування врожайності буряків цукрових 50 т/га рекомендують вносити $N_{130}P_{110}K_{200}$ поєднано з 20 т/га гною [471]. У Великій Британії під врожайності буряків цукрових 55-60 т/га вносять мінеральних добрив $N_{120}K_{150}$ та органічних добрив 30 т/га. Фосфорні добрива не вносять із-за високого вмісту фосфору у ґрунті [404, 428].

Упродовж останніх трьох десятиліть для удобрення буряків цукрових широко використовується солома пшениці озимої, побічна

продукція основного попередника цієї культури [25, 72, 105, 241, 248]. Такий агрохімічний захід дозволяє істотно зменшити винос із ґрунту основних елементів живлення, створюючи більш сприятливе трофічне середовище у ґрунті для мінерального живлення рослин [14, 74, 349]. За заорювання у ґрунт 5-6 т /га соломи винос із ґрунту азоту зменшується на 23-28 кг/га, фосфору – на 11-15 кг/га, калію – на 67-80 кг/га, кальцію – на 20-24 кг/га, істотно зменшується винос мікроелементів таких як S, B, Cu, Mn, Zn. Ці елементи повертаються у ґрунт у складі органічного добрива соломи, слугуючи додатковим джерелом мінерального живлення рослин [4, 123, 239, 331].

За даними досліджень В.В. Іваніни [136] за заорювання на добриво побічної продукції рівень рециркуляції азоту в агроценозі буряків цукрових становив 41-45%, фосфору – 31-36%, калію – 45-50%. При цьому винос елементів живлення із ґрунту зменшився – на 35-50%.

Деякі вчені застерігають, що заорювання соломи може створювати дефіцит азотного живлення на ранніх етапах росту і розвитку буряків цукрових, оскільки мінералізація соломи мікроорганізмами супроводжується іммобілізацією азоту у ґрунті [378, 382, 417, 459, 466].

На думку М.К. Шикули, С.С. Антонця, В.О. Андрієнка [353], М.К. Шикули, А.Д. Балаєва, О.В. Демиденка [355] за заорювання у ґрунт соломи необхідно вносити компенсаційну дозу азотних добрив з розрахунку 10 кг азоту на 1 т соломи. Внесення під буряки цукрові 5 т/га соломи + N₅₀ + N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀ + мікродобриво забезпечило врожайність коренеплодів – 64,9 т/га з перевагою до контролю без добрив – 26,6 т/га [427].

Ефективним у покращенні азотного живлення буряків цукрових визначено внесення азотних добрив весною у передпосівну культивуацію [73]. За дози азоту у передпосівну культивуацію 90 кг/га на фоні 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку досягалась висока біологічна продуктивність: врожайність коренеплодів – 55,8 т/га, збір цукру – 9,71 т/га з перевищенням контролю без добрив на 14,6 та 2,54 т/га, відповідно. Подальше збільшення дози азоту весною визначено малоефективним, яке супроводжувалось зниженням цукристості коренеплодів [144].

Дослідники Данюк М.С. [71], Іваніна В.В., Данюк М.С. [141, 142] зазначають про високу ефективність застосування азотних добрив весною під буряки цукрові у поєднанні з деструктором соломи

за альтернативного органо-мінерального удобрення. Внесення азотних добрив у передпосівну культивуацію в дозі 90 кг/га на тлі 5 т/га соломи + Філазоніт, 10 л/га + $P_{90}K_{90}$ під оранку забезпечило найвищу продуктивність буряків цукрових: врожайність коренеплодів – 59,5 т/га, цукристість – 17,4%, збір цукру – 10,35 т/га з перевищенням контролю без добрив за врожайністю – на 18,3 т/га, збором цукру – на 3,18 т/га.

Високу ефективність у сучасних технологіях показало позакореневе підживлення буряків цукрових мікродобривами у фазі змикання листків у рядках та міжряддях [415, 421, 433]. Вчені М.Е. Gobarah, М.М. Tawfik, S.M. Zaghloul, G.A. Amin [413], А.А. Mekdad, [446] вважають, що підживлення буряків цукрових мікроелементами, зокрема бором (В), в умовах глобального потепління пом'якшує негативний вплив високих температур на рослину, запобігає стресам та сприяє підвищенню продуктивності рослин. Внесення позакоренево бору в дозі від 50 г/га [400, 421] до 120–150 г/га [433, 446] підвищувало врожайність коренеплодів, знижувало вміст натрію (Na), калію (K) та α -аміно N у кондуктометричній золі та зменшувало втрати цукру в мелясі у процесі його виробництва на заводі.

За даними М. Armin, М.Р. Asgharipour [419] застосування борних добрив у позакореневе підживлення буряків цукрових підвищило накопичення цукрів у коренеплодах на 26,4 відсотних %.

Дослідження І.М. Жердецького [95] показали, що внесення позакоренево мікродобрива «Реаком-р-бурякове» у фазі змикання листків у міжряддях у дозі 5,0 л/га на тлі рекомендованої дози добрив ($N_{90}P_{120}K_{90}$) підвищило врожайність коренеплодів на 2-4 т/га, цукристість – на 0,4-0,7%, збір цукру – на 0,6-1,1 т/га і забезпечило покращення технологічної якості коренеплодів порівняно з варіантом без позакореневого підживлення.

Дослідженнями R. Zuck [483] проведеними у Німеччині встановлено, що для отримання врожайності буряків цукрових 70 т/га необхідно вносити у ґрунт при посіві Mn – 2-4 кг/га, В – 1-2 кг/га, Zn – 1-2кг/га, Cu – 0.5-1.3кг/га, Мо – 0,2 кг/га, або проводити позакореневі підживлення мікродобривами з розрахунку Mn – 300-1000 г/га, В – 300-500 г/га, Zn – 300-600 г/га, Cu – 80-120 г/га, Мо – 4-20 г/га.

Ряд вчених зазначають високу ефективність поєднаного внесення мікродобрив та регуляторів росту в посівах буряків цукрових [92]. За даними В.В. Іваніни, Данюка М.С. [143] позакореневе підживлення буряків цукрових мікродобривом «Folstorp

combi» та регулятором росту «Folcrop amin» у фазі змикання листків у рядках та міжряддях на фоні 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку + N₉₀ у передпосівну культивуацію формувало максимальний розвиток листової поверхні, підвищило вміст хлорофілу у листових пластинках порівняно з контролем без добрив – на 0,33-0,43%, чисту продуктивність фотосинтезу – у 1,77-1,93 рази. Зазначена система удобрення забезпечила найвищу біологічну продуктивність буряків цукрових: врожайність коренеплодів – 60,3 т/га, збір цукру – 10,37 з перевищенням контролю без добрив – на 19,1 та 3,20 т/га.

Дослідження В.В. Іваніни, Р.М. Шаповаленка, Ю.П. Дубового [145] показали, що за позакореневого внесення регулятора росту «НаноМінераліс» у фазі змикання листків у рядках врожайність буряків цукрових порівняно з контролем без регулятора росту підвищилась – на 8,2 т/га, збір цукру – на 0,98 т/га з досягненням абсолютних величин – 62,7 та 9,93 т/га, відповідно.

Отже, застосування у сучасних технологіях соломи пшениці озимої, компенсаційної дози азоту, поміркованих доз мінеральних добрив та проведення позакорневих підживлень мікродобривами та регуляторами росту є основою отримання високої врожайності коренеплодів буряків цукрових з високою їх технологічною якістю.

За результатами огляду літератури з питань сталого вирощування сільськогосподарських культур у сівозмінах можна зробити такі висновки:

1. В умовах сучасного виробництва, за різкого скорочення виробництва органічних добрив, досягнення основ сталості та високої продуктивності сільськогосподарських культур потребує застосування альтернативних органічних добрив - побічної продукції сільськогосподарських культур та післяжнивних сидератів.

2. Сучасне виробництво потребує зміни агротехнологій у напрямку біологізації землеробства, зменшення біогенного навантаження на ґрунт та досягнення сталих засад аграрного виробництва за рахунок внутрішніх ресурсів агроecosистем.

3. Сучасні системи удобрення мають забезпечити оптимальні умови росту і розвитку рослин, сформувати раціональні підходи щодо збереження родючості ґрунту, не допустити надлишкових доз мінеральних добрив і досягти високих показників енергетичної та економічної ефективності.

4. Досягнення високих показників продуктивності потребує ширшого застосування мікродобрив і регуляторів росту.

Розділ 2 УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Умови проведення досліджень

Дослідження проводили у стаціонарних та тимчасових польових дослідках правобережного Лісостепу за достатнього і нестійкого зволоження: на Верхняцькій дослідно-селекційній станції ІБКіЦБ НААН охоплюють період 1986-2013 та 2018-2020 рр., Білоцерківській дослідно-селекційній станції – 1996-2013 та 2017-2024 рр., Уладово-Люлинецькій дослідно-селекційній станції – 2006-2010 та 2018-2023 рр. Лабораторні дослідження виконували в сертифікованій лабораторії агрохімії Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (свідоцтво про атестацію № А09-149 від 10.09.2009 р.; № А12-223 від 17.09.2020 р.)

Район діяльності Верхняцької дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, територіально розміщений у зоні Центрального Правобережного Лісостепу України. Територія області являє собою плато, розміщене на вододілі річок Південний Буг і Дніпро, що знаходиться на висоті 200 м над рівнем моря. Ґрунтовий покрив на 74% представлений чорноземом типовим вилугуваним та опідзоленим. Решту ґрунтового покриву складають темно-сірі опідзолени та сірі лісові ґрунти.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем опідзолений глибокий важкосуглинковий на лесовидних відкладах. Ґрунтовий профіль має таку будову:

Не – 0-45 см, гумусово-акумулятивний злегка еловійований, темно-сірий, помітна присипка оксиду кремнію, тонкопористий, грудочкувато-зернистий, важкосуглинковий, перехід до наступного горизонту поступовий.

НРі – 45-78 см, верхній перехідний іловійований, темно-сірий з буруватим відтінком, грудочкувато-зернистогоріхуватий, наявність півтораоксидів заліза, важкосуглинковий, перехід до наступного горизонту поступовий.

РНк – 78-112 см, нижній перехідний, палево-сірий, карбонати у вигляді прожилок з глибини 82 см, грудочкувато-зернистий, важкосуг-

линковий, зустрічаються кротовини, перехід до породи поступовий.

Рк – 112-130 см, лесовидний суглинок, палевий, помітні затьокі колоїдів, карбонатний, важкосуглинковий.

Білоцерківська дослідно-селекційна станція Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН розташована в північній частині Центрального Правобережного Лісостепу України. Територія станції знаходиться в межах Придніпровської височини, розчленованої чисельними балками та ярами вздовж берегів річки Рось з абсолютними висотами до 273 м над рівнем моря. Рельєф території слабохвиляста рівнина. У ґрунтовому покриві переважають чорнозем типовий, типовий вилугуваний та опідзолений, рідше зустрічаються сірий лісовий, дерново-підзолистий, в пониженнях лучно-чорноземний та дерновий ґрунти.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий вилугуваний глибокий середньосуглинковий на лесі. Будова ґрунтового профілю є наступною:

Н – 0-38 см, гумусово-аккумулятивний, темно-сірий, рівномірно гумусований, грудочкувато-зернистий, середньосуглинковий, перехід до наступного горизонту поступовий.

НР(к) – 38-84 см, верхній перехідний, темно-сірий, грудочкувато-горіхувато-зернистий, в нижній частині карбонатний, середньосуглинковий, перехід до наступного горизонту поступовий.

РНк – 78-133 см, нижній перехідний, палево-сірий, карбонати у вигляді прожилок, нерівномірно гумусований, грудочкувато-зернистий, середньосуглинковий, перехід до породи поступовий.

Рк – 133-150 см, лес, палевий, карбонатний, середньосуглинковий.

Уладово-Люлинецька дослідно-селекційна станція Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН розміщена у північно-західній частині Лісостепу України, характеризується слабохвилястим рельєфом, основними ґрунтоутворюючими породами є леси та лесовидні відклади. Ґрунтовий покрив представлений переважно чорноземом типовим та типовим вилугуваним легкосуглинкової текстури. Геологічна будова характеризується порівняно близьким від поверхні заляганнями кристалічних порід, на яких знаходяться флювіогляціальні піски, покриті лесовими породами.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий вилугуваний глибокий легкосуглинковий на лесовидних відкладах. Ґрунтовий профіль має таку будову:

Н – 0-42 см, гумусово-аккумулятивний, темно-сірий, рівномірно

розпушений, тонкопористий, грудочкувато-зернистий, легкосуглинковий, перехід до наступного горизонту поступовий.

НР – 42-91 см – верхній перехідний, темно-сірий, рівномірно гумусований, грудочкувато-зернистий, легкосуглинковий, перехід до наступного горизонту поступовий.

РНк – 91-118 см – нижній перехідний, палево-сірий з білими прожилками карбонатів кальцію, карбонатний з глибини 96 см, грудочкувато-зернистий, легкосуглинковий, перехід до наступного горизонту поступовий.

Рhk – 118-141 см, перехідний до породи, сіро-палевий, затьоки гумусу, карбонатний, зустрічаються кротовини, грудочкувато-зернистий, легкосуглинковий, перехід до породи поступовий.

Рк – 141-160 см, лесовидний суглинок, палево-жовтий, карбонатний, легкосуглинковий.

2.2 Методика досліджень

Дослідження охоплюють період 1986-2024 рр., включають узагальнення даних урожайності та якості продукції отриманих у довготривалих стаціонарних польових дослідях Верхняцької ДСС (1986-2010 рр.), Білоцерківської ДСС (1996-2007 рр.), Уладово-Люлинецької ДСС (2006-2010 рр.), тимчасових польових дослідях (2017-2024 рр.), аналітичні дослідження зразків ґрунту та рослин у стаціонарних, тимчасових та короткотермінових модельних дослідях.

В дослідженнях стаціонарного польового досліді Верхняцької ДСС (закладеного Ю.А. Тонкалем, П.М. Шияном, А.С. Заришняком у 1986 р.) за ГТК=1,1 вивчали вплив систем удобрення на продуктивність десятипільної зерно-бурякової сівозміни (просапних 30%, бобових 30%) та динаміку родючості ґрунту. Дослідження зосереджено на варіантах, де система удобрення відповідала параметрам оптимального забезпечення рослин елементами живлення та була найстабільнішою упродовж усього періоду проведення дослідів, що дало змогу оцінити зміну основних показників родючості ґрунту.

Схему стаціонарного польового досліді наведено в таблиці 2.1.

Сівозміну стаціонарного досліді розміщено в просторі на 6 полях з тривалістю спостережень у часі – 20 років. Повторення досліді 3 разове. Площа посівної ділянки – 240 м², облікової для зернових культур – 100 м², буряків цукрових – 64,5 м². Ґрунт дослідного поля – чорнозем опідзолений важкосуглинковий, який характеризується нас-

тупними агрохімічними та фізико-хімічними показники орного (0-30 см) шару: рН сольове – 5,8-6,2; гідролітична кислотність за Каппеном – 2,2-3,8 мг-екв./100 г ґрунту; сума увібраних основ – за Каппеном-Гільковіцем – 28,0-30,0 мг-екв./100 г ґрунту; загальний вміст гумусу – за Тюрніним – 3,0-3,6%; рухомого фосфору та калію, за Чиріковим – відповідно 90-140 та 70-100 мг/кг ґрунту; легкогідролізованого азоту – за Тюрніним-Коновою – 100-120 мг/кг ґрунту.

На Білоцерківській ДСС дослідження з вивчення впливу традиційних та альтернативних з елементами біологізації систем удобрення на продуктивну здатність ґрунту та динаміку його родючості проводили в різноротаційних сівозмінах впродовж третьої та четвертої ротацій багатofакторного стаціонарного польового дослідження (ГТК=1,3), закладеного В.Ф. Зубенком, А.Ф. Одрехівським у 1973 р. В третій ротації (1996-2007 рр.) дослідження проводили у зерно-просапній сівозміні (просапних 40%, бобових 10%). Після її закінчення сівозміну трансформовано у плодозмінну (просапних 16,7%, бобових 33%), де дослідження було продовжено упродовж 2006-2013 рр.

Схеми стаціонарних дослідів за роками досліджень наведено в таблицях 2.3, 2.4, 2.5, 2.7.

Сівозміни стаціонарного дослідження розміщено у просторі на 3-х полях з тривалістю спостережень у часі – 16 років. Повторення дослідження 3 разове. Площа посівної ділянки – 228 м², облікової – 100 м². Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий вилугуваний середньо-суглинковий, який має наступну агрохімічну та фізико-хімічну характеристику орного (0-30 см) шару: гідролітична кислотність за Каппеном – 1,71-1,80 мг-екв./100 г ґрунту; загальний вміст гумусу за Тюрніним – 3,6-3,8%; рухомого фосфору та калію за Чиріковим – відповідно 153-170 та 64-78 мг/кг ґрунту; легкогідролізованого азоту за Тюрніним-Коновою – 120-136 мг/кг ґрунту.

На Уладово-Люлинецькій ДСС за ГТК=1,5 у ланці сівозміни з горохом (2006-2010 рр.) стаціонарного польового дослідження закладеного А.С. Заришняком у 2006 р. вивчали вплив добрива традиційної та альтернативної (з внесенням сидерату гірчиці білої, поєднання сидерату і побічної продукції) систем удобрення на динаміку природної та ефективної родючості ґрунту.

Схему стаціонарного дослідження наведено в таблиці 2.10.

**Таблиця 2.1 Система удобрення культур плодозміної зерно-буяркової сівзміни (1-2-га ротатії),
Верхняцька ДСС, 1986–2013 рр., кг д.р./га**

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівзміної площі	Схема чергування культур в сівзміні та їх удобрення											
		I конюшина	II пшениця озима	III буряки цукрові	IV горох	V пшениця озима	VI кукуруза на зерно	VII вико-овес	VIII пшениця озима	IX буряки цукрові	X ячмінь ярій + коношина		
1	Без добрив (контроль)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	-	N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀	-	N ₆₀ P ₇₅ K ₄₀	-	N ₈₀ P ₅₀ K ₆₀	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀	-	-	-	-
23	N ₇₅ P _{42,5} K ₅₀	-	N ₉₀ P ₅₀ K ₆₀	N ₁₈₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀	-	N ₉₀ P ₇₅ K ₄₀	-	N ₁₂₀ P ₅₀ K ₆₀	N ₁₈₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀	-	-	-	-
19	N ₅₀ P _{63,7} K ₅₀	-	N ₆₀ P ₇₅ K ₆₀	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₄₀	-	N ₆₀ P ₁₁₀ K ₄₀	-	N ₈₀ P ₇₅ K ₆₀	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₄₀	-	-	-	-
25	N ₅₀ P _{42,5} K ₇₅	-	N ₆₀ P ₅₀ K ₉₀	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₂₁₀	-	N ₆₀ P ₇₅ K ₆₀	-	N ₈₀ P ₅₀ K ₉₀	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₂₁₀	-	-	-	-
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 7,1 т/га побічної продукції	-	N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀ + 6,5 т/га соломи пшениці	2,2 т/га гички буряків цукрових	N ₆₀ P ₇₅ K ₄₀ + 7,8 т/га соломи пшениці	N ₆₀ P ₇₅ K ₄₀ + 7,1 т/га стебел кукурузи	N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀ + 7,1 т/га соломи пшениці	18 т/га гички буряків цукрових	-	-	-
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	-	N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀ + 40 т гною	-	N ₆₀ P ₇₅ K ₄₀ + 40 т гною	-	N ₈₀ P ₅₀ K ₆₀	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀ + 40 т гною	-	-	-	-
12	12 т/га гною + 6,8 т/га побічної продукції	-	-	40 т гною + 6,2 т/га соломи пшениці	17 т/га гички буряків цукрових	40 т гною + 7,1 т/га соломи пшениці	7,1 т/га стебел кукурузи	-	40 т гною + 6,7 т/га соломи пшениці	13 т/га гички буряків цукрових	-	-	-

Примітка. Дослід закладений Ю.А. Тонкалем, П.М. Шияном, А.С. Заришняком у 1986 р.

Таблиця 2.2 Вивчення ефективності біологізації та осучаснення системи удобрення на продуктивність буряків цукрових, Верхняцька ДСС, 2018-2020 рр., кг д.р./га

№ вар.	Добрива
1	Без добрив (контроль)
2	Солома, 5 т/га - Фон
3	Фон + Філазоніт, 10 л/га (деструктор)
4	Фон + P ₉₀ K ₉₀ – під оранку
5	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₉₀ у передпосівну культивуацію
6	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₁₂₀
7	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₁₅₀
8	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₉₀ + М
9	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₉₀ + (М + РР)
10	Фон + Філазоніт + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₉₀
11	Фон + Філазоніт + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₉₀ + (М + РР)

Примітка: N₉₀₋₁₅₀ – у передпосівну культивуацію, М – мікродобриво «Folcrops combi» та РР – регулятор росту «Folcrops amin» позакоренево у фазі змикання листків у рядку, Філазоніт – деструктор вноситься по соломі перед її зароблянням у ґрунт

У варіантах 3, 12 та 13 солону пшениці озимої обробляли деструктором «Філазоніт» перед зароблянням у ґрунт. У варіантах 10, 11 та 13 проводили позакоренево підживлення буряків цукрових мікродобривом «Folcrops combi» та поєднано з регулятором росту «Folcrops amin» у фазі змикання листків у рядку.

Деструктор «Філазоніт» – це природний консорціум активних целюлозолітичних мікроорганізмів з високими антагоністичними властивостями щодо збудників хвороб рослин.

Мікродобриво «Folcrops combi» містить такі елементи: цинк – 0,6%, молібден – 0,1%, бор – 0,4%, залізо – 5,1%, мідь – 0,15%, марганець – 2,5%.

Регулятор росту «Folcrops amin» містить такі елементи: азот – 5,28%, вільні амінокислоти – 16,8%, залізо – 2,4%, цинк – 1,2%.

Таблиця 2.3 Система удобрення культур зерно-просапної сівозміни (третя ротация),
Білоцерківська ДСС, 1996-2007 рр., кг д.р./га

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміної площі	Схема чергування культур в сівозміні та їх удобрення												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X			
11	Без добрив (контроль)	редька олійна	пшениця озима	-	горох	пшениця озима	буряки цукрові	-	кукуруза на зеленій корм	-	пшениця озима	буряки цукрові	-	ячмінь ярий
2	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆	-	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₀ P ₆₀ K ₆₀
4	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + побічна продукція	-	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + солома пшениці	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀ + гичка буряків цукрових	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + солома пшениці	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀ + гичка буряків цукрових	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + солома пшениці	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₀ P ₆₀ K ₆₀ + гичка буряків цукрових
13	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га гною	-	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + 30 т гною	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + 30 т гною	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + 30 т гною	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₀ P ₆₀ K ₆₀

Таблиця 2.4 Система удобрення культур плодозміної сівозміни (четверта ротация),
Білоцерківська ДСС, 2006-2013 рр., кг д.р./га

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміної площі	Схема чергування культур в сівозміні та їх удобрення					
		I	II	III	IV	V	VI
11	Без добрив (контроль)	-	пшениця озима	буряки цукрові	ячмінь ярий + коношина	коношина	пшениця озима
2	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃	-	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	-	-	-
4	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	солома пшениці	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + солома пшениці	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀ + гичка буряків цукрових	-	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀
13	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + 8,3 т/га гною	-	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + 50 т гною	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀	-	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀

Таблиця 2.5 Система удобрення культур у ланках сівозмін (п'ята ротація), Білоцерківська ДСС, 2017-2019 рр., кг д.р./га

№ вар	Ячмінь + б/т – конюшина – пшениця озима (плодозмінна сівозміна)		№ вар	Ячмінь – вика яра – пшениця озима (зерно-просапна сівозміна)	
	на 1 га сівозміни	під пшеницю озиму		на 1 га сівозміни	під пшеницю озиму
11	Без добрив (з 1976 р.) - контроль		51	Без добрив (з 1976 р.) - контроль	
13	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + 8,3 т/га гною	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	41	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + 8,3 т/га гною	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀
5	N ₆₅ P ₄₃ K ₄₃ + 8,3 т гною	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	49	N ₆₅ P ₄₃ K ₄₃ + 8,3 т гною	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
4	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀			

Таблиця 2.6 Вивчення впливу доз, строків та способів застосування азотних добрив на врожайність та якість зерна пшениці озимої, Білоцерківська ДСС, 2017-2019 рр., кг д.р./га

№ вар	Варіант	Строки та дози внесення азотних добрив		
		по мерзлоталому ґрунту (II етап)	фаза виходу рослин у трубку (IV етап)	фаза молочно-воскової стиглості (IX етап)
1	Без добрив (контроль)	-	-	-
2	P ₆₀ K ₆₀ – Фон	-	-	-
3	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ – під оранку	-	-	-
4	Фон + N ₆₀ - весною	N _{aa60}	-	-
5	Фон + N ₆₀	N _{aa30}	N _{c30}	-
6	Фон + N ₈₀	N _{aa30}	N _{c30}	N _{c20}
7	Фон + N ₁₁₀	N _{aa60}	N _{c30}	N _{c20}

Примітка: II етап органогенезу – амонійну селітру (NH₄)₂NO₃ вносили по мерзлоталому ґрунту; IV та IX етапи органогенезу – сечовину CO(NH₂)₂ вносили по листку

Таблиця 2.7 Система удобрення культур у сівозмінах (шоста рогація), Білоцерківська ДСС, 2019-2024 рр., кг д.р./га

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Схема чергування культур в сівозміні та їх удобрення					
		I	II	III	IV	V	VI
		вико-овес	пшениця озима	буряки цукрові	ячмінь ярій	- коношина; - вика яра; - соя	- пшениця озима; - пшениця озима; - соняшник
Вико-овес-пшениця озима-буряки цукрові-ячмінь+коношина-пшениця озима (плодозмінна сівозіміна)							
11	Без добрив (контроль)	-	-	-	-	-	-
2	N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃	-	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₉₀ K ₉₀	-	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
13	N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + 6,6 т/га гною	-	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₉₀ K ₉₀ + 40 т гною	-	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
4	N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	солома пшениці	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₉₀ K ₉₀ + солома пшениці	гичка ш/б	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
Вико-овес-пшениця озима-буряки цукрові-ячмінь-вика яра-пшениця озима (зерно-просапна сівозіміна)							
51	Без добрив (контроль)	-	-	-	-	-	-
55	N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃	-	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₉₀ K ₉₀	-	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
53	N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + 6,6 т/га гною	-	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₉₀ K ₉₀ + 40 т гною	-	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
49	N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	солома пшениці	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₉₀ K ₉₀ + солома пшениці	гичка ш/б	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
Вико-овес-пшениця озима-буряки цукрові-ячмінь-сося-соняшник (просапна сівозіміна)							
31	Без добрив (контроль)	-	-	-	-	-	-
33	N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + 6,6 т/га гною	-	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₉₀ K ₉₀ + 40 т гною	-	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
26	N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	солома пшениці	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₉₀ K ₉₀ + солома пшениці	гичка ш/б	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀

Таблиця 2.8 Вивчення ефективності багаторазового внесення азотних добрив весною та мікродобрив на врожайність пшениці озимої, Білоцерківська ДСС, 2022-2024 рр., кг д.р./га

№ вар	Варіант	Строки та дози внесення азотних добрив		
		по мерзлотало му ґрунту (II етап)	фаза виходу рослин у трубку (IV етап)	фаза колосіння (VIII етап)
1	Без добрив(контроль)	-	-	-
2	P ₆₀ K ₆₀ – Фон (осінь)	-	-	-
3	Фон + N ₈₀	N _{ca30}	N _{c30}	N _{c20}
4	Фон + N ₈₀ + Mn	N _{ca30}	N _{c30} + Mn	N _{c20} + Mn
5	Фон + N ₈₀ + Mn, Si	N _{ca30}	N _{c30} + Mn, Si	N _{c20} + Mn, Si
6	Фон + N ₁₁₀	N _{ca60}	N _{c30}	N _{c20}
7	Фон + N ₁₁₀ + Mn	N _{ca60}	N _{c30} + Mn	N _{c20} + Mn
8	Фон + N ₁₁₀ + Mn, Si	N _{ca60}	N _{c30} + Mn, Si	N _{c20} + Mn, Si

Примітка: N_{ca} – сульфат амонію; N_c - сечовина

У досліді вносили наномарганцеве мікродобриво «Іннопарміс Агросайнс» та кремнієве мікродобриво «BAI-Si». Наномарганцеве містило марганцю 25%, у складі марганцю 25% MnO та 70% MnS, доза внесення – 3 кг/га. Кремнієве мікродобриво «BAI-Si», містило кремнію 5-7%, доза внесення – 0,5 л/га.

Таблиця 2.9 Вивчення ефективності альтернативної осучасненої системи удобрення на продуктивність буряків цукрових, Білоцерківська ДСС, 2017-2019 рр., кг д.р./га

№ вар.	Фон органіки (фактор А)	Добрива (фактор В)
1	Без добрив	Без добрив (контроль)
2		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀
3		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + Мікродобриво
4		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + Мікродобриво + Регулятор росту
5	5 т/га соломи пшениці озимої + N ₅₀	Без добрив (контроль)
6		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀
7		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + Мікродобриво
8		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + Мікродобриво + Регулятор росту

У досліді вносили: N₅₀ – компенсаційну дозу азоту при внесенні соломи, мікродобриво «Максимус» (бор), 1,5 л/га позакоренево у фазі змикання листків у рядку та міжряддях, регулятор росту «Нано-Мінераліс», 0,05-0,1 л/га позакоренево – змикання листків у рядку.

Мікродобриво «Максимус» (бор) – це амонійно карбоксилатні комплекси: В - 10%, N - 2%.

Регулятор росту «Нано-Мінераліс» містив дев'ять життєво необхідних для рослин біогенних металів – *Cu* – 120 мг/л, *Fe* – 160, *Co* – 100, *Mo* – 50, *Mg* – 1600, *Mn* – 120, *Zn* – 220, *Se* – 40, *Nd* – 50 мг/л у формі нанокарбоксилатів.

Таблиця 2.10 Система удобрення культур ланки зерно-просапної сівозміни, Уладово-Люлинецька ДСС, 2006-2010 рр., кг д.р./га

№ вар.	Внесено добрив на 1 га ланки сівозміни	Чергування культур та їх удобрення		
		I	II	III
		горох	пшениця озима	буряки цукрові
1	Без добрив (контроль)	-	-	-
3	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	-	N ₆₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀
15	N _{73,3} P ₂₀ K ₃₀	-	N ₉₀	N ₁₃₀ P ₆₀ K ₉₀
18	N ₅₀ P ₃₀ K ₃₀	-	N ₆₀	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀
20	N ₅₀ P ₂₀ K _{43,3}	-	N ₆₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₁₃₀
4	N _{66,7} P _{26,7} K ₄₀	-	N ₈₀	N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₂₀
5	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га гною	-	N ₆₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + 40 т гною
6	13,3 т/га гною	-	-	40 т гною
10	Гірчиця біла	-	-	сидерат
11	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	-	N ₆₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат
12	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + побічна продукція	-	N ₆₀ + солома гороху	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат + солома пшениці

Примітка. Урожайність зеленої маси гірчиці білої – 24,8 т/га, середнє за 2006-2010 рр.; дослід закладений А.С. Заришняком у 2006 р.

Сівозміну стаціонарного досліді розміщено у просторі на 4 полях, повторення досліді 4 разове. Площа посівної ділянки – 100 м², облікової – 73,1 м² (зернових і зернобобових культур), 50 м² (буряків цукрових). Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий вилугуваний легкосуглинковий, який характеризуються наступними агрохімічними та фізико-хімічними показники орного (0-30 см) шару: рН сольове – 5,9-6,5; Нг – 1,18-1,30 мг-екв./100 г ґрунту; сума увібраних основ – 24,4-27,6 мг-екв./100 г ґрунту; загальний вміст гумусу за Тюріним – 4,0-4,2%; лужногідролізованого азоту – 125-130 мг/кг ґрунту; рухомих сполук фосфору та калію за Чириковим – відповідно 140-160 і 75-80 мг/кг ґрунту.

Таблиця 2.11 Вивчення впливу доз, форм та строків внесення азотних добрив на врожайність пшениці озимої, Уладово-Люлинецька ДСС, 2018-2020 рр., кг д.р./га

№ вар	Варіант	Строки та дози внесення азотних добрив		
		по мерзлоталому ґрунту (II етап)	фаза виходу рослин у трубку (IV етап)	фаза колосіння (VIII етап)
1	Без добрив(контроль)	-	-	-
2	P ₆₀ K ₆₀ – Фон (осінь)	-	-	-
3	Фон + N ₆₀	N _{ca60}	-	-
4	Фон + N ₈₀	N _{ca30}	N _{aa30}	N _{с20}
5	Фон + N ₈₀	N _{ca30}	N _{с30}	N _{с20}
6	Фон + N ₁₁₀	N _{ca60}	N _{aa30}	N _{с20}
7	Фон + N ₁₁₀	N _{ca60}	N _{с30}	N _{с20}

Примітка: II етап органогенезу – сульфат амонію (NH₄)₂SO₄ по ґрунту (вар. 3-7); IV етап органогенезу – амонійну селітру (NH₄)₂NO₃ по ґрунту (вар. 4, 6), сечовину CO(NH₂)₂ по листку (вар. 5, 7); VIII етап органогенезу – сечовину по листку

У досліді фосфорні (простий суперфосфат) і калійні (калій хлористий) добрива в дозі 60 кг/га вносили з осені під оранку, азотні весною у три прийоми: по мерзлоталому ґрунту (сульфат амонію – 21%), у фазі виходу рослин в трубку (амонійна селітра – 34,5% N, сечовина – 46% N) та у фазі колосіння (сечовина – 46% N).

Таблиця 2.12 Вивчення ефективності азотних добрив та мікродобрив в посівах буряків цукрових на тлі альтернативного удобрення, Уладово-Люлинецька ДСС, 2020-2022 рр., кг д.р./га

№ вар.	Добрива
1	Без добрив (контроль)
2	Солома пшениці озимої, 5 т/га - Фон
3	Фон + N ₉₀ P ₉₀ K ₁₃₀ під оранку
4	Фон + P ₉₀ K ₁₃₀ під оранку + N ₆₀ у передпосівну культивуацію
5	Фон + P ₉₀ K ₁₃₀ під оранку + N ₉₀ у передпосівну культивуацію
6	Фон + P ₉₀ K ₁₃₀ під оранку + N ₁₂₀ у передпосівну культивуацію
7	Фон + P ₉₀ K ₁₃₀ під оранку + N ₉₀ у передпосівну культивуацію + борне мікродобриво «Басфоліар борон СП» у фазі змикання листків в рядку та міжряддях
8	Фон + P ₉₀ K ₁₃₀ під оранку + N ₉₀ у передпосівну культивуацію + комплексне мікродобриво «Авангард Р Буряк» у фазі змикання листків в рядку та міжряддях

У тимчасовому досліді у позакореневе підживлення буряків цукрових вносили борне мікродобриво «Басфоліар борон СП» - вміст бору 21%, доза внесення 2 кг/га та композиційне мікродобриво «Авангард Р Буряк», яке містило: В – 6 г/л, Mn – 15 г/л, Мо – 0,1 г/л, Fe – 2 г/л, Zn – 7 г/л, Cu – 5 г/л, Со – 0,1 г/л, MgO – 50 г/л, SO₃ – 129 г/л, N – 50 г/л, K₂O – 10 г/л, доза внесення 2 л/га.

Таблиця 2.13 Вивчення впливу кремнієвих і борних мікродобрив на продуктивність буряків цукрових, Уладово-Люлинецька ДСС, 2021-2023 рр, кг д.р./га

№ вар.	Добрива
1	Без добрив (контроль)
2	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ - Фон
3	Фон + 0,3 Si (6-8 листків) + 0,3 Si (10-12 листків)
4	Фон + 0,3 Si+B (6-8 листків) + 0,3 Si+B (10-12 листків)
5	Фон + 0,5 Si (6-8 листків) + 0,5 Si (10-12 листків)
6	Фон + 0,5 Si+B (6-8 листків) + 0,5 Si+B (10-12 листків)
7	Фон + 0,7 Si (6-8 листків) + 0,7 Si (10-12 листків)
8	Фон + 0,7 Si+B (6-8 листків) + 0,7 Si+B (10-12 листків)

Примітка: доза кремнію в одне підживлення – 0,3-0,7 л/га, бору – 1 кг/га

У тимчасовому досліді позакоренево підживлення проводили кремнієвим та борним мікродобривом у фазі 6-8 та 10-12 листків. Кремнієве мікродобриво «BAI-Si» виробник ТОВ «Агроекотех» Україна, вміст кремнію 5-7%, доза одноразового внесення – 0,3-0,7 л/га. Борне мікродобриво «Вітамін бор», виробник компанія «Агрохімічні технології» (АХТ), вміст бору 17%, доза внесення 1 кг/га. Мікродобрива вносили позакоренево на тлі N₉₀P₆₀K₉₀. Фосфорні та калійні добрива застосовували з осені під оранку, азотні весною у передпосівну культивуацію.

У Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН для вивчення особливостей трансформації рослинних решток залежно від дози компенсаційної дози азоту було закладено лабораторний (модельний) дослід, де дослідження проводили упродовж 2011-2013 рр.

Схему модельного досліді наведено в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 Схема модельного досліді з вивчення впливу компенсаційного азотного добрива на трансформацію побічної продукції у ґрунті, ІБКіЦБ, 2011-2013 рр.

№ вар.	Компенсаційна доза азоту добрив (фактор А)	Побічна продукція культур (фактор Б)				
		солома пшениці озимої	стебла кукурудзи	солома гороху	гичка буряків цукрових	зелена маса гірчиці білої
		співвідношення С:N				
1	Без добрив	80:1	57:1	44:1	18:1	15:1
2	1N	40:1	33:1	29:1	14:1	11:1
3	3N	20:1	18:1	17:1	11:1	9:1
4	7N	10:1	10:1	9:1	7:1	6:1

Побічну продукцію культур (солому пшениці озимої та гороху, стебла кукурудзи, зелену масу гірчиці білої) змішували з 15 кг ґрунту на фоні різної компенсаційної дози азоту та впродовж року компостували за вологості 60% ПВ і 25⁰С. Досліди проводили в посудинах Вагнера (діаметр 22 см, висота 34 см), вміст сухого ґрунту – 14 кг/посудину. Повторення досліді 5 разове. Ґрунт – чорнозем типовий вилугуваний середньосуглинковий (Білоцерківська ДСС).

Доза внесення органічних добрив у вуглецевому еквіваленті становила 4000 мг/кг ґрунту, азотних за одинарної дози (1N) – 50, потрійної (3N) – 150, семерної (7N) – 350 мг/кг ґрунту. Поєднання внесення рослинних решток і компенсаційної дози азоту забезпечило співвідношення C:N для соломи пшениці озимої 80-10:1, стебел кукурудзи – 57-10:1, соломи гороху – 44-9:1, гички буряків цукрових – 18-7:1, зеленої маси гірчиці білої – 15-6:1. В досліді застосовували амонійну селітру.

У стаціонарних польових дослідях на Верхняцькій, Білоцерківській та Уладово-Люлинецькій ДСС добрива вносили у формі амонійної селітри, суперфосфату простого гранульованого, хлористого калію та напівперепрілого гною великої рогатої худоби. Удобрення сільськогосподарських культур проводили згідно схем стаціонарних дослідів.

Агротехніка вирощування сільськогосподарських культур – загальноприйнята для зон нестійкого (Верхняцька та Білоцерківська ДСС) та достатнього (Уладово-Люлинецька ДСС) зволоження. У процесі досліджень на Верхняцькій ДСС вирощували сільськогосподарські культури таких сортів: пшениці озимої – «Одеська 161 та 267», «Миронівська 27 та 31», «Подольнка»; гороху – «Вінничанка», «Уладівський 10», «Царевич»; буряків цукрових – гібриди «Білоцерківський однонасінний 45», «Український ЧС 70», «Верхняцький ЧС 63», «Весто»; кукурудзи на зерно – гібриди «Ювілейний 60», «Консул», «Арабас»; ячменю ярого – «Гопар», «Дружба», «Скарлет»; конюшини – «Носівська 5», «Атлас»; вики ярої – «Білоцерківська 70», «Ярослава»; вівса – «Верхняцький 24», «Стрілець».

На Білоцерківській ДСС висівали такі сорти: пшениці озимої – «Веселка», «Либідь», «Білоцерківська напівкарликова»; гороху – «Комет», «Інтенсивний 92», «Орендатор»; ячменю ярого – «Скарлет», «Рось», «Себастьян»; буряків цукрових – гібриди «Білоцерківський однонасінний 45», «Білоцерківський ЧС 57», «Олександрія»; кукурудзи на зелений корм – «Кулон», «Дебют», «Дніпровська 228»; редьки олійної – «Оksamит»; вики ярої – «Білоцерківська 70»; вівса – «Декамерон».

На Уладово-Люлинецькій вирощували сільськогосподарські культури таких сортів: пшениці озимої – «Фаворитка», «Колумбія»; гороху – «Вінничанин», «Улус»; буряків цукрових – гібриди «Уладово-Верхняцький 37», «Ризольт».

Зразки ґрунту для фізико-хімічного та агрохімічного аналізу відбирали восени у п'яти точках ділянки на кожному з трьох повторень. Глибина відбору зразків становила 0-30 та 30-40 (60) см. Рослинні зразки відбирались на час збирання врожаю рамковим методом (трикратне повторення) у кожному з трьох повторень. Відбір середньої проби проводився методом квартування з наступною фіксацією (105⁰С) і висушуванням зразка до постійної ваги (60-70⁰С).

Аналітичні дослідження ґрунтових та рослинних зразків проведено в лабораторії агрохімії ІБКіЦБ НААН за методичними вказівками ВНЦ «Сучасні методи хімічного аналізу ґрунту і рослин» (2010) [122] та ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського» – «Методи аналізів ґрунтів і рослин» (1999) [161].

Для визначення фізико-хімічних і агрохімічних показників ґрунтів застосовували такі методи: рН сольове – на рН-метрі згідно з ДСТУ ISO 10390: 2007 [297]; гідролітичну кислотність ґрунту – за Каппеном згідно з ДСТУ 7537:2014 [299]; ступінь насичення ґрунту основами – математично-розрахунковим методом; загальний вміст гумусу – за Тюрніним згідно з ДСТУ 4289:2004 [298]; груповий склад гумусу – за Тюрніним в модифікації М.М. Конової і М.П. Бельчикової згідно з МВВ 31-497058-006-2002 [40]; амонійний і нітратний азот – згідно з ДСТУ 4729:2007 [296]; азот органічних сполук ґрунту методом двоступеневого кислотного гідролізу за Е.А. Андрєєвою, Г.М. Щегловим; рухомий фосфор та калій – за Чиріковим згідно з ДСТУ 4115-2002 [58]; фракційний склад фосфору – за Чиріковим; фракційний склад калію – за Пчолкіним.

Сиру масу рослин визначали ваговим методом; вміст сухої речовини – термостатично-ваговим методом; загальний азот за Кьельдалем згідно з ДСТУ 7169:2010 [123]; загальний фосфор – після мокрого озолення за Гінзбург методом Деніже; загальний калій після мокрого озолення на полумєневому фотометрі.

Для визначення показників якості продукції застосовували такі методи: масу 1000 зерен – ваговим методом; вміст білка в зерні розраховували за кількістю білкового азоту, який визначали за методом Барштейна; технологічні показники якості коренеплодів і цукристість – на технологічній лінії «Венема»; вихід цукру, втрати цукру в меласі, доброякісність нормально очищеного соку – розрахунковим методом.

Баланс поживних речовин на кінець ротації визначали в трьох полях сівозміни шляхом співставлення джерел надходження елементів живлення в ґрунт (добрива, опади, насіння, симбіотична і асимбіотична

фіксація азоту) та їх втрат з ґрунту (винос урожаєм, вимивання, газоподібні втрати азоту). Визначення енергетичної і економічної ефективності застосування добрив в сівозмінах – за допомогою комп'ютерної програми з визначення енерговитрат і енергетичного балансу, розробленими ННЦ "Інституту землеробства НААН" (2008) [159].

Збирання і облік врожаю проводився суцільним методом з усієї облікової площі ділянок з наступним перерахунком на площу 1 га. Зернові культури збирали комбайном, зелену масу конюшини лучної, коренеплоди буряків цукрових, кукурудзу на зерно – вручну. Математичну обробку отриманих результатів досліджень виконували шляхом статистичного аналізу, розробку прогностичних лінійних та криволінійних моделей – за методом регресійного аналізу з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel.

2.3 Агrometeorологічні умови в роки проведення досліджень

Дослідження з вивчення впливу добрив на продуктивність зерно-бурякової сівозміни, природну та ефективну родючість ґрунту проводили в умовах нестійкого та достатнього зволоження зони Лісостепу України. Кількість опадів в умовах нестійкого зволоження в середньому за рік становила близько 480 мм, достатнього зволоження – понад 650 мм.

Верхняцька дослідно-селекційна станція знаходиться у південній частині Центрального Лісостепу України. Серед елементів клімату у цьому регіоні вирішальне значення має забезпечення рослин вологою і теплом. За характером і кількістю випадання опадів кожні 2-3, а іноді і 3-5 років за десятиріччя є посушливими.

За тепловим режимом клімат регіону є помірноконтинентальним. Безморозний період триває 155-170 днів. Дати перших осінніх приморозків приходяться на першу декаду жовтня, проте в окремі роки вони можуть бути раніше – в кінці першої декади вересня, або пізніше – у першій декаді листопада. Весною приморозки в середньому закінчуються у кінці квітня, але в окремі роки можуть спостерігатись і в кінці травня.

Період з річною сумою температур понад $(+10)^{\circ}\text{C}$ ($2500-2700^{\circ}\text{C}$) триває 140-165 днів, з температурою понад $(+5)^{\circ}\text{C}$ (3010°C) – 210-225 днів. Перехід середньодобової температури повітря через $(+5)^{\circ}\text{C}$ спостерігається у першій декаді квітня, тоді як період активної

вегетації (перехід температури через $(+10)^{\circ}\text{C}$) починається у третій декаді квітня.

Початком літнього сезону вважають дату переходу середньої добової температури через $(+15)^{\circ}\text{C}$. Літо починається з середини травня і продовжується до середини вересня. Характерною особливістю літнього сезону є високі і стійкі температури. Тепла і порівняно волога погода сприяє інтенсивній вегетації сільсько-господарських культур, за винятком посушливих років, коли тривала відсутність опадів негативно впливає на їх продуктивність.

З другої декади вересня по 5-10 жовтня середньодобова температура повітря опускається нижче $(+10)^{\circ}\text{C}$, що вважається початком осені. Осінь переважно тепла, сонячна з поступовим переходом до зимового періоду.

За роки проведення досліджень на Верхняцькій дослідно-селекційній станції температура повітря на початку вегетації рослин весною була близькою до норми у квітні 1986, 1988, 1991, 1992, 1993, 1995, 1996, 2003, 2011, 2013 років, що сприяло інтенсивному росту пшениці озимої та появі сходів буряків цукрових. Спекотним був квітень у 1989, 1994, 1998, 1999, 2000, 2001, 2005, 2008 та 2009 роках, температура повітря перевищувала середній багаторічний показник на $2,7-4,9^{\circ}\text{C}$, що негативно впливало на ріст та розвиток сільсько-господарських культур (табл. 2.15).

У літні місяці температура повітря найвищою була в липні та серпні з середнім багаторічним показником – відповідно $19,3$ та $18,8^{\circ}\text{C}$. Найвищою у липні температура була в 1999, 2001, 2002, 2007, 2010 та 2012 рр., що прискорило дозрівання пшениці озимої і посилило ріст та розвиток буряків цукрових.

Температура повітря у серпні була близькою до середнього багаторічного показника у 1990, 1991, 1994, 1996, 1998, 2004 та 2011 роках, що позитивно впливало на ріст рослин. Найбільш спекотним серпень був у 1992, 2007, 2008 та 2010 роках, коли середньомісячна температура перевищувала багаторічний показник на $2,3-5,0^{\circ}\text{C}$. За такої температури повітря інтенсивніше відбувалось наростання вегетативної маси і накопичення цукрів у коренеплодах буряків цукрових.

У вересні середня багаторічна температура повітря становила $13,9^{\circ}\text{C}$. Істотно вищою температура повітря (на $2,1-4,0^{\circ}\text{C}$) до середнього багаторічного показника була у 1994, 1999, 2005, 2009 та 2012 роках, що сприяло накопиченню цукрів в коренеплодах буряків цукрових.

Зниження температури на 1,3-3,7⁰C до середнього багаторічного показника спостерігали у 1993, 1996, 1997 та 2000 рр., що позитивно вплинуло на схожість пшениці озимої.

**Таблиця 2.15 Середньомісячна температура повітря, ⁰C,
Хрестинівська агрометеостанція, 1986-2020 рр.**

Рік	Місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1986	-5,1	-3,4	0,8	6,5	12,9	18,1	19,7	20,4	14,5	7,1	0,6	-5,1
1987	-14,4	-5,2	-6,9	4,3	13,4	17,3	20,0	16,4	13,8	7,3	2,3	-3,7
1988	-4,9	-3,5	0,9	7,0	14,7	17,7	21,5	19,1	14,5	7,0	-2,8	-3,3
1989	-0,4	1,9	4,9	11,0	14,3	18,2	18,7	19,8	13,9	9,1	-0,3	-0,9
1990	-1,1	2,1	6,4	8,8	14,1	16,7	18,3	18,5	13,0	8,6	5,5	-2,3
1991	-2,4	-5,7	0,4	8,3	12,5	17,9	20,5	18,2	14,8	9,1	2,1	-3,5
1992	-3,2	-3,0	2,8	7,5	13,0	17,6	19,5	22,6	13,1	7,2	2,0	-4,6
1993	-2,6	-2,9	0,6	7,5	15,8	16,4	17,3	17,9	12,0	8,4	-5,2	-0,2
1994	0,1	-4,6	2,2	10,8	13,3	15,8	20,0	18,8	17,9	8,2	0,8	-3,4
1995	-4,3	1,5	2,9	8,2	13,4	19,3	20,4	19,2	13,7	8,7	-0,9	-6,4
1996	-10,3	-7,6	-3,6	8,2	18,1	18,5	18,8	18,8	10,2	8,6	6,8	-3,7
1997	-6,8	-1,6	1,6	5,6	16,0	17,8	18,9	18,0	11,3	6,1	3,0	-3,2
1998	-1,4	-0,2	0,4	11,2	14,3	19,3	19,5	18,4	14,5	8,0	-3,1	-7,1
1999	-3,3	-2,0	2,7	11,0	12,6	21,6	22,1	19,7	16,0	8,1	-0,1	-1,0
2000	-4,6	-1,1	1,4	12,2	14,9	17,6	18,4	20,3	12,6	9,2	5,0	0,2
2001	-1,2	-2,6	3,3	10,4	13,3	16,7	23,2	20,9	14,4	9,5	1,4	-8,1
2002	-4,1	2,7	5,2	9,3	16,1	18,0	22,8	19,7	14,0	7,1	4,0	-9,3
2003	-4,8	-7,5	-1,0	6,4	19,5	18,0	19,9	19,8	13,9	6,9	3,4	-1,1
2004	-5,0	-2,8	3,7	9,0	13,5	17,1	19,9	19,3	13,8	9,4	3,0	-0,7
2005	-0,6	-5,4	-1,0	10,0	15,7	16,9	20,1	20,1	16,1	9,0	2,2	-0,4
2006	-8,3	-6,2	0	9,3	14,6	18,2	20,0	20,7	15,5	9,8	3,4	1,7
2007	1,5	-3,0	5,8	8,7	18,9	21,0	22,7	21,1	15,0	9,5	0,5	-1,4
2008	-3,5	-0,1	4,4	10,1	14,0	18,6	21,0	22,0	13,8	11,0	3,9	-0,6
2009	-4,1	-1,1	1,9	10,9	14,9	20,1	21,3	19,6	16,5	9,4	4,5	-2,8
2010	-8,0	-3,5	0,6	9,6	16,6	20,5	23,0	23,8	15,0	6,2	2,6	-1,8
2011	-3,3	-5,6	1,4	9,6	15,4	19,6	21,2	18,7	15,9	7,4	0,6	1,3
2012	-4,9	-10,6	1,6	11,8	17,5	20,7	23,0	20,2	16,8	10,5	4,2	-6,0
2013	-4,5	-0,4	-0,7	10,5	18,2	19,8	19,6	19,3	12,3	9,0	3,4	-1,2
2018	-2,6	-1,2	1,1	13,4	17,9	20,2	20,7	22,1	15,8	10,1	1,7	-1,4
2019	-3,3	-4,3	2,4	9,6	17	22,4	20	20,7	15,6	8,5	4,4	-2,0
2020	-1,9	-0,6	3,2	9,2	12,5	20,9	21,6	20,9	17,8	7,4	2,7	-0,7
Середня багаторічна	-6,0	-5,4	-0,3	7,3	14,1	17,1	19,3	18,8	13,9	7,9	1,3	-3,5

Найбільший вплив на ріст і розвиток сільськогосподарських культур мали атмосферні опади, що випадали у травні-червні.

За кількістю опадів у травні сприятливими для розвитку рослин були 1987, 1991, 1994, 2005 та 2008 рр., коли опадів випало на 21-50 мм більше порівняно з середнім багаторічним показником. У червні найбільша місячна норма опадів випала у 1987, 1988, 1990, 1992, 1995, 1998, 2001, 2002, 2010, 2011 рр., що перевищило середній багаторічний показник на 25-94 мм (табл. 2.16).

*Таблиця 2.16 Сума опадів, мм,
Христинівська агрометеостанція, 1986-2020 рр.*

Рік	Місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1986	21	16	37	22	64	68	51	46	14	12	13	36
1987	46	4	20	19	100	114	22	50	19	15	63	31
1988	7	19	51	41	68	99	92	49	24	13	19	41
1989	5	42	41	29	32	80	32	130	229	34	13	27
1990	12	32	3	124	41	128	55	30	77	24	33	47
1991	13	38	1	50	90	58	159	65	11	57	23	23
1992	14	12	53	40	58	94	54	28	23	44	66	16
1993	15	37	43	51	67	68	63	62	92	3	27	47
1994	47	14	23	23	97	25	61	113	8	27	8	37
1995	20	20	30	45	38	91	17	77	121	6	29	28
1996	38	35	33	66	32	49	60	19	169	20	75	31
1997	11	15	16	59	33	79	170	78	46	45	47	61
1998	15	13	43	33	50	97	132	66	19	86	45	16
1999	34	33	44	77	52	26	42	13	23	24	70	59
2000	37	24	47	38	51	67	116	35	115	2	59	23
2001	39	30	63	45	64	131	17	14	32	19	82	23
2002	18	13	18	8	15	144	81	94	84	64	42	8
2003	55	34	32	36	17	69	54	12	33	128	26	20
2004	45	50	10	14	17	15	71	205	66	30	76	18
2005	34	55	15	45	72	55	104	72	1	43	40	75
2006	19	36	80	22	38	68	23	54	50	36	24	9
2007	38	46	22	14	4	81	59	261	56	18	55	34
2008	24	7	47	48	71	31	49	30	116	16	36	58
2009	27	64	50	0	45	36	63	10	17	49	16	66
2010	81	34	31	33	29	131	29	18	58	36	45	38
2011	42	27	6	29	83	160	125	59	23	54	6	34
2012	34	27	30	34	10	37	45	64	17	37	27	113
2013	51	34	60	31	45	54	62	69	121	42	39	22
2018	46	37	25	20	5	73	144	2	144	61	18	52
2019	28	21	8	29	108	101	19	9	26	22	9	68
2020	33	52	28	32	103	80	20	28	41	34	41	42
Середня багаторічна	26	27	26	35	50	66	59	50	34	35	33	31

Істотне зниження норми опадів у травні спостерігали в 2002, 2003, 2004, 2007 та 2012 рр.; червні – 1994, 1999 та 2004 рр., що порівняно з середнім багаторічним показником у травні було менше на 33-46, червні – 40-51 мм. Посушливі умови на початку вегетації в зазначені роки стримували ріст і розвиток сільськогосподарських культур. Найкращі умови для росту і розвитку буряків цукрових у липні спостерігали в 1988, 1991, 1997, 1998, 2000, 2005 та 2011 рр., кількість опадів перевищувала середню багаторічну норму на 33-111 мм.

У серпні найсприятливішими роками для розвитку буряків цукрових були 1989, 1994, 2004 та 2007 рр., опадів випало більше середньої багаторічної норми на 63-211 мм.

Вересень за впливом на забезпеченість ґрунту вологою поступався літнім місяцям на 16-32 мм, за середньої багаторічної норми – 34 мм. Посушливу осінь спостерігали у більшості років досліджень, що сприяло накопиченню цукрів у коренеплодах на фоні помірних темпів наростання його маси. Водночас вересень 1989, 1995, 1996, 2000 та 2008 рр. був надто вологим, середньомісячна кількість опадів перевищила середню багаторічну норму на 81-195 мм, що подовжило вегетацію буряків цукрових і зменшило вміст цукрів у коренеплодах.

За роки проведення досліджень найбільша річна кількість опадів випала в 1989 році – 694 мм, найменша – у 1986 році – 400 мм, за середньої багаторічної норми опадів – 472 мм.

Роки 2018-2020 на ВДСС були надмірно теплі і достатньо вологі. У середньому за три роки досліджень середня денна температура за вегетаційний період становила 17,7⁰С за середнього багаторічного показника – 15,1⁰С, в той час як кількість опадів за вегетацію була вищою від середнього багаторічного показника на 34 мм за абсолютного показника 328 мм. За ГТК Селянинова вегетаційний період 2018 року характеризувався слабкопосушливими умовами з показником ГТК – 1,18; 2019 та 2020 років – посушливими умовами з показниками ГТК – 0,92 та 0,99, відповідно. При цьому середній багаторічний показник ГТК становив 1,08, що характеризує умови зволоження даної зони як слабкопосушливі.

Білоцерківська дослідно-селекційна станція знаходиться у північній частині Центрального Лісостепу України. Клімат регіону є помірно-континентальним, характеризується теплим літом і помірно холодною зимою. Середньорічна температура повітря становить 7,5⁰С, опадів – 562 мм.

Температура повітря у весняні місяці була близькою або вище оптимальної норми. Такі погодні умови в переважній більшості років сприяли польовій схожості насіння, росту і розвитку буряків цукрових та інших сільськогосподарських культур. Зниження середньомісячної температури у квітні на 2,1-3,0⁰С спостерігали у 1997, 2003 рр.; травні на 1,2-2,7⁰С – 1999, 2001, 2008 рр., що стримувало розвиток теплолюбивих культур (табл. 2.17).

Таблиця 2.17 Середньомісячна температура повітря, ⁰С, Білоцерківський метеопост, 1996-2024 рр.

Рік	Місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1996	-10,8	-7,9	-3,7	8,4	18,1	18,2	18,6	18,6	10,7	8,2	6,4	-3,9
1997	-6,9	-2,0	1,4	5,4	15,7	17,7	18,8	17,9	11,3	6,0	2,8	-3,3
1998	-1,0	0,1	0,9	10,3	14,4	19,4	19,3	18,0	14,0	7,7	-3,6	-7,3
1999	-2,6	-1,6	2,8	11,2	12,3	21,6	21,8	18,7	15,1	8,2	-0,3	-1,2
2000	-4,7	-1,3	1,2	12,0	14,7	17,5	18,4	20,2	12,4	9,0	4,7	-0,1
2001	-1,3	-2,8	2,7	10,7	13,4	16,4	23,8	20,1	13,7	8,8	1,2	-8,2
2002	-4,4	2,4	4,9	9,3	16,0	17,7	23,0	19,5	13,6	6,9	3,8	-9,5
2003	-5,0	-7,6	-1,2	6,3	19,2	18,1	20,0	19,6	13,6	6,7	3,1	-1,3
2004	-5,3	-3,0	3,5	8,7	13,4	17,0	19,6	19,2	13,7	9,4	2,9	-1,0
2005	-0,9	-5,5	-1,3	10,2	15,6	16,6	19,9	20,2	16,0	8,8	2,0	-0,5
2006	-8,4	-6,2	-0,2	9,1	14,4	18,0	19,8	20,6	15,5	9,7	3,3	1,5
2007	1,2	-3,1	5,6	8,4	18,7	20,7	22,6	21,0	14,8	9,2	0,3	-1,6
2008	-3,7	-0,4	4,3	10,0	13,7	18,4	20,9	21,7	13,8	10,8	3,6	-0,9
2009	-4,2	-1,4	1,8	10,8	14,6	20,0	21,1	19,5	16,3	9,2	4,7	-2,9
2010	-8,5	-9,5	0,6	9,9	16,9	21,2	23,1	23,7	14,5	6,0	2,4	-2,0
2011	-2,4	-5,9	0,9	9,6	15,8	20,1	21,4	19,0	14,6	7,0	3,1	-1,4
2012	-4,5	-11,2	1,9	11,8	18,2	20,1	22,4	19,8	16,4	10,3	4,8	-5,5
2013	-4,4	-1,1	-2,0	9,9	18,5	20,7	19,2	18,9	12,5	9,5	3,2	1,8
2019	-4,3	1,8	5,2	10,7	17,4	22,8	19,5	21,3	16,2	11,3	-0,2	-2,0
2020	0,4	2,1	5,7	9,3	12,5	21,2	20,8	19,8	17,3	12,6	5,0	2,5
2021	-2,5	-4,6	1,8	7,4	13,9	19,9	23,0	19,8	12,7	7,2	3,4	-0,4
2022	-0,7	2,3	3,0	9,4	14,6	21,4	22,1	24,5	13,9	10,5	4,5	-1,4
2023	0,1	-0,7	4,7	8,7	14,8	19,0	20,6	22,6	18,0	11,3	3,3	-0,6
2024	-2,2	3,3	4,4	12,4	15,8	20,8	24,0	21,2	15,1	9,7	4,1	0,5
Середня багаторічна	-5,9	-4,4	0,3	8,4	14,9	17,8	19,0	18,4	13,8	7,8	2,0	-2,1

У літні місяці температура повітря упродовж років досліджень була близькою до оптимальної або перевищувала її. Перевищення температури на 2,2-3,8⁰С у червні спостерігали у 1999, 2007, 2009-2012 рр., липні – на 2,1-4,8⁰С у 1999, 2001, 2002, 2007-2012 рр., серпні – на 1,1-5,3⁰С у 2000, 2001, 2006-2010 рр. Особливо помітним підвищення середньомісячної температури повітря в літні місяці було в останні роки. Такий температурний режим за умов достатнього зволоження сприяв інтенсивному розвитку сільськогосподарських культур.

Температура повітря у вересні на час збирання буряків цукрових і посіву пшениці озимої у більшості років була оптимальною. Зростання температури на 1,7-2,6⁰С до середньої багаторічної спостерігали у 2005, 2006, 2009 та 2012 рр. Зниження температури на 2,5-3,1⁰С було відмічено у 1996 та 1997 рр.. Температурний режим повітря у вересні сприяв накопиченню цукрів у коренеплодах буряків цукрових.

Істотний вплив на ріст і розвиток сільськогосподарських культур мало забезпечення їх вологою впродовж періоду вегетації. Кількість опадів у весняні місяці в більшості років була близькою до середнього багаторічного показника: квітні – 47 мм, травні – 46 мм. Квітень місяць посушливим був у 2002-2004, 2007 та 2009 рр. – опадів випало менше від середньої багаторічної норми на 22-33 мм.

Дефіцит опадів у травні спостерігався у 1998, 2002-2004, 2007, 2008 та 2012 рр. – опадів випало лише 15-54% від середньої багаторічної норми. Посушливі умови у весняний період негативно впливали на проростання насіння і розвиток культур на початку вегетації (табл. 2.18).

У червні за середньої багаторічної норми опадів 73,0 мм найсприятливішими були 2001, 2002, 2006, 2011 рр.. Кількість опадів становила відповідно 160, 124, 115, 135 мм. Це сприяло росту буряків цукрових і пшениці озимої. Істотне зниження величини кількості опадів у червні до 14-19 мм спостерігалось у 2003 та 2004 роках. Кількість опадів у липні в більшості років наближалась до середньої багаторічної норми 85,0 мм. Достатньо вологим липень був у 1997, 1998 та 2011 рр., кількість опадів перевищила середню багаторічну норму в 1,4-1,8 разів, або на 30-67 мм. Посушливі умови у липні спостерігали у 2002 та 2003 рр., опадів випало на 53 мм менше від середньої багаторічної норми.

Серпень у більшості років за кількістю опадів наближався до середньої багаторічної норми – 60,0 мм. В той же час посушливі умови склались у 2000, 2009 та 2010 рр., кількість опадів становила 13-18 мм.

**Таблиця 2.18 Сума опадів, мм,
Білоцерківський метеопост, 1996-2024 рр.**

Рік	Місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1996	30	30	27	61	32	70	105	26	127	27	62	43
1997	16	22	20	68	30	86	102	85	51	47	40	58
1998	29	15	46	64	25	44	119	51	23	112	66	24
1999	34	36	45	46	30	49	46	49	9	27	56	64
2000	38	40	27	56	91	23	84	13	113	2	45	23
2001	26	40	92	41	37	160	38	39	49	22	53	28
2002	14	35	17	25	18	124	32	60	70	35	30	8
2003	48	17	22	21	15	14	32	51	30	100	33	30
2004	40	46	18	24	20	19	86	71	15	64	42	61
2005	49	48	19	67	44	71	61	71	51	58	35	73
2006	18	25	58	38	81	115	41	45	42	26	31	16
2007	35	52	30	18	12	96	62	144	48	33	69	24
2008	18	9	32	87	23	64	54	33	100	15	42	67
2009	38	52	68	14	56	41	79	18	28	54	16	75
2010	46	55	13	34	50	60	102	18	30	33	58	47
2011	23	23	4	20	52	135	115	59	19	63	1	27
2012	42	30	20	72	7	40	59	92	20	43	36	128
2013	48	51	78	28	80	98	30	67	146	6	43	59
2019	55	27	22	32	75	100	23	21	22	1	21	50
2020	14	48	19	15	91	26	22	67	23	98	21	21
2021	57	48	20	37	132	46	74	54	17	3	18	39
2022	35	9	9	73	24	35	39	69	68	29	19	63
2023	14	25	27	101	5	21	106	8	16	47	76	44
2024	39	36	69	69	7	76	13	36	52	30	68	43
Середня багаторічна	35	33	30	47	46	73	85	60	35	33	41	44

Погодні умови в осінній період (вересень-жовтень) у більшості років були посушливі, що сприяло накопиченню цукрів у коренеплодах та створювало хороші умови для збирання врожаю буряків цукрових. Несприятливими роками були 1996, 2000, 2008 та 2013 рр., коли опадів у вересні випало на 65-111 мм більше від середньої багаторічної норми.

У 2019-2024 рр. погодні умови на БЦДСС були надмірно теплі з перевищенням середньодобової температури упродовж вегетації до середнього багаторічного показника на 0,6-2,7 °С за кількості опадів 274-362 мм, що порівняно з середнім багаторічним показником (340 мм) було меншим у більшості років за виключенням 2021 року, коли

кількість опадів перевищила багаторічний показник на 22 мм. За ГТК Селянинова в роки проведення досліджень за винятком 2021 року погодні умови вегетації були слабко посушливі: у 2019 році – ГТК = 0,77; у 2020 році – ГТК = 1,00; у 2022 році – ГТК = 0,96; у 2023 році – ГТК = 0,88; у 2024 році – ГТК = 0,79. У 2021 році складувались умови достатнього зволоження упродовж періоду вегетації – ГТК = 1,16. Середній багаторічний показник ГТК становив 1,13, що вказує на значне зростання посушливості клімату у роки проведення досліджень.

Уладово-Люлинецька дослідно-селекційна станція знаходиться у північно-західній частині Центрального Лісостепу України. Район діяльності станції характеризується помірно теплим температурним режимом і достатнім зволоженням. Середня багаторічна температура повітря за даними Уладово-Люлинецької метеостанції – +6,9⁰C. Найнижча температура повітря (-6,3⁰C) спостерігається у січні, найвища (+18⁰C) – у серпні. Перехід середньодобової температури повітря через +5⁰C спостерігається в першій декаді квітня і триває в середньому 206 днів (рис. 2.1).

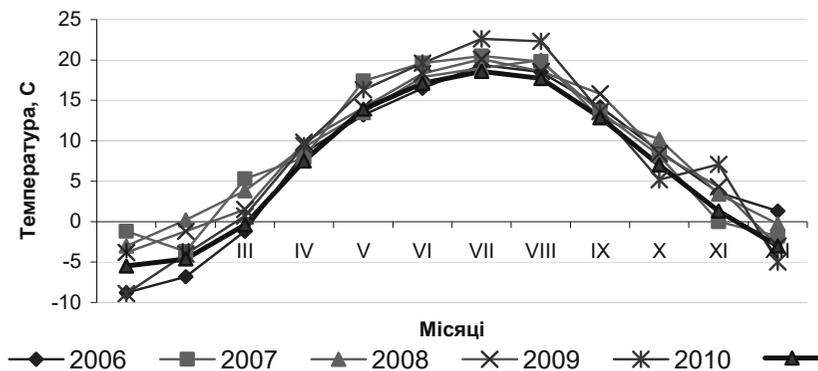


Рис. 2.1 Середньомісячна температура повітря, ⁰C, Уладово-Люлинецька ДСС, 2006-2010 рр.

Роки проведення досліджень характеризувались підвищеним температурним режимом впродовж усього періоду вегетації. Найбільш спекотні у квітні були 2008-2010 рр. – температура повітря перевищувала середній багаторічний показник на 1,7-2,3⁰C; травні – 2007, 2010 рр. з перевищенням на 2,4-3,5⁰C. Літні місяці протягом усіх років досліджень

мали вищу температуру повітря порівняно з середньою багаторічною: червень – на 0,8-2,5⁰С, липень – 0,4-4,0⁰С, серпень – 0,8-4,6⁰С, вересень – 0,7-2,9⁰С. Підвищений температурний режим за достатнього забезпечення вологою створював сприятливі умови для росту і розвитку сільськогосподарських культур впродовж усього вегетаційного періоду (рис. 2.2).

Забезпеченість рослин вологою в роки проведення досліджень була неоднозначною. Посушливі умови у квітні склались у 2009 р., травні – 2007 р., опадів випало відповідно 4 та 16 мм, або 10% та 28% від середньомісячної норми. Найсприятливіші умови зволоження навесні спостерігали у 2008 та 2010 рр.. У квітні 2008 р. опадів випало 95 мм, травні 2010 р. – 108 мм, що перевищувало середньомісячну норму більше, ніж удвічі.

Кількість атмосферних опадів у літні місяці була сприятливою для росту і розвитку сільськогосподарських культур. Найбільше опадів у червні випало у 2006, 2009 та 2010 рр. – відповідно 168, 141 та 184 мм, за середньомісячної норми 81 мм. Липень найбільш вологим був 2007 та 2010 рр. – 133 та 108 мм, за норми 92 мм, найбільш сухим у 2006 році – 16 мм.

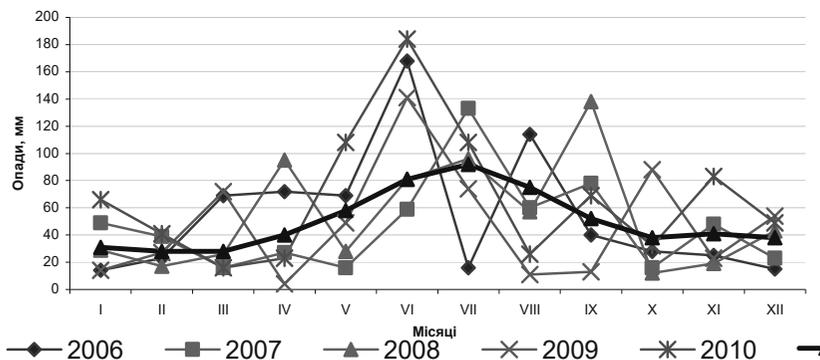


Рис. 2.2 Сума опадів, мм, Уладово-Люлинецька ДСС, 2006-2010 рр.

Середньомісячна норма опадів у серпні становила 75 мм, що була менше порівняно з червнем на 6, липнем – 17 мм. Посушливі умови у серпні спостерігали у 2009 та 2010 рр. – відповідно 11 та 26 мм. Такі умови сприяли накопиченню цукрів у коренеплодах буряків

цукрових. Найвологішим був серпень був 2006 р. – 114 мм, що перевищило середню багаторічну норму на 39 мм.

Кількість опадів у вересні була надто високою у 2008 р. – 138 мм, а низькою у 2009 р. – 13 мм. Решта літ відзначалась сприятливими умовами зволоження для накопичення цукрів в коренеплодах буряків цукрових. За роки проведення досліджень найбільша річна кількість опадів випала в 2010 р. – 805 мм, найменша – у 2007 р. – 564 мм, за середньої багаторічної норми опадів – 602 мм.

У 2018-2020 роки за даними метеопункту м. Калинівка на УЛДСС упродовж вегетації випало 381 мм опадів, що на 16 мм було менше від середнього багаторічного показника за середньої температури повітря 16,8 °С, тоді як середній багаторічний показник становив 14,8 °С. Значно тепліші погодні умови складувались на період відновлення весняної вегетації у 2019 та 2020 роках. У лютому 2019 року середня місячна температура становила 0,5 °С, березні – 4,2 °С; у 2020 році – 1,2 °С, та 4,7 °С за середнього багаторічного показника – відповідно -4,5 °С та -0,1 °С (табл. 2.19).

Таблиця 2.19 Погодні умови УЛДСС, 2018-2023 рр.

Рік	Місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Середньомісячна температура повітря, °С												
2018	-2,7	-4,6	-1,9	13,1	17,4	19,3	20,1	21,2	15,2	12,6	7,3	0,6
2019	-4,7	0,5	4,2	9,2	15,4	22,1	19	20	14,7	11,4	5,1	-2,3
2020	-0,3	1,2	4,7	8,1	11,4	19,9	20,1	19,9	16,9	10,9	4,2	-0,8
2021	-0,7	0,6	3,1	6,6	13,2	19,4	22,3	18,7	12,2	12,2	5,5	0,4
2022	-2,2	1,1	2,5	7,0	13,6	19,4	19,0	20,2	11,7	11,2	6,4	1,1
2023	-1,8	-0,9	3,6	7,7	15,2	18,6	20,2	22,1	17,7	14,1	4,4	-3,0
Середня багаторічна	-2,3	-0,4	3,2	7,7	14,1	17,3	18,8	18,0	13,1	10,8	4,6	-1,3
Сума опадів, мм												
2018	21	34	49	20	63	90	81	73	48	54	27	38
2019	45	13	15	32	110	146	60	12	72	82	63	26
2020	16	34	13	17	98	93	76	30	101	80	54	18
2021	32	28	17	23	97	78	73	90	28	46	38	56
2022	48	36	51	56	54	45	61	74	93	65	70	58
2023	27	29	22	84	5	97	93	65	32	38	42	62
Середня багаторічна	35	26	38	40	58	85	90	72	53	59	61	48

2018 рік відзначався показником ГТК – 1,25, 2019 рік – 1,31, 2020 рік – 1,22 за середнього багаторічного показника ГТК – 1,49. За шкалою Селянинова умови вегетаційного періоду 2018 та 2020 років визначено слабкопосушливими, 2019 року – вологими, середні багаторічні умови – вологі. Погодні умови у 2018 році були надмірно теплі весною, що прискорило кущення пшениці озимої, тоді як весна 2019 року була помірно тепла, 2020 року – прохолодна, що забезпечило поступове відновлення вегетації і сприяло отриманню високої врожайності і якості зерна пшениці озимої.

У 2021-2023 роки погодні умови вегетаційного періоду на УЛДСС відзначались підвищеним середньодобовою температурою на 0,4-2,1 °С та незначним зменшенням кількості опадів на 9-22 мм. Найбільш спекотним і посушливим визначено 2023 рік з ГТК Селянинова за вегетацію – 1,24, що було меншим від середнього багаторічного показника на 0,25. В цілому, погодні умови були сприятливими для отримання високих врожаїв буряків цукрових.

Висновки до розділу:

1. Схеми дослідів, методики проведення досліджень у стаціонарних, тимчасових польових та вегетаційному дослідях відповідають існуючим стандартам, що дозволило отримати широкий спектр об'єктивних наукових даних.

2. Погодні умови у роки проведення досліджень досить різнились. У останні роки спостерігалось значне підвищення середньої добової температури упродовж періоду вегетації, яке супроводжувалось зменшенням кількості опадів і відзначалось зростанням посушливості умов вирощування.

3. Аналіз погодних умов дав змогу зробити всебічну оцінку відповідності росту і розвитку основних культур сівозміни та впливу традиційних та осучаснених систем удобрення на продуктивність сільськогосподарських культур в умовах Лісостепу України.

3.1 Стан гумусу чорноземних ґрунтів за 20-35 річного застосування добрив у сівозмінах

У складній системі природних сполук та антропогенних новоутворень, які формують ґрунт як цілісну екосистему, гумус є основним її елементом здатним підтримувати екологічну рівновагу, визначати рівень природної та ефективної родючості ґрунтів. Стабільність ґрунтової системи багато в чому залежить від рівня забезпечення ґрунту органічною речовиною, її якісного складу та направленості процесів трансформації органічної речовини у ґрунті [3, 76, 186].

Дослідження останніх років свідчать, що рівень забезпечення ґрунтів України органічною речовиною залишається на критично низькому рівні, спричиняючи щорічні втрати гумусу в межах 0,6-1,0 т/га [36, 244, 341]. Окультурення та інтенсивне використання ґрунтів призвело до утворення якісно відмінного гумусового комолекусу, який характеризується меншою стійкістю до пептизації за умов підкислення ґрунтового розчину та має низьку здатність утворювати колоїди з високою поверхневою енергією. Наслідком цього стало погіршення агрофізичних та агрохімічних властивостей ґрунтів [121].

За даними С.Ю. Булигіна, В.В. Дегтярьова, С.В. Крохіна [36] річні втрати гумусу з верхнього орного шару ґрунту під ярими зерновими культурами (пшениця, ячмінь, овес) становлять 0,5-0,6 т/га, пшеницею озимою – 0,7, горохом та кукурудзою – 1,0, буряками цукровими – 1,5 т/га. Більші втрати гумусу пов'язані з вирощуванням просапних культур – картоплі і буряків цукрових, які залишають після себе мінімальну кількість органічних решток. Збільшення в сівозміні частки просапних культур на 10% веде до зростання втрат гумусу на 0,2-0,4 т/га [271].

Ефективним заходом впливу на процеси гумусоутворення є система удобрення. Застосування добрив визначає напрям та інтенсивність процесів трансформації органічної речовини у ґрунті, впливає на весь комплекс показників, що характеризують гумусний стан ґрунтів [13, 368].

За даними досліджень С.Е. Дегодока, Л.В. Бобер, О.А. Літвінової [81], В.Ф. Сайка [264], В.В. Медведєва, М.В. Лісового [283] тривале застосування мінеральних добрив веде до зменшення вмісту гумусу у ґрунті. Стабілізації та підвищення запасів гумусу ґрунту, на думку більшості вчених, можна досягти за органо-мінеральної системи удобрення [3, 21, 29, 61, 150, 186, 290, 335, 341]. Поєднання внесення мінеральних добрив і 10-12 т гною на 1 га ріллі в умовах Лісостепу здатне компенсувати втрати органічної речовини ґрунту, зміщуючи співвідношення процесів розкладу-синтезу органічної речовини у бік синтезу [220, 264].

В умовах сучасного землеробства із-за дефіциту виробництва гною (вноситься 1-1,5 т гною на 1 га ріллі) дедалі ширше застосовують альтернативні джерела органічних добрив – побічна продукція рослинництва, поживні сидеральні культури та ін. [331].

Біологізація системи удобрення, на думку В.М. Польового [248], Ю.О. Тараріка [293], є ефективним і економічно доцільним заходом стабілізації балансу органічної речовини ґрунту.

В.Ф. Сайко [264] вважає, що зональні системи землеробства не повинні передбачати спеціальні витрати на відтворення гумусу в ґрунтах, а його позитивний баланс слід забезпечувати за рахунок внутрішніх ресурсів сівозмін.

Ефективним заходом в досягненні позитивного балансу гумусу в чорноземних ґрунтах, на думку В.Ф. Сайка [264], М.К. Шикуди [353], може стати внесення соломи у дозі 2,4-2,5 т/га сівозмінної площі за компенсаційної дози азоту 24-25 кг д.р./га та оптимальної дози мінеральних добрив по 65-70 НРК. Ефективність такого агрохімічного заходу тотожна внесенню 10-12 т/га гною на 1 га сівозмінної площі у поєднанні з аналогічною дозою мінеральних добрив [341, 353].

Отже, в умовах сучасного землеробства стабілізація гумусного стану ґрунтів, підвищення їх природної та ефективної родючості можливі лише за умови широкого використання альтернативних джерел органічних добрив в системі удобрення культур.

Результати проведених досліджень свідчать, що в чорноземі опідзоленому упродовж 20-ти років без внесення добрив в умовах зерно-буракової сівозміни (30% просапних, 30% бобових) відбулось зменшення вмісту гумусу до початкового в орному шарі на 0,29%, підорному – 0,17%. Щорічні обсяги надходження органічної речовини у складі поживних і корневих решток в кількості 0,39 т/га вуглецю були недостатніми для стабілізації вмісту гумусу у ґрунті. Дефіцит

балансу органічної речовини у ґрунті в перерахунку на вуглець становив 0,36 т/га.

За мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозмінної площі) посилилась мінералізація гумусу переважно у верхньому 0-30 см шарі. На кінець другої ротації вміст гумусу в орному шарі зменшився до початкового на 0,34%, що на 0,05% було більше порівняно з варіантом без добрив. В підорному шарі втрати гумусу були співставні з варіантом без внесення добрив і становили 0,16% (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 Динаміка вмісту гумусу в чорноземі опідзоленому за тривалого застосування різних систем удобрення, ВДСС, 1989-2009 рр., %

№ вар	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Шар ґрунту, см	Початок ротації, 1989 р.	Кінець I ротації, 1999 р.	Кінець II ротації, 2009 р.	± до початкового, %
1	Без добрив (контроль)	0-30	2,90	2,78	2,61	-0,29
		30-40	2,82	2,75	2,65	-0,17
2	$N_{50}P_{42,5}K_{50}$	0-30	2,97	2,81	2,63	-0,34
		30-40	2,84	2,77	2,68	-0,16
23	$N_{75}P_{42,5}K_{50}$	0-30	2,92	2,75	2,55	-0,37
		30-40	2,80	2,72	2,62	-0,18
19	$N_{50}P_{63,7}K_{50}$	0-30	2,93	2,79	2,61	-0,32
		30-40	2,83	2,77	2,67	-0,16
25	$N_{50}P_{42,5}K_{75}$	0-30	2,93	2,78	2,59	-0,34
		30-40	2,82	2,77	2,68	-0,14
3	$N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + ПП	0-30	2,96	3,01	3,05	0,09
		30-40	2,83	2,86	2,89	0,06
5	$N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + 12 т/га гною	0-30	3,01	3,05	3,09	0,08
		30-40	2,85	2,89	2,92	0,07
12	12 т/га гною + ПП	0-30	2,94	3,08	3,15	0,21
		30-40	2,81	2,85	2,88	0,07
НР ₀₅			0,08	0,06	0,07	-
Р, %			1,4	1,5	1,2	-

Згідно публікацій Г.Я. Чесняка [346] щорічні втрати гумусу в шарі 20-40 см в середньому за 60 років на орних землях становили 0,4, 100 років – 0,9 т/га. Надходження органічної речовини з поживними і кореневими рештками у ґрунт щорічно в кількості 0,44 т/га вуглецю обумовило дефіцит його балансу у ґрунті – 0,41 т/га в рік (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 Трансформація органічної речовини в 0-40 см шарі чорнозему опідзоленого за різних систем удобрення зерно-буяркової сівозміни, ВДСС, 1989-2009 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміній площі	Запаси Сорг. у ґрунті на період 1989 р., т/га	Зміна запасів Сорг. у ґрунті до початкового			Всього надійшло Сорг.						Кгум., %
			за 20 років, т/га	за 1 рік, т/га	± до контролю, за 1 рік, т/га	в т.ч. пожни-вні рештки	побічна продукція	гній	за 1 рік, т/га	± до контролю за 1 рік, т/га		
1	Без добрив (контроль)	80,2	-7,19	-0,36	-	7,85	-	-	-	0,39	-	-
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	81,8	-8,18	-0,41	-0,05	8,76	-	-	-	0,44	0,04	-
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	81,6	2,26	0,11	0,47	34,9	9,11	25,8	-	1,75	1,36	34,6
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	82,7	2,09	0,10	0,46	31,5	9,28	-	22,2	1,58	1,19	38,7
12	12 т/га гною + побічна продукція	80,9	4,93	0,25	0,61	53,1	8,86	22,0	22,2	2,66	2,27	26,9

Збільшення у складі повного мінерального добрива одного з елементів живлення в 1,5 рази не впливало істотно на стан гумусу ґрунту.

Отже, надходження у ґрунт органічної речовини у складі поживних і корневих решток як у варіанті без добрив, так і за мінеральної системи удобрення було недостатнім для досягнення позитивного балансу гумусу в чорноземі опідзоленому важкосуглинковому.

Поєднання мінеральних добрив і гною ($N_{50}P_{42,5}K_{50} + 12$ т гною на 1 га сівозмінної площі) сприяло зростанню вмісту гумусу в чорноземі опідзоленому впродовж обох ротацій сівозміни. По завершенню другої ротації вміст гумусу до початкового виріс в орному шарі на 0,08%, підорному – 0,07% і становив відповідно 3,09% та 2,92%. В дослідженнях Л.А. Барштейна, І.С. Шкаредного, В.М. Якименка [6] застосування 7,5 т/га гною + $N_{50}P_{66}K_{66}$ на чорноземі типовому вилугуваному в зерно-просапній сівозміні підвищило вміст гумусу в орному шарі на 0,13 %.

Обсяги надходження вуглецю органічної речовини у ґрунт за поєднання мінеральних добрив і гною в сумі за дві ротації вирости порівняно з варіантом без добрив на 23,6 т/га, в т.ч. за рахунок поживних і корневих решток на 1,43 т/га, гною – 22,2 т/га. При цьому щорічні обсяги надходження вуглецю у ґрунт становили 1,58 т/га, що порівняно з варіантом без добрив було більшим на 1,19 т/га. Надходження органічної речовини в таких обсягах формувало позитивний баланс вуглецю у ґрунті в кількості 0,10 т/га в рік і забезпечило коефіцієнт її гуміфікації – 38,7%. Зростання вмісту гумусу у ґрунті за традиційної органо-мінеральної системи удобрення спостерігали в ряді інших досліджень [15, 61].

Ефективним заходом впливу на стан гумусу ґрунту було поєднання внесення мінеральних добрив і застосування на добриво побічної продукції ($N_{50}P_{42,5}K_{50} +$ побічна продукція на 1 га сівозмінної площі). По завершенню другої ротації вміст гумусу у цьому варіанті підвищився до початкового в орному шарі ґрунту на 0,09%, підорному – 0,06% і становив відповідно 3,05% та 2,89%. Щорічні обсяги надходження органічної речовини у ґрунт за біологізації системи удобрення становили 1,75 т/га, що порівняно з традиційною на основі гною органо-мінеральною системою удобрення збільшилось на 0,17, мінеральною – 1,31 т/га. Поєднане внесення мінеральних добрив і побічної продукції за стабілізуючим впливом на ґрунт не поступалось

поєднаному внесенню мінеральних добрив і гною. Баланс вуглецю у ґрунті становив +0,11 т/га в рік, коефіцієнт гуміфікації – 34,6%.

Найвищої стабільності стану гумусу чорнозему опідзоленого досягнуто за поєднаного внесення 12 т гною на 1 га сівозмінної площі та побічної продукції. Таке поєднання традиційних та альтернативних видів органічних добрив підвищило вміст гумусу у ґрунті по завершенню другої ротації до початкового в орному шарі на 0,21%, підорному – 0,07%. Щорічні обсяги надходження органічної речовини у ґрунт за поєднаного застосування гною і побічної продукції становили 2,66 т/га, що перевищувало органо-мінеральну систему удобрення на 0,91-1,08 т/га. За органічної системи удобрення склались умови підвищення щорічного балансу вуглецю у ґрунті на 0,25 т/га. Коефіцієнт гуміфікації за органічної системи удобрення становив – 26,9%, що порівняно з органо-мінеральною системою удобрення було меншим на 7,7-11,8%. Причиною уповільнення процесів гуміфікації могло стати порушення вуглецево-азотного співвідношення, яке за органічної системи удобрення зростало на користь вуглецю [271].

За мінеральної системи удобрення на фоні значних втрат органічної речовини значно посилилась фульватизація гумусу. За період двох ротацій абсолютний вміст гумінових кислот у складі гумусу орного шару зменшився з 0,66% до 0,54%, підорного – 0,63% до 0,58%; вміст фульвокислот залишався стабільним – відповідно 0,44-0,46% та 0,44-0,42%. Відносна частка фульвокислот у складі гумусу орного шару за період двох ротацій підвищилась на 4,2%, підорного – 0,4%. Тривале застосування лише мінеральних добрив звузило співвідношення Сгк:Сфк в гумусі орного шару на 0,33, підорного – 0,05 і послабило стабільність гумусових молекул у ґрунті. За мінеральної системи удобрення значно погіршувався якісний склад гумінових кислот, в них підвищилась частка менш стабільних фракцій зв'язаних з півтораоксидами і зменшилась частка фракцій зв'язаних з кальцієм (табл. 3.3). На думку Ю.О. Тараріко [288] мінеральні добрива здатні піддавати деструкції і пептизації гумінової кислоти, що супроводжуються розпадом високомолекулярних фракцій на низькомолекулярні.

Вміст лабільного гумусу за мінеральної системи удобрення впродовж двох ротацій збільшувався в орному шарі на 0,016%, підорному – 0,007%, натомість вміст негідролізованого залишку зменшився відповідно на 0,09 та 0,03%. Така динаміка складу гумусу вказує на те, що під впливом тривалого застосування мінеральних добрив гумус зазнавав негативних якісних перетворень.

Таблиця 3.3 Зміна фракційно-групового складу гумусу чорнозему опідзоленого за тривалого (1989-2009 рр.) удобрення зерно-бурякової сівозміни, ВДСС, 2009 р.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміної площі	Шар ґрунту, см	С загальний, %	С лабільний, %	С	Сгк	% до маси ґрунту			залишок	Сгк/Сфк
							в т.ч., зв'язаних з R ₂ O ₃	С фракцій від зв'язаних з Са	Сфк		
1	Без добрив (контроль)	0-30	1,51	0,068	0,54	38,4	61,6	0,42	0,55	1,29	
		30-40	1,54	0,054	0,56	34,2	65,8	0,40	0,58	1,40	
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	0-30	1,53	0,081	0,54	46,9	53,1	0,46	0,53	1,17	
		30-40	1,55	0,065	0,58	38,5	61,5	0,42	0,55	1,38	
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	0-30	1,77	0,081	0,70	35,7	64,3	0,40	0,67	1,75	
		30-40	1,68	0,073	0,66	32,6	67,4	0,42	0,60	1,57	
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	0-30	1,79	0,089	0,69	34,8	65,2	0,40	0,70	1,73	
		30-40	1,69	0,076	0,66	33,3	66,7	0,41	0,62	1,61	
12	12 т/га гною + побічна продукція	0-30	1,83	0,086	0,72	32,7	67,3	0,39	0,72	1,85	
		30-40	1,67	0,064	0,63	30,2	69,8	0,40	0,64	1,58	
НР ₀₅			0,07	0,003	0,02	-	-	0,03	0,02	-	
Р, %			1,7	1,6	1,6	-	-	1,5	1,4	-	

Погіршення якісного складу гумусу спостерігали в контролі без добрив. За дві ротації польової сівозміни (20 років) без внесення добрив у складі гумусу зменшився абсолютний вміст гумінових кислот та зростає сума фракцій гумінових кислот зв'язаних з півтораоксидами. Співвідношення гумінових і фульвокислот збузилося в гумусі орного шару з 1,49 до 1,29, підорного – з 1,44 до 1,40. Процес дестабілізації гумусу відбувався за рахунок зменшення вмісту гумінових кислот, збільшення частки їх рухомих фракцій та зменшення вмісту негідролізованого залишку.

За традиційної органо-мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{42,5}K_{50} + 12$ т гною на 1 га сівозмінної площі) значно поліпшились якісні показники гумусу в чорноземі опідзоленому. У складі гумусу на фоні стабілізації вмісту фульвокислот підвищувався абсолютний вміст гумінових кислот і негідролізованого залишку. Це обумовило утворення стабільнішого гуматного типу гумусу. Співвідношення Сгк:Сфк на кінець другої ротації до початкового в гумусі орного шару зросло з 1,60 до 1,73, підорного – з 1,48 до 1,61.

Поєднане внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{50}P_{42,5}K_{50} +$ побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) за впливом на якісний склад гумусу не поступалося традиційній органо-мінеральній системі удобрення. Упродовж двох ротацій біологізації системи удобрення співвідношення Сгк:Сфк у гумусі орного шару зросло з 1,52 до 1,75, підорного – з 1,47 до 1,57.

За органо-мінеральної системи удобрення виявлено підвищення вмісту гумінових кислот зв'язаних з кальцієм, що посилювало їх внутрішню стабільність. Поєднане внесення мінеральних і органічних добрив збільшувало вміст негідролізованого залишку у складі гумусу та абсолютний вміст лабільного гумусу у ґрунті – відповідно на 0,01-0,06% та 0,09-0,19% у вуглецевому еквіваленті. Це вказує на комплексний характер процесів гумусоутворення, які супроводжуються утворенням не тільки легкорозчинних груп гумусу, але й глибокою трансформацією органічної речовини добрив в малорухомі і досить стабільні його складові, що свідчить про розширений характер відтворення родючості чорноземних ґрунтів [317].

Найвища стабільність сполук гумусу у ґрунті досягалась за органічної системи удобрення (побічна продукція + 12 т гною на 1 га сівозмінної площі). Гумус характеризувався високим абсолютним вмістом гумінових кислот (0,72%) та домінуванням у їх складі стабільних зв'язаних з кальцієм фракцій. Утворення гумусу супроводжувалося найвищим ступенем його гуміфікації – Сгк:Сфк = 1,85.

З метою прогнозування вмісту гумусу в чорноземі опідзоленому нами були розроблені математичні моделі для різних систем удобрення. Для цього використовували метод регресійного аналізу, застосування якого дозволило отримати лінійні рівняння регресії.

Розрахунки проводили за програмного забезпечення Excel шляхом апроксимації експериментальних даних за допомогою тренда. Адекватність отриманих лінійних моделей в цілому перевіряли за критерієм Фішера (F), а достовірність коефіцієнтів регресії – за критерієм Стюдента (t).

Прогноз вмісту гумусу на період до 2050 р. свідчить, що за мінеральної системи удобрення відбудеться зниження абсолютного вмісту гумусу в орному шарі чорнозему опідзоленого важкосуглинкового, впродовж наступних 40 років, на 0,69%. За органо-мінеральної системи удобрення очікується підвищення вмісту гумусу за зазначений період на 0,16%, за поєданого внесення мінеральних добрив і побічної продукції – на 0,19%, гною і побічної продукції – на 0,44% (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 Прогноз вмісту гумусу в чорноземі опідзоленому за різних систем удобрення, %

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Рівняння регресії	Прогноз, рік			
			2020	2030	2040	2050
1	Без добрив (контроль)	$y = -0,0145x + 2,9083$	2,46	2,31	2,17	2,02
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	$y = -0,017x + 2,9733$	2,45	2,28	2,11	1,94
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	$y = 0,0045x + 2,9617$	3,10	3,15	3,18	3,24
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	$y = 0,004x + 3,01$	3,13	3,17	3,21	3,25
12	12 т/га гною + побічна продукція	$y = 0,0105x + 2,9517$	3,28	3,38	3,49	3,59

Примітка. x – число років від часу досліджень (1989 р.); y – вміст гумусу, %

Отже, поєдане застосування побічної продукції і мінеральних добрив за нестійкого зволоження в зоні Лісостепу виявлено ефективним агрохімічним заходом, який дозволяє стабілізувати гумусний фонд чорнозему опідзоленого важкосуглинкового та сприяє покращенню якісного складу гумусу. Введення елементів біологізації забезпечує кількісні і якісні параметри гумусу як і за традиційної органо-мінеральної системи удобрення.

На чорноземі вилугуваному середньосуглинковому стан гумусу ґрунту вивчали в сівозмінах різної структури за впливу систем удобрення: третя ротація – зерно-просапна (просапними 40%, бобовими 10%), четверта – плодозмінна (просапних 16,7%, бобових 33%).

Вирощування культур без внесення добрив у зерно-просапній сівозміні (третя ротація) супроводжувалось зменшенням вмісту гумусу в шарі 0-30 см на 0,27%, 30-40 см – 0,10%, 40-60 см – 0,02%. Щорічні втрати гумусу в шарі 0-60 см в третій ротації становили у вуглецевому еквіваленті 1,14 т/га, за обсягів надходження вуглецю органічної речовини у ґрунт – 0,23 т/га в рік (табл. 3.5; 3.6).

Таблиця 3.5 Вплив систем удобрення і структури сівозміни на динаміку вмісту гумусу в чорноземі типовому вилугуваному, БЦДСС, 1996-2011 рр., %

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Шар ґрунту, см	Початок III ротації, 1996 р.	Кінець III ротації, 2006 р.	Кінець IV ротації, 2011 р.
11	Без добрив (контроль)	0-30	3,49	3,22	3,15
		30-40	3,05	2,95	2,92
		40-60	2,82	2,80	2,80
2	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆	0-30	3,65	3,42	3,34
		30-40	2,96	2,88	2,85
		40-60	2,74	2,71	2,69
4	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + побічна продукція	0-30	3,80	3,76	3,80
		30-40	3,04	3,01	3,03
		40-60	2,87	2,86	2,86
13	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га гною	0-30	3,71	3,64	3,67
		30-40	3,12	3,09	3,11
		40-60	2,77	2,77	2,78
НІР ₀₅			0,07	0,07	0,04
Р, %			1,5	1,6	1,3

Примітка. Дозу внесення мінеральних добрив у IV ротації зменшено до N₄₃P₄₃K₄₃, гною – до 8,3 т на 1 га сівозмінної площі.

Ці дані узгоджуються з результатами досліджень Л.А. Барштейна, І.С. Шкаредного, В.М. Якименка [6], де вирощування культур без внесення добрив впродовж 20-ти років призвело до зменшення вмісту гумусу в орному шарі чорнозему вилугуваного: у плодозмінній сівозміні – на 0,14 %, зерно-просапній з 50% просапних на – 0,43 % і зерно-просапній з 25 % просапних – на 0,36 %.

Таблиця 3.6 Трансформація органічної речовини в 0-60 см шарі чорнозему типового вищого типу залежно від структури сівозміни та системи удобрення, БЦДСС, 2006-2011 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміної площі	Запаси Сорг. у ґрунті на початок рогації, т/га	Зміна запасів Сорг. у ґрунті до початкового			Всього надійшло Сорг.					Кгум., %	
			за 1 рік, т/га	± до контролю за 1 рік, т/га	за ротацію, т/га	за ротацію, т/га	за 1 рік, т/га	в. т.ч.		± до контролю за 1 рік, т/га		
								поживні рештки	побічна продукція			
Зерно-просапна сівозміна (1996-2006 рр.)												
11	Без добрив (контроль)	229,9	-11,4	-1,14	-	2,32	2,32	-	-	0,23	-	-
2	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆	232,7	-10,0	-1,00	0,14	3,40	3,40	-	-	0,34	0,11	-
4	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + побічна продукція	242,2	-2,00	-0,20	0,94	14,1	3,55	10,5	-	1,41	1,18	79,7
13	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га гною	237,5	-2,90	-0,29	0,85	12,1	3,78	-	8,3	1,21	0,98	86,7
Плодозміна сівозміна (2006-2011 рр.)												
11	Без добрив (контроль)	218,5	-2,90	-0,48	-	2,08	2,08	-	-	0,35	-	-
2	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃	222,7	-3,70	-0,62	-0,14	2,92	2,92	-	-	0,49	0,14	-
4	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	240,1	1,70	0,28	0,76	9,66	3,00	6,66	-	1,61	1,26	60,3
13	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + 8,3 т/га гною	234,6	1,50	0,26	0,74	7,75	3,15	-	4,6	1,29	0,94	78,7

У плодозмінній сівозміні (четверта ротація) за вирощування культур без внесення добрив вміст гумусу впродовж ротації зменшувався переважно в орному (0-30 см) та підорному (30-40 см) – відповідно на 0,07% та 0,03%. Щорічні втрати гумусу в шарі 0-60 см в четвертій ротації становили у вуглецевому еквіваленті 0,48 т/га, що порівняно з зерно-просапною сівозмінною було менше на 0,66 т/га.

Зменшення частки буряків цукрових у сівозміні удвічі та насичення сівозміни бобовими культурами до 33% майже удвічі знизило втрати гумусу в ґрунті за рахунок процесів мінералізації. На думку Л.Я. Бергульової, Л.А. Барштейна, В.І. Корнієнка [19], Я.П. Цвея, Н.К. Шиманської [341] інтенсивне зменшення вмісту гумусу у ґрунті в сівозміні без бобових культур пов'язано з малими запасами біологічного азоту та підвищеною мінералізацією органічної речовини.

За мінеральної системи удобрення зберігалися високі темпи мінералізації гумусу в чорноземі типовому вилугуваному. Внесення мінеральних добрив в зерно-просапній сівозміні ($N_{50}P_{66}K_{66}$ на 1 га сівозмінної площі) знизило вміст гумусу до початку ротації в шарі 0-30 см – на 0,23%, 30-40 см – 0,08%, 40-60 см – 0,03%; плодозмінній ($N_{43}P_{43}K_{43}$ на 1 га сівозмінної площі) – відповідно на 0,08%, 0,03% та 0,02%. При цьому щорічні втрати гумусу в шарі 0-60 см становили у вуглецевому еквіваленті в зерно-просапній сівозміні – 1,0 т/га, плодозмінній – 0,62 т/га. Перехід до плодозмінної сівозміни значно знизив мінералізацію гумусу у верхньому 0-30 см шарі ґрунту. Високі темпи мінералізації гумусу ґрунту за насичення зерно-бурякової сівозміни просапними культурами на 40% спостерігали в дослідженнях Я.П. Цвея [317].

За органо-мінеральної системи удобрення у зерно-просапній сівозміні вміст гумусу у шарі 0-30 см впродовж ротації за внесення $N_{50}P_{66}K_{66}$ + 9 т гною на 1 га сівозмінної площі зменшився на 0,07%, за внесення $N_{50}P_{66}K_{66}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі – на 0,03%, що можна вважати лише тенденцією до зниження.

За органо-мінеральної системи удобрення у плодозмінній сівозмінній вміст гумусу стабілізувався у чорноземі типовому вилугуваному. Поєднане внесення мінеральних добрив і гною ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + 8,3 т гною на 1 га сівозмінної площі) забезпечило щорічне підвищення запасів гумусу в шарі 0-60 см – на 0,26 т/га у вуглецевому еквіваленті; мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) – 0,28 т/га. Це свідчить про те, що в сівозмінах з низьким насиченням просапними культурами і високою

часткою бобових внесення середніх доз мінеральних і органічних добрив, або мінеральних добрив поєднано з побічною продукцією може бути достатнім для стабілізації гумусного стану ґрунту.

Система удобрення і структура зерно-буякової сівозміни здатні помітно впливати на якісні показники гумусу [3, 80, 217]. Дослідження проведені на чорноземі типовому вилугуваному показали, що найінтенсивніше якісні показники гумусу змінювались у зерно-просапній сівозміні. Вирощування культур без внесення добрив впродовж третьої ротації збільшило частку фульвокислот у складі гумусу і обумовило зменшення співвідношення Сгк:Сфк в орному 0-30 см шарі – на 0,18 (табл. 3.7). В умовах плодозмінної сівозміни (4-та ротація) якісні показники гумусу у варіанті без застосування добрив стабілізувались.

Застосування мінеральної системи удобрення посилює дестабілізацію гумусу в чорноземі типовому вилугуваному. Внесення мінеральних добрив у зерно-просапній сівозміні зменшило співвідношення Сгк:Сфк впродовж ротації на 0,09, плодозмінній – 0,04. Звуження співвідношення відбувалось за рахунок зменшення абсолютного вмісту гумінових кислот та збереження на початковому рівні вмісту фульвокислот. Це є свідченням того, що в часі за мінеральної системи удобрення відбувались процеси фульватизації гумусу. Особливо інтенсивно вони проходили у зерно-просапній сівозміні за частки просапних культур до 40% і за відсутні в її структурі багаторічних трав.

Рухомість гумінових кислот за внесення мінеральних добрив підвищувалась. Частка вільних і зв'язаних з півтораоксидами гумінових кислот від їх загального вмісту у шарі 0-30 см становила 20,7-21,5%, що порівняно з варіантом без добрив впродовж ротацій сівозміни було вищим на 4,6-5,6%.

Підвищення мобільності гумінових кислот відбулось і в нижніх шарах ґрунту. В шарі 30-40 см частка вище зазначеної фракції гумінових кислот становила 16,7-18,3%, 40-60 см – 16,4-17,2%, що було більшим, ніж без застосування добрив відповідно на 2,2-2,7% та 2,1-3,1%.

Якісний склад гумусу помітно поліпшувався за орґано-мінеральної системи удобрення. Поєднане застосування мінеральних добрив і гною, або мінеральних добрив і побічної продукції підвищувало абсолютний вміст гумінових кислот у ґрунті порівняно з мінеральною системою удобрення впродовж ротації зерно-просапної сівозміни – на 0,04-0,06%, плодозмінної – на 0,06-0,10% та стабілізувало абсолютну

Таблиця 3.7 Трансформація фракційно-групового складу гумусу в чорноземі типовому вилугуваному залежно від системи удобрення та структури сівозміни, БДСС, 2006-2011 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміної площі	Шар ґрунту, см	С загальний, %	С лабільний, %	Стк	% до маси ґрунту		Сфк	залишок	Стг/Сфк
						в т.ч., зв'язаних з R ₂ O ₃	С фракцій від зв'язаних з Са			
						Стк зв'язаних з R ₂ O ₃	Са			
Кінець III роташі, 2006 р.										
11	Без добрив (контроль)	0-30	1,87	0,088	0,69	15,9	84,1	0,49	0,69	1,41
		30-40	1,71	0,072	0,61	14,5	85,5	0,40	0,70	1,53
2	N ₃₀ P ₆₆ K ₆₆	0-30	1,98	0,105	0,81	21,5	78,5	0,50	0,67	1,62
		30-40	1,67	0,070	0,60	18,3	81,7	0,36	0,71	1,67
4	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + побічна продукція	0-30	2,18	0,107	0,87	20,7	79,3	0,52	0,79	1,67
		30-40	1,75	0,075	0,64	15,6	84,6	0,37	0,75	1,73
13	N ₃₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га гною	0-30	2,11	0,108	0,85	18,8	81,2	0,49	0,77	1,74
		30-40	1,79	0,077	0,65	15,4	84,6	0,40	0,74	1,63
	НІР ₀₅		0,07	0,004	0,02	-	-	0,02	0,02	-
	P, %		1,8	1,6	1,8	-	-	1,4	1,4	-
Кінець IV роташі, 2011 р.										
11	Без добрив (контроль)	0-30	1,83	0,086	0,68	16,2	83,8	0,47	0,68	1,45
		30-40	1,69	0,072	0,59	15,3	84,7	0,37	0,73	1,59
2	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃	0-30	1,94	0,103	0,79	20,8	79,2	0,50	0,65	1,58
		30-40	1,65	0,068	0,60	16,7	83,3	0,36	0,69	1,67
4	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	0-30	2,20	0,110	0,89	19,1	80,9	0,49	0,82	1,82
		30-40	1,76	0,074	0,66	13,6	86,4	0,37	0,73	1,78
13	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + 8,3 т/га гною	0-30	2,13	0,109	0,85	18,4	81,6	0,48	0,80	1,77
		30-40	1,80	0,077	0,67	14,9	85,1	0,38	0,75	1,76
	НІР ₀₅		0,08	0,004	0,03	-	-	0,02	0,03	-
	P, %		1,7	1,7	1,5	-	-	1,6	1,5	-

їх кількість на рівні 0,85-0,89%. Порівняно з варіантом без добрив за органо-мінеральної системи удобрення підвищувалась рухомість гумінових кислот у верхньому 0-30 шарі ґрунту. За домінування у складі гумінових кислот фракції зв'язаної з кальцієм (79,3-81,6% від їх загального вмісту), частку вільних та зв'язаних з півтораоксидами кислот порівняно з контролем без добрив зросла на 3,0-4,5% і становила 18,4-20,7%, що вказує на інтенсивніший перебіг процесів гумусоутворення в цих варіантах.

Величина співвідношення Сгк:Сфк помітно залежала від структури сівозміни. Вирощування культур у зерно-просапній сівозміні посилювало накопичення фульвокислот у верхній частині профілю внаслідок чого співвідношення Сгк:Сфк упродовж ротації зменшилось за поєднаного внесення мінеральних добрив і побічної продукції – на 0,08, мінеральних добрив і гною – на 0,04 і становило відповідно 1,67 та 1,74. У плодозмінній сівозміні за рахунок зменшення частки просапних і збільшення частки бобових культур відбувалась стабілізація якісного складу гумусу. Співвідношення Сгк:Сфк впродовж ротації виросло за поєднаного внесення мінеральних добрив і побічної продукції на 0,15, мінеральних добрив і гною – на 0,03 і становило відповідно 1,82 та 1,77.

За органо-мінеральної системи удобрення помітно зростав нерозчинний залишок у складі гумусу, що також було характерним для верхнього 0-30 см шару. На кінець другої ротації абсолютна частка нерозчинного залишку порівняно з контролем збільшилась на 0,12-0,14%, що свідчить про комплексний характер процесів гумусоутворення, які супроводжуються глибокою трансформацією органічної речовини добрив в малорухомі і досить стабільні складові гумусу.

Отже, за органо-мінеральної системи удобрення встановлено стабілізацію вмісту гумусу у плодозмінній сівозміні та зменшення його вмісту у зерно-просапній сівозміні. Якісний склад гумусу за органо-мінеральної системи удобрення покращувався: підвищувався абсолютний вміст гумінових кислот порівняно з мінеральною системою удобрення у зерно-просапній сівозміні – на 0,04-0,06%, плодозмінній – на 0,06-0,10%; співвідношення Сгк:Сфк стабілізувалось на рівні 1,77-1,82. Трансформація органічної речовини добрив супроводжувалась зростанням абсолютного вмісту нерозчинного залишку у складі гумусу.

Результати досліджень в чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому показали, що вміст гумусу у ланці зерно-бурякової сівозміни з горохом за внесення мінеральних добрив в дозах $N_{50}P_{20}K_{30}$ та $N_{66,7}P_{26,7}K_{40}$ зменшився до початкового в орному (0-30 см) шарі на 0,08-

0,09%, підорному (30-40 см) – на 0,05%. Загальні втрати гумусу у шарі 0-40 см становили 1,85-2,04 т/га у вуглецевому еквіваленті, що порівняно з контролем без добрив було більшим на 0,45-0,64 т/га. Зміна співвідношення елементів живлення у складі мінеральних добрив не впливала істотно на стан гумусу ґрунту (табл. 3.8, 3.9).

Таблиця 3.8 Динаміка вмісту гумусу в чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому за різних систем удобрення, УЛДСС, 2006-2010 рр., %

№ вар.	Внесено добрив на 1 га ланки сівозміни	Шар ґрунту, см					
		0-30		30-40		30-40	
		початок ланки, 2006-2008 рр.		завершення ланки, 2008-2010 рр.		± до початкового	
1	Без добрив (контроль)	4,02	3,87	3,96	3,83	-0,06	-0,04
3	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	4,06	3,94	3,98	3,89	-0,08	-0,05
15	N _{73,3} P ₂₀ K ₃₀	4,01	3,90	3,91	3,84	-0,10	-0,06
18	N ₅₀ P ₃₀ K ₃₀	4,03	3,91	3,96	3,85	-0,07	-0,06
20	N ₅₀ P ₂₀ K _{43,3}	4,01	3,90	3,92	3,85	-0,09	-0,05
4	N _{66,7} P _{26,7} K ₄₀	4,02	3,90	3,93	3,85	-0,09	-0,05
5	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га гною	3,98	3,92	3,99	3,93	0,01	0,01
6	13,3 т/га гною	3,97	3,89	4,00	3,90	0,03	0,01
10	Сидерат (гірчиця біла)	4,02	3,87	4,00	3,86	-0,02	-0,01
11	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	4,09	3,84	4,06	3,82	-0,03	-0,02
12	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + побічна продукція	3,99	3,85	4,05	3,87	0,06	0,02
	НІР ₀₅	0,06	0,04	0,05	0,04	-	-
	Р, %	1,6	1,3	1,4	1,3	-	-

Стабілізацію вмісту гумусу в чорноземі типовому вилугуваному виявлено за органічної та органо-мінеральної систем удобрення. Застосування гною (13,3 т/га ланки сівозміни) або поживної сидеральної культури гірчиці білої, а також поєднане їх внесення з рекомендованою дозою мінеральних добрив (N₅₀P₂₀K₃₀ + сидерат на 1 га ланки сівозміни) забезпечило щорічне надходження органічної речовини до ґрунту у вуглецевому еквіваленті – 0,97-1,62 т/га. За внесення 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни вміст гумусу у ґрунті мав тенденцію до підвищення, а внесення зеленої маси гірчиці білої навпаки – тенденцію до його зменшення. Підвищення вмісту гумусу в чорноземі

Таблиця 3.9 Трансформація органічної речовини в 0-40 см шарі в чорноземі типовому вилугуваному в ланці зерно-бурякової сівозміни за різних систем удобрення, УЛДСС, 2006-2010 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га ланки сівозміни	Запаси Сорг. у ґрунті на початок ланки сівозміни, т/га	Зміна запасів Сорг. у ґрунті до початкового		Всього надійшло Сорг.				Кгум., %	
			за 3 роки, т/га	за 1 рік, т/га	± до контролю за 1 рік, т/га	за 3 роки, т/га	пожни-вні рештки	в. т.ч. побічна продукція + сидерат		за 1 рік, т/га
1	Без добрив (контроль)	101,7	-1,40	-0,47	-	1,00	-	-	0,33	-
3	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	102,8	-1,85	-0,62	-	1,09	-	-	0,36	0,03
5	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га гною	101,2	0,26	0,09	0,56	1,16	-	3,70	1,62	1,29
6	13,3 т/га гною	100,8	0,64	0,21	0,68	1,07	-	3,70	1,59	1,26
10	Сидерат (Гірчичя біла)	101,7	-0,45	-0,15	0,32	1,02	1,89	-	0,97	0,64
11	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	102,8	-0,70	-0,23	0,24	1,10	1,89	-	1,00	0,67
12	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + побічна продукція	101,0	1,28	0,43	0,90	1,13	5,39	-	2,17	1,84

типовому важкосуглинковому на 0,34% за застосування 10 т/га гною визначено у дослідженнях Ю.О. Тараріко, Л.Д. Глушченка [290].

Екологічно стабільною визначено систему удобрення, яка передбачає поєднане внесення мінеральних добрив, побічної продукції та зеленої маси гірчиці білої ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни). Щорічні обсяги надходження органічної речовини в ґрунт у вуглецевому еквіваленті за її застосування становили 2,17 т/га. Така кількість органічної маси забезпечила підвищення вмісту гумусу по завершенню ланки сівозміни до початкового рівня в орному (0-30 см) шарі – на 0,06%, підорному (30-40 см) – на 0,02%. Запаси гумусу в шарі ґрунту 0-40 см при цьому збільшились у вуглецевому еквіваленті на 1,28 т/га, що відповідало 0,43 т/га щорічного підвищення.

За органічної та органо-мінеральної систем удобрення виявлено істотне покращення гумусного стану чорнозему типового вилугуваного порівняно з контролем без добрив. По завершенню ланки сівозміни запаси гумусу в 0-40 см шарі ґрунту порівняно з контролем за внесення гною (13,3 т/га ланки сівозміни) підвищувались у вуглецевому еквіваленті на 2,04 т/га, гною поєднано з мінеральними добривами ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + 13,3 т/га гною) – на 1,66, заорювання на добриво сидерату (гірчиця біла) – на 0,95, сидерату з мінеральними добривами ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат) – на 0,70, сидерату із побічною продукцією і мінеральними добривами ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція) – на 2,68 т/га.

Отже, вміст гумусу в чорноземі типовому вилугуваному ланки зерно-бурякової сівозміни з горохом помітно стабілізувався за органо-мінеральної системи удобрення. Найефективнішим визначено поєднане внесення мінеральних добрив, побічної продукції та зеленої маси гірчиці білої ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни).

За якісними характеристиками гумус чорнозему типового вилугуваного легкосуглинкового відноситься до фульватно-гуматного типу. По завершенню ланки сівозміни у варіанті без добрив гумус орного (0-30 см) шару містив гумінових кислот 0,78%, фульвокислот – 0,64%, за співвідношення Сгк:Сфк – 1,22. В підорному 30-40 см шарі співвідношення Сгк:Сфк підвищувалось до 1,31, що вказує на становлення стабільності гумусу (табл. 3.10).

Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{50}P_{20}K_{30}$ та $N_{66,7}P_{26,7}K_{40}$ на 1 га ланки сівозміни підвищувало рухомість гумінових кислот у складі гумусу орного шару ґрунту. Порівняно з варіантом без добрив у складі гумінових кислот по завершенню ланки сівозміни збільшилась

Таблиця 3.10 Зміна фракційно-группового складу гумусу в чорноземі типовому вилугуваному в ланці зерно-бурякової сівозміни за різних систем удобрення, УЛДСС, 2008-2010 рр.

№ вар	Внесено добрив на 1 га ланки сівозміни	Шар ґрунту, см	С загальний, %	С лабільний, %	Сгк	% до маси ґрунту				Сгк/Сфк		
						Сгк	в т.ч., % зв'язаних з R ₂ O ₃	% С фракцій від Сгк зв'язаних з			Сфк	залишок
								R ₂ O ₃	Са			
1	Без добрив (контроль)	0-30	2,30	0,117	0,78	21,2	78,8	0,64	0,88	1,22		
		30-40	2,22	0,102	0,85	18,8	81,2	0,65	0,72	1,31		
		30-40	2,31	0,124	0,81	27,6	72,4	0,64	0,86	1,27		
3	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	30-40	2,26	0,106	0,83	25,1	74,9	0,63	0,80	1,32		
5	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га гною	0-30	2,31	0,124	0,82	22,4	77,6	0,57	0,91	1,44		
		30-40	2,28	0,105	0,85	20,2	79,8	0,61	0,82	1,39		
6	13,3 т/га гною	0-30	2,32	0,119	0,82	19,7	80,3	0,58	0,92	1,41		
		30-40	2,26	0,104	0,84	17,8	82,2	0,61	0,81	1,38		
10	Сидерат (гірчичя біла)	0-30	2,32	0,118	0,83	23,5	76,5	0,59	0,90	1,41		
		30-40	2,24	0,103	0,83	19,8	80,2	0,60	0,81	1,38		
11	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	0-30	2,36	0,127	0,85	28,4	71,6	0,60	0,90	1,43		
		30-40	2,22	0,104	0,82	24,5	75,5	0,59	0,81	1,39		
12	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + побічна продукція	0-30	2,35	0,125	0,85	25,2	74,8	0,58	0,92	1,46		
		30-40	2,25	0,105	0,83	21,6	78,4	0,60	0,82	1,38		
			0,09	0,005	0,03	-	-	0,03	0,04	-		
			1,8	1,6	1,6	-	-	1,7	1,8	-		

частка фракцій зв'язаних з півтораоксидами та зменшилась частка фракції зв'язаної з кальцієм на 6,4-7,9%. Основні показники якісного складу гумусу при цьому залишались на рівні варіанту без добрив: вміст гумінових кислот – 0,80-0,81%, фульвокислот – 0,63-0,64%, співвідношення Сгк:Сфк – 1,27. Це означає, що короткотривале застосування рекомендованої та підвищеної дози мінеральних добрив не приводить до значної дестабілізації якісного складу гумусу.

Покращання якісних показників гумусу виявлено за органічної та органо-мінеральної систем удобрення. Внесення 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни або заорювання на добриво зеленої маси гірчиці білої за достатнього зволоження мало однаковий вплив на якісний склад гумусу чорнозему типового вилугуваного: співвідношення Сгк:Сфк становило 1,41, що порівняно з варіантом без добрив було більшим на 0,19, а мінеральною системою удобрення на 0,14. Їх поєднане внесення з мінеральними добривами ($N_{50}P_{20}K_{30}$ на 1 га ланки сівозміни) збільшило співвідношення Сгк:Сфк до 1,43-1,44, що свідчить про підвищення стабільності гумусових молекул. Найефективнішим у покращенні якісного складу гумусу виявилось поєднане застосування мінеральних добрив, побічної продукції та зеленої маси гірчиці білої ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни). По завершенню ланки сівозміни співвідношення Сгк:Сфк становило 1,46, що перевищувало варіант без добрив на 0,24.

За органічної та органо-мінеральної систем удобрення підвищувалась гуматність гумусу. У складі гумусу збільшилась відносна частка гумінових кислот та зменшилась частка фульвокислот відповідно на 1,4-2,3% та 2,4-3,1%. При цьому органічні добрива неоднаково впливали на стабільність гумінових кислот. Застосування на добриво сидерату (гірчиці білої), їх поєднане внесення з мінеральними добривами та мінеральними добривами разом з побічною продукцією підвищувало рухомість гумінових кислот. Порівняно з варіантом без добрив у їх складі зросла відносна частка фракцій зв'язаних з півтораоксидами на 2,3-7,2%. Застосування гною не спричиняло істотних змін у складі гумінових кислот, співвідношення рухомих зв'язаних з півтораоксидами фракцій та фракції зв'язаної з кальцієм зберігалось на рівні варіанту без добрив.

3.2 Поживний режим чорноземів за 20-35 річного застосування добрив

3.2.1 Динаміка азотного фонду ґрунтів

Азот в житті рослин відіграє важливу фізіологічну роль. Він входить до складу білків, нуклеїнових кислот, хлорофілу, фосфатидів, ферментів та інших органічних речовин, впливає на основні фізіологічні процеси, визначає динаміку росту та розвитку рослин, забезпечує отримання високої їх продуктивності [59].

Із ґрунтового розчину рослини засвоюють азот у вигляді мінеральних амонійної та нітратної форм, які впродовж періоду вегетації мають складу динаміку перетворення у ґрунті. Уміст мінерального азоту в чорноземних ґрунтах тісно пов'язаний з кількістю органічної речовини, вмістом вологи, системою удобрення, структурою сівозмін, агротехнікою вирощування культур та ін. [175, 193, 306].

На думку І.С. Кравця [164] запаси загального азоту ґрунту можна розглядати як основного показника його потенційної родючості, а кількість азоту, яку щорічно використовують рослини із цих запасів, є умовною одиницею актуальної родючості.

Ефективним заходом впливу на азотний режим ґрунту є внесення мінеральних та органічних добрив [55, 120, 193, 362]. Застосування добрив супроводжується складним механізмом їх перетворення у ґрунті. Дослідження з ^{15}N П.М. Шияна [358, 359] показали, що за дози азотних добрив 200 кг/га буряки цукрові свою потребу в азоті на 57-73% забезпечували за рахунок запасів азоту ґрунту. При цьому процеси мінералізації органічного азоту ґрунту майже удвічі перевищували іммобілізацію азоту добрив.

За даними досліджень П.М. Шияна, В.М. Бондаренко [362], R. Harrision, S. Ellis, R. Cross, O.P. Hodgson [418], D.S. Jenkinson [431] застосування технічного азоту мінеральних добрив порушує природну рівновагу між процесами іммобілізації-мінералізації, зумовлює додаткову мобілізацію азоту ґрунту, збільшує непродуктивні втрати азоту в результаті процесів вимивання та емісії.

Ефективнішою і екологічно збалансованою є орґано-мінеральна система удобрення. Внесення органічних добрив посилює іммобілізаційні процеси і сприяє стабілізації запасів органічного азоту ґрунту [343].

Покращанню азотного режиму ґрунтів сприяє вирощування бобових культур. За даними досліджень Ф.Ф. Адамень [1] введення до

складу сівозміни одного поля бобової культури залишає після себе в легкогідролізованій органічній формі від 60 до 180 кг/га азоту.

Отже, застосування в системі удобрення органічного компонента та введення до складу зерно-бурякової сівозміни бобових культур сприяє стабілізації азотного фонду ґрунту. В умовах сучасного землеробства ефективним заходом впливу на азотний режим ґрунту може бути широке застосується в системі удобрення побічної продукції та поживних сидеральних культур.

Дослідження проведені на чорноземі опідзоленому важко-суглинковому показали, що у ґрунті упродовж двох ротацій зерно-бурякової сівозміни без внесення добрив відмічалось зменшення вмісту загального азоту в орному (0-30 см) шарі – на 16, підорному (30-40 см) – на 9 мг/100 г ґрунту.

За мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозмінної площі) втрати загального азоту в орному шарі ґрунту склали на рівні 16, підорному – 11 мг/100 г ґрунту. Ці втрати азоту за внесення добрив спричинені посиленням процесів мінералізації гумусу, зростанням обсягів виносу азоту врожаєм культур та непродуктивними його втратами внаслідок вимивання та емісії. Установлено, що на запаси загального азоту ґрунту істотно не впливало збільшення у складі мінеральних добрив дози одного з елементів живлення в 1,5 рази (табл. 3.11).

За традиційної органо-мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + 12 т гною на 1 га сівозмінної площі) виявлено стабілізацію азотного фонду ґрунту. Вміст загального азоту по завершенню другої ротації сівозміни становив в орному шарі – 169, підорному – 152 мг/100 г ґрунту, що було більшим до вихідного рівня відповідно на 9 та 4 мг/100 г ґрунту. Підвищення вмісту загального азоту пов'язано з додатковим його надходженням у ґрунт у складі органічної речовини та посиленням процесів гумусоутворення.

Біологізація в системах удобрення шляхом поєданого внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) поступалась традиційній органо-мінеральній системі удобрення стабілізуючим впливом на азотний фонд ґрунту. За введення елементів біологізації до систем удобрення вміст загального азоту в ґрунті мав лише тенденцію до підвищення і становив в орному шарі – 163, підорному – 150 мг/100 г ґрунту. Зниження стабілізуючого впливу на азотний фонд ґрунту порівняно з традиційною органо-мінеральною системою удобрення

тут обумовлено зменшенням кількісного надходження азоту у ґрунт у складі побічної продукції.

Таблиця 3.11 Динаміка загального азоту в чорноземі опідзоленому за тривалого застосування різних систем удобрення, ВДСС, 1988-2009 рр., мг/100 г ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Шар ґрунту, см					
		0-30	30-40	0-30	30-40	0-30	30-40
		початок ротації, 1988-1989 рр.		кінець I ротації, 1998-1999 рр.		кінець II ротації, 2008-2009 рр.	
1	Без добрив (контроль)	156	147	147	143	140	138
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	160	149	148	144	144	138
23	N ₇₅ P _{42,5} K ₅₀	158	146	146	140	143	137
19	N ₅₀ P _{63,7} K ₅₀	158	148	147	142	140	137
25	N ₅₀ P _{42,5} K ₇₅	158	147	146	142	140	136
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	159	147	160	148	163	150
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	160	148	162	150	169	152
12	12 т/га гною + побічна продукція	158	146	162	148	170	150
	НР ₀₅	6,2	5,8	5,9	5,6	6,0	5,7
	Р, %	1,8	2,0	1,9	1,7	1,8	1,9

Стабільність азотного фонду ґрунту досягалась за поєднаного внесення гною і побічної продукції (12 т гною + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі). За органічної системи удобрення підвищився вміст загального азоту в ґрунті по завершенню другої ротації до вихідного в орному шарі на 12, підорному – на 4 мг/100 г ґрунту.

Отже, позитивну динаміку вмісту загального азоту в чорноземі опідзоленому важкосуглинковому виявлено за поєднаного застосування мінеральних добрив і гною, мінеральних добрив і побічної продукції, а також гною і побічної продукції. За орнано-мінеральної системи удобрення впродовж двох ротацій підвищились запаси загального азоту порівняно з контролем без добрив в орному шарі на 23-29 мг/100 г ґрунту, підорному – на 12-14 мг/100 г ґрунту, органічної – відповідно на 30 та 12 мг/100 г ґрунту.

Розподіл азоту по фракціях азотовмісних сполук ґрунту помітно змінювався залежно від систем удобрення. На контролі без внесення добрив по завершенню другої ротації переважали у складі органічного азоту ґрунту важкогідролізовані фракції: легкогідролізована – 24,6 мг/100 г ґрунту, важкогідролізована – 54,6, негідролізованого залишку – 58,8 мг/100 г ґрунту, або відповідно 17,8%, 39,6% та 42,6% від суми фракцій (табл. 3.12).

Таблиця 3.12 Вміст фракцій азоту в орному шарі чорнозему опідзоленого за різних систем удобрення, ВДСС, 2008-2009 р., мг/100 г ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Вміст мінерального азоту	Фракції органічного азоту			
			сума фракцій	в т.ч.		
				легкогідролізована	важкогідролізована	негідролізована
1	Без добрив (контроль)	1,8	138	24,6	54,6	58,8
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	3,3	141	30,9	52,7	57,4
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	1,7	161	30,5	60,1	70,4
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	2,4	167	34,4	63,6	69,0
12	12 т/га гною + побічна продукція	1,6	168	31,7	63,1	73,2
НІР ₀₅		0,1	6,0	1,1	2,0	2,2
Р, %		1,4	1,8	1,6	1,5	1,6

Тривале застосування лише мінеральних добрив (N₅₀P_{42,5}K₅₀ на 1 га сівозмінної площі) зменшувало вміст важкогідролізованих фракцій у складі органічного азоту ґрунту, що стало наслідком посилення у ґрунті мінералізаційних процесів. На кінець другої ротації вміст важкогідролізованого азоту порівняно з контролем без добрив зменшився на 1,9, негідролізованого залишку – на 1,4 мг/100 г ґрунту.

Фракція легкогідролізованого азоту при цьому залишалась стабільною і підвищувалась за абсолютного її вмісту на кінець другої ротації порівняно з контролем на 6,3 мг/100 г ґрунту, що досягнуто за рахунок трансформації азоту важкогідролізованих фракцій. За внесення мінеральних добрив у ґрунті помічено зростання вмісту мінерального азоту порівняно з контролем на 1,5 мг/100 г ґрунту.

За орґано-мінеральної та орґанічної систем удобрення виявлено

підвищення вмісту азоту в усіх органічних фракціях. Сума фракцій органічного азоту ґрунту на кінець другої ротації підвищувалась порівняно з варіантом без добрив за поєднаного внесення мінеральних добрив і побічної продукції – на 23 мг/100 г ґрунту, мінеральних добрив і гною – на 29, гною і побічної продукції – на 30 мг/100 г ґрунту і становила відповідно 161, 167 та 168 мг/100 г ґрунту.

Застосування органічного компонента сприяє накопиченню азоту переважно у важкогідролізованих фракціях. Поєднане внесення мінеральних добрив і побічної продукції збільшило абсолютний вміст важкогідролізованого азоту ґрунту порівняно з контролем без добрив на 5,5 мг/100 г ґрунту, негідролізованого залишку – на 11,6; мінеральних добрив і гною – відповідно на 9,0 та 10,2; гною і побічної продукції – на 7,1 та 14,4 мг/100 г ґрунту.

Математичні моделі прогнозування вмісту загального азоту в чорноземі опідзоленому розроблені шляхом регресійного аналізу дозволили зробити прогноз забезпечення ґрунту загальним азотом на період до 2050 року (табл. 3.13).

Таблиця 3.13 Прогноз вмісту загального азоту в чорноземі опідзоленому за різних систем удобрення, мг/100 г ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Рівняння регресії	Прогноз, рік			
			2020	2030	2040	2050
1	Без добрив (контроль)	$y = -0,8x + 155,67$	131	123	115	107
2	$N_{50}P_{42,5}K_{50}$	$y = -0,9x + 159$	131	122	113	104
3	$N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + побічна продукція	$y = 0,24x + 159$	166	169	171	173
5	$N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + 12 т/га гною	$y = 0,45x + 159,17$	173	178	182	187
12	12 т/га гною + побічна продукція	$y = 0,6x + 157,33$	176	182	188	194

Примітка. x – число років від початку досліджень (1989 р.); y – вміст загального азоту, мг/100 г ґрунту

Застосування мінеральної системи удобрення впродовж наступних 40 років призведе до зменшення вмісту загального азоту в орному шарі ґрунту на 38 мг/100 г ґрунту, або 26,8%. Використання органо-мінеральної на основі гною системи удобрення збільшить вміст загального азоту на 18 мг/100 г ґрунту, або 10,7%, поєднання

внесення мінеральних добрив і використання на добриво побічної продукції – 10 мг/100 г ґрунту, або 6,1%, гною і побічної продукції – 24 мг/100 г ґрунту, або 14,1%.

В умовах нестійкого зволоження на чорноземі вилугуваному середньосуглинковому вплив систем удобрення на динаміку азотного фонду вивчався в сівозмiнах рiзної структури: третя ротація – зерно-просапна (просапними 40%, бобовими 10%), четверта – плодозмінна (просапних 16,7%, бобових 33%) (табл. 3.14).

Таблиця 3.14 Динаміка загального азоту в чорноземі типовому вилугуваному залежно від систем удобрення і структури сівозміни, БЦДСС, 1996-2012 рр., мг/100 г ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Шар ґрунту, см	Початок III ротації, 1996-1997 рр.	Кінець III ротації, 2006-2007 рр.	Кінець IV ротації, 2011-2012 рр.
11	Без добрив (контроль)	0-30	195	180	176
		30-40	168	162	161
		40-60	152	151	151
2	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆	0-30	201	188	183
		30-40	163	158	157
		40-60	148	146	145
4	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + побічна продукція	0-30	213	211	213
		30-40	167	166	167
		40-60	155	154	154
13	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га гною	0-30	210	206	209
		30-40	172	170	171
		40-60	150	150	150
НІР ₀₅			7,2	6,6	6,8
Р, %			1,7	1,7	1,6

Примітка. Дозу внесення мінеральних добрив у IV ротації зменшено до N₄₃P₄₃K₄₃, гною – до 8,3 т на 1 га сівозмінної площі.

На контролі без добрив вміст загального азоту в ґрунті зменшувався переважно в орному 0-30 см шарі і був істотним лише в зерно-просапній сівозміні. По завершенню ротації цієї сівозміни вміст загального азоту зменшився в орному (0-30 см) шарі до початку ротації на 15 мг/100 г ґрунту, в підорному (30-40 см) шарі зменшення виявилось не істотним – 6 мг/100 г ґрунту, у шарі 40-60 см його вміст

стабілізувався. У плодозмінній сівозміні вміст загального азоту мав лише тенденцію до зменшення в шарі 0-30 см – на 4 мг/100 г ґрунту, в глибших шарах відбулась його стабілізація.

За мінеральної системи удобрення вміст загального азоту в ґрунті виявився на рівні варіанту без добрив. У зерно-просапній сівозміні зменшення вмісту загального азоту в орному шарі визначено більшим, ніж у плодозмінній на 8 мг/100 ґрунту, або в 2,6 разів.

Поєднане застосування мінеральних добрив і гною або мінеральних добрив і побічної продукції стабілізує вміст загального азоту в ґрунті лише у плодозмінній сівозміні. У зерно-просапній сівозміні його вміст в орному (0-30 см) шарі впродовж ротації мав тенденцію до зниження: за поєданого внесення мінеральних добрив і гною – на 4, мінеральних добрив і побічної продукції – на 2 мг/100 г ґрунту.

Система удобрення і структура сівозміні помітно впливали на розподіл азоту за фракціями азотовмісних сполук чорнозему типового вилугуваного середньосуглинкового.

На контролі без добрив по завершенню ротації зерно-просапної сівозміні вміст органічного азоту в орному (0-30 см) шарі ґрунту становив 177 мг/100 г ґрунту (98,6% від валового вмісту), у тому числі фракція легкогідролізованого азоту – 34,0, важкогідролізованого – 70,8, негідролізованого залишку – 72,2 мг/100 г ґрунту, або відповідно 19,2%, 40,0% та 40,8% від суми фракцій (табл. 3.15).

За мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{66}K_{66}$ на 1 га сівозмінної площі) збільшився вміст легкогідролізованої фракції у складі органічного азоту ґрунту порівняно з контролем без добрив на 4,7 мг/100 г ґрунту і незначно впливало на вміст важкогідролізованого азоту та азоту негідролізованого залишку. Про збільшення вмісту азоту легкогідролізованих фракцій за внесення технічного азоту добрив відмічено в дослідженнях П.М. Шияна, В.М. Бондаренко [362].

За органо-мінеральної системи удобрення у зерно-просапній сівозміні вміст азоту підвищився в усіх фракціях азотовмісних сполук. По завершенню третьої ротації за поєданого внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{50}P_{66}K_{66}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) вміст легкогідролізованого азоту в ґрунті порівняно з контролем без добрив підвищився – на 9,5 мг/100 г ґрунту; важкогідролізованого – на 10,3, негідролізованого залишку – на 12,2; мінеральних добрив і гною ($N_{50}P_{66}K_{66}$ + 9 т гною на 1 га сівозмінної площі) – відповідно на 9,4, 7,8 та 8,8 мг/100 г ґрунту.

Таблиця 3.15 Вміст фракцій азоту в орному шарі чорнозему типового вилугуваного залежно від систем удобрення і структури сівозміни, БЦДСС, мг/100 г ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміної площі	Вміст мінерального азоту	Фракції органічного азоту			
			сума фракцій	в тому числі		
				легкогідролізована	важкогідролізована	негідролізована
Кінець III ротації, 2006-2007 рр.						
11	Без добрив (контроль)	2,6	177	34,0	70,8	72,2
2	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆	3,9	184	38,7	71,6	73,7
4	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + побічна продукція	2,0	209	43,5	81,1	84,4
13	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га гною	3,2	203	43,4	78,6	81,0
	НІР ₀₅	0,1	6,6	1,3	2,8	2,7
	Р, %	1,4	1,7	1,8	2,0	1,8
Кінець IV ротації, 2011-2012 рр.						
11	Без добрив (контроль)	3,3	173	35,6	68,1	69,1
2	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃	4,6	178	36,8	70,7	70,5
4	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	2,1	211	43,2	82,3	85,5
13	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + 8,3 т/га гною	3,6	205	43,8	80,2	81,0
	НІР ₀₅	0,1	6,8	1,1	2,4	2,6
	Р, %	1,4	1,6	1,6	1,9	1,8

У плодозмінній сівозміні на контролі без внесення добрив та за мінеральної системи удобрення зберігалась тенденція щодо зниження вмісту важкогідролізованих фракцій у складі органічного азоту ґрунту, що посилювало дестабілізацію азотного фонду чорнозему типового вилугуваного. Так, на контролі без добрив вміст важкогідролізованого азоту по завершенню ротації плодозмінної сівозміни зменшився до початку ротації на 2,1, негідролізованого залишку – на 3,1; за внесення мінеральних добрив (N₄₃P₄₃K₄₃ на 1 га сівозміної площі) – відповідно на 2,9 та 2,0 мг/100 г ґрунту.

За органо-мінеральної системи удобрення у плодозмінній сівозміні виявлено помітну стабілізацію усіх фракцій азоту ґрунту. За поєдна-

ного внесення мінеральних добрив і побічної продукції рослинництва ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) вміст легкогідролізованого азоту по завершенню ротації становив 43,2 мг/100 г ґрунту, важкогідролізованого – 82,3, негідролізованого залишку – 85,5; мінеральних добрив і гною ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + 8,3 т гною на 1 га сівозмінної площі) – відповідно 43,8, 80,2 та 81,0 мг/100 г ґрунту, що було близьким до вмісту азоту у ґрунті на початку ротації.

Отже, за органо-мінеральної системи удобрення у зерно-бурякової сівозміні різної структури із залученням побічної продукції та підстилкового гною складувались сприятливіші умови для накопичення азоту в усіх фракціях азотовмісних сполук чорнозему типового вилугуваного середньосуглинкового, збільшився їх абсолютний вміст у ґрунті порівняно з мінеральною системою удобрення, що забезпечило стабільність азотного фонду ґрунту.

В умовах достатнього зволоження у чорноземі вилугуваному легкосуглинковому вивчали азотний фонд ґрунту у ланці зерно-бурякової сівозміни з горохом за різних систем удобрення. Застосування мінеральних добрив у дозах $N_{50}P_{20}K_{30}$ та $N_{66,7}P_{26,7}K_{40}$ на 1 га ланки сівозміни зменшило вміст загального азоту в орному 0-30 см шарі ґрунту до початкового – відповідно на 7 та 6 мг/100 г ґрунту. Збільшення у складі добрив одного з елементів живлення у 1,5 рази не привело до помітних змін в динаміці загального азоту ґрунту (табл. 3.16).

Внесення гною (13,3 т/га ланки сівозміни), зеленої маси гірчиці білої, гірчиці білої і мінеральних добрив ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат на 1 га ланки сівозміни) обумовило тенденцію до зменшення вмісту загального азоту в орному шарі ґрунту в межах 4-5 мг/100 г ґрунту.

Найвищу стабільність азотного фонду чорнозему вилугуваного легкосуглинкового забезпечено за поєднаного внесення мінеральних добрив і гною або мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції. По завершенню ланки сівозміни вміст загального азоту у цих варіантах становив в орному шарі – 236, підорному – 221-224 мг/100 г ґрунту, що відповідає вихідному рівню.

Таблиця 3.16 Динаміка загального азоту в чорноземі типовому вилугуваному у за різних систем удобрення, УЛДСС, 2006-2010 рр., мг/100 г ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га ланки сівозміни	Шар ґрунту, см					
		0-30	30-40	0-30	30-40	0-30	30-40
		початок ланки, 2006-2008 рр.		завершення ланки, 2008-2010 рр.		± до початкового	
1	Без добрив (контроль)	237	221	230	218	-7	-3
3	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	238	224	231	222	-7	-2
15	N _{73,3} P ₂₀ K ₃₀	236	222	229	220	-7	-2
18	N ₅₀ P ₃₀ K ₃₀	238	223	231	220	-7	-3
20	N ₅₀ P ₂₀ K _{43,3}	237	222	230	220	-7	-2
4	N _{66,7} P _{26,7} K ₄₀	237	222	231	220	-6	-2
5	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га гною	236	223	236	224	0	1
6	13,3 т/га гною	236	222	232	222	-4	0
10	Сидерат (гірчиця біла)	237	221	232	220	-5	-1
11	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	236	220	232	220	-4	0
12	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + побічна продукція	235	220	236	221	1	1
	НІР ₀₅	6,0	5,7	5,9	5,4	-	-
	Р, %	1,8	1,6	1,7	1,5	-	-

Розподіл азоту у фракціях азотомісних сполук ґрунту залежить від системи удобрення. На контролі без добрив по завершенню ланки сівозміни вміст органічного азоту в орному (0-30 см) шарі ґрунту становив 229 мг/100 г ґрунту (99,6% від валового вмісту), в тому числі легкогідролізованого азоту – 47,2, важкогідролізованого – 88,6, негідролізованого залишку – 93,2 мг/100 г ґрунту, або відповідно 20,6%, 38,7% та 40,7% від суми фракцій загального азоту (табл. 3.17).

Мінеральні добрива і зелена маса гірчиці білої істотно не змінювали розподіл азоту за фракціями азотомісних сполук ґрунту порівняно з контролем без добрив.

Поєднане внесення мінеральних добрив і зеленої маси гірчиці білої (N₅₀P₂₀K₃₀ + сидерат на 1 га ланки сівозміни) або внесення 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни підвищували вміст легкогідролізованої фракції азоту порівняно з контролем без добрив – відповідно на 1,9 та 1,8 мг/100 г ґрунту. Збільшення вмісту легкодоступного азоту ґрунту

за внесення гірчиці білої відмічено у дослідженнях Я.П. Цвея, Ф.П. Касянчук [331].

Таблиця 3.17 Вміст фракцій азоту в орному (0-30 см) шарі чорнозему типового вилугуваного за різних систем удобрення, УЛДСС, 2008-2010 рр., мг/100 г ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га ланки сівозміни	Вміст мінерального азоту	Фракції органічного азоту			
			сума фракцій	в тому числі		
				легкогідролізована	важкогідролізована	негідролізована
1	Без добрив (контроль)	1,1	229	47,2	88,6	93,2
3	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	1,6	229	48,0	87,9	93,1
5	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га гною	1,7	234	49,6	90,1	94,3
6	13,3 т/га гною	1,3	231	49,0	88,1	93,9
10	Сидерат (гірчиця біла)	1,1	231	48,5	88,7	93,8
11	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	1,4	231	49,1	88,3	93,6
12	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + ПП	1,1	235	48,7	91,2	95,1
	НІР ₀₅	0,1	6,8	1,6	2,3	2,6
	Р, %	1,6	1,8	1,7	1,7	1,8

Найефективнішими визначено системи удобрення, де передбачено поєднане внесення мінеральних добрив і гною або мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої і побічної продукції рослинництва. Їх застосування збільшувало вміст азоту в усіх фракціях азотовмісних сполук ґрунту. Так, за поєданого внесення N₅₀P₂₀K₃₀ + 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни вміст легко гідролізованого азоту підвищився порівняно з контролем без добрив на 2,4, важкогідролізованого – на 1,5, негідролізованого залишку – на 1,1; N₅₀P₂₀K₃₀ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни – відповідно на 1,5, 2,6 та 1,9 мг/100 г ґрунту.

Отже, стабілізацію азотного фонду чорнозему вилугуваного легкосуглинкового виявлено за традиційної органо-мінеральної системи удобрення та поєданого застосування мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції.

3.2.2 Фосфатний фонд ґрунту та його трансформація

Одним із ефективних засобів впливу на фосфатний режим ґрунтів є внесення мінеральних та органічних добрив. На думку переважної більшості вчених найсприятливіший і стабільний у часі фосфатний режим ґрунтів створюється за поєднання внесення мінеральних та органічних добрив [176, 194, 335]. За орґано-мінеральної системи удобрення уповільнюється сорбція фосфору ґрунтом, підтримується високий рівень рухомого фосфору у ґрунтовому розчині, що забезпечує достатнє і збалансоване у часі фосфатне живлення рослин [327].

За даними О.В. Лазурського [170], А.П. Лісовала, Н.В. Правілова [174] застосування гною посилює активність біохімічних мікробіологічних процесів у ґрунті та забезпечує тривале надходження рухомого фосфору у ґрунтовий розчин.

Збільшення його вмісту у ґрунті впродовж періоду вегетації за поєднаного внесення мінеральних добрив та гною спостерігали в дослідженнях Л.А. Барштейна, І.С. Шкаредного, В.М. Якименка [8]. Ряд інших вчених відмічали позитивний вплив фосфорних добрив на збільшення вмісту рухомого фосфору в ґрунті [325].

За даними досліджень А.С. Заришняка, В.В. Іваніни, Т.В. Колібабчук [115], Л.І. Мартинович, Н.Н. Мартинович [194], Б.С. Носка [218] природа взаємодії фосфорних добрив і ґрунту є досить складною. На характер його перетворення у ґрунті впливають: валові запаси фосфору, співвідношення між органічною та мінеральною фракціями, кислотність ґрунтового розчину, мінералогічний та гранулометричний склад ґрунту, здатність фосфору переходити у рухоміші і доступніші рослинам форми та ін. [465].

На думку Е.Г. Дегодюка, Л.І. Нікіфоренко, В.І. Гамалея [79], Б.С. Носка [227] застосування фосфорних добрив у сівозмінах повинно бути спрямоване на створення високого рівня забезпечення ґрунтів рухомим фосфором. Б.С. Носко [218] вважає, що максимальна віддача від застосування добрив створюється на ґрунтах з рівнем забезпечення рухомим фосфором понад 14-16 мг P_2O_5 на 100 г ґрунту. Подальше підвищення їх ефективної родючості лежить у площині формування оптимального азотного і фосфорного співвідношення.

Отже, формування фосфатного режиму в чорноземах найефективніше відбувається за орґано-мінеральної системи удобрення з дотриманням позитивного балансу фосфору в агроєкосистемах. За технології біологізації в системах удобрення відбувається його опти-

мізація, особливо за застосування побічної продукції і поживних сидеральних культур, які помітно збагачують ґрунт органічними сполуками фосфору.

Проведені дослідження на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому показали, що вирощування культур у зерно-бураковій сівозміні впродовж двох ротацій без внесення добрив різко зменшувало вміст рухомого фосфору у верхніх шарах ґрунту. По завершенню першої ротації його вміст в орному (0-30 см) шарі ґрунту зменшився до вихідного на 7,8 мг/кг ґрунту (на 8,4%), підорному (30-40 см) шарі – на 7,0 (8,0%); у другій – відповідно на 28,5 (30,8%) та 15,5 мг/кг ґрунту (17,7%). Сумарні запаси рухомого фосфору в 0-40 см шарі ґрунту зменшились на 112 кг/га, в тому числі у першій ротації на 34 кг/га (30% від загальних втрат), другій – на 78 кг/га (70%) (табл. 3.18).

Таблиця 3.18 Динаміка рухомого фосфору в чорноземі опідзоленому за тривалого застосування різних систем удобрення, ВДСС, 1988-2009 рр., мг/кг ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Шар ґрунту, см							
		0-30		30-40		0-30		30-40	
		початок ротації, 1988-1989 рр.		кінець I ротації, 1998-1999 рр.		кінець II ротації, 2008-2009 рр.			
1	Без добрив (контроль)	92,4	87,8	84,6	80,8	63,9	72,3		
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	91,7	87,6	102	92,4	106	94,2		
23	N ₇₅ P _{42,5} K ₅₀	91,6	87,0	102	91,9	107	93,6		
19	N ₅₀ P _{63,7} K ₅₀	91,3	86,9	112	93,6	124	95,7		
25	N ₅₀ P _{42,5} K ₇₅	91,5	87,2	102	92,1	106	93,6		
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	90,6	88,1	107	93,0	114	93,8		
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	91,5	86,4	118	91,6	132	94,4		
12	12 т/га гною + побічна продукція	91,9	87,2	97,7	90,8	102	92,5		
	НІР ₀₅	3,8	3,5	4,0	3,6	3,6	3,5		
	P, %	2,1	1,9	2,0	1,7	1,9	1,8		

Застосування мінеральних добрив у дозі (N₅₀P_{42,5}K₅₀ на 1 га сівозмінної площі) дозволило не тільки стабілізувати вміст рухомого фосфору у верхніх шарах ґрунту, але й забезпечило його підвищення впродовж ротацій в орному (0-30 см) шарі на 11,2-15,6%, підорному (30-40 см) – на

5,5-7,5%. Сумарні запаси рухомого фосфору в шарі ґрунту 0-40 см на кінець другої ротації збільшилися до вихідного на 54,5 кг/га, або 13,5%. Вміст рухомого фосфору у ґрунті помітно підвищувався за збільшення дози фосфору у складі мінеральних добрив – у 1,5 рази. По завершенню другої ротації його вміст у ґрунті збільшився до вихідного в орному шарі на 35,8%, підорному – 10,1%.

За орґано-мінеральної системи удобрення виявлено помітне підвищення вмісту рухомого фосфору в ґрунті порівняно з мінеральною. За поєднаного внесення мінеральних добрив і ґною ($N_{50}P_{42,5}K_{50} + 12$ т/га ґною на 1 га сівозмінної площі) вміст рухомого фосфору на кінець другої ротації підвищився до вихідного в орному (0-30 см) шарі на 44,3%, підорному – на 9,3%; за внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{50}P_{42,5}K_{50} +$ побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) – відповідно на 25,8% та 6,5%. Порівняно з мінеральною системою удобрення вміст рухомого фосфору зростав переважно в орному (0-30 см) шарі ґрунту. По завершенню другої ротації його вміст за поєднаного внесення мінеральних добрив і ґною збільшився порівняно з мінеральною системою удобрення на 26 мг/кг ґрунту (24,5%), мінеральних добрив і побічної продукції – на 8 мг/кг ґрунту (7,6%). Позитивний вплив орґано-мінеральної системи удобрення на фонд рухомого фосфору в чорноземі опідзоленому відмічено у дослідженнях Л.І. Мартинович, М.М. Мартиновича [194].

За орґанічної системи удобрення (12 т ґною + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) виявлено менший вплив на формування фонду рухомого фосфору ґрунту порівняно з мінеральною та орґано-мінеральними системами удобрення, що обумовлено меншими обсягами внесення фосфору у ґрунт у складі орґанічних добрив. При цьому вміст рухомого фосфору в орному шарі ґрунту по завершенню другої ротації підвищився до вихідного на 11,0%, підорному – на 6,1%. Запаси рухомого фосфору в шарі ґрунту 0-40 см збільшилися на 39 кг/га, або 9,8%.

Отже, вміст рухомого фосфору у ґрунті залежав від дози фосфору, передбаченої в системах удобрення. За мінеральної системи удобрення впродовж двох ротацій вміст рухомого фосфору підвищився в орному шарі на 15,6%, орґано-мінеральної – на 44,3%, поєднаного внесення мінеральних добрив і побічної продукції – на 25,8%, ґною і побічної продукції – на 11,0%; у підорному шарі – відповідно на 7,5%, 6,5%, 9,3% та 6,1%.

Окультурення чорнозему опідзоленого впродовж 20 років внесло зміни в груповий склад фосфатів ґрунту. За мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозмінної площі) порівняно з контролем без добрив помітно підвищився вміст валового фосфору в орному (0-30 см) шарі ґрунту на 204 мг/кг ґрунту, або 21,4%. Воно відбувалось переважно за рахунок мінеральних фосфатів (на 168 мг/кг ґрунту) на фоні незначного підвищення абсолютного вмісту органічного фосфору (на 36 мг/кг ґрунту) (табл. 3.19).

Вміст мінерального фосфору ґрунту за мінеральної системи удобрення підвищувався за рахунок усіх його фракцій: фосфатів лужних металів (група I) – на 13,8 мг/кг ґрунту, різноосновних фосфатів кальцію (II) – на 29,3, високоосновних фосфатів кальцію та різноосновних фосфатів алюмінію та заліза (III) – на 69,0, нерозчинного залишку – на 56,0 мг/кг ґрунту. Найбільші обсяги підвищення спостерігали у групі (III) важкорозчинних фосфатів та фосфатів нерозчинного залишку. Збільшення вмісту валових і рухомих форм фосфору у ґрунті за внесення добрив відмічали в дослідженнях Б.С. Носка, В.І. Бабиніна, Л.М. Бурлакової, Н.П. Копот [232].

За органо-мінеральної системи удобрення на фоні підвищення вмісту валового фосфору ґрунту виявлено збільшення групи органічних фосфатів. Порівняно з мінеральною системою удобрення питома частка органічних фосфатів у складі валового фосфору ґрунту підвищилась на 2,0-2,5% і становила 42,7-43,2%.

Внесення мінеральних добрив поєднано з органічними збільшувало порівняно з мінеральною системою удобрення вміст рухомих і важкорозчинних фракцій (I-III) і зменшувало закріплення фосфору в нерозчинному залишку.

За поєданого внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) вміст рухомих фосфатів I та II груп, а також важкорозчинних високоосновних фосфатів кальцію, алюмінію та заліза (III група) збільшився порівняно з мінеральною системою удобрення відповідно на 5,4, 4,3 та 9,0 мг/кг ґрунту. Вміст фосфору в нерозчинному залишку при цьому зменшувался на 18 мг/кг ґрунту.

Поєдане внесення $N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + 12 т гною на 1 га сівозмінної площі забезпечило помітне підвищення вмісту мінеральних фосфатів ґрунту. Порівняно з мінеральною системою удобрення вміст фосфатів лужних металів (група I) збільшився на 16,3 мг/кг ґрунту, різноосновних фосфатів кальцію (II) – на 9,2, високоосновних фосфатів кальцію і різноосновних фосфатів алюмінію та заліза (III) – на 31,0 мг/кг ґрунту.

Таблиця 3.19 Груповий склад фосфатів в орному (0-30 см) шарі чорнозему опідзоленого після тривалого (20 років) застосування у польовій сівозміні різних систем удобрення, 2008-2009 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміної площі	Валовий, мг/кг	Органічний фосфор		Мінеральний фосфор		Групи мінеральних фосфатів за Чиріковим, мг/кг				не розчинна
			мг/кг	%	мг/кг	%	I	II	III	I+II+III	
1	Без добрив (контроль)	952	434	45,6	518	54,4	7,2	57,1	189	253	265
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	1156	470	40,7	686	59,3	21,0	86,4	258	365	321
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	1209	522	43,2	687	56,8	26,4	90,7	267	384	303
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	1306	558	42,7	748	57,3	37,3	95,6	289	422	326
12	12 т/га гною + побічна продукція	1141	510	44,7	631	55,3	19,5	83,3	238	341	290
	НР ₀₅	31,2	16,6	-	18,4	-	0,3	2,6	9,5	-	6,3
	P, %	1,7	1,9	-	1,8	-	1,6	1,7	2,0	-	1,9

За органічної системи удобрення (12 т гною + побічна продукція на 1 га сівзміної площі) виявлено підвищення переважно органічних фосфатів у складі валового фосфору ґрунту. Тут питома частка органічних фосфатів зросла до 44,7%, що порівняно з мінеральною системою удобрення було більшим на 4,0%, органо-мінеральною системою – на 1,5-2,0%.

Отже, за органо-мінеральної системи удобрення відбулось підвищення групи органічних фосфатів у складі валового фосфору порівняно з мінеральними та зменшилось закріплення мінерального фосфору в нерозчинному залишку.

Розроблені шляхом регресійного аналізу математичні моделі прогнозування вмісту рухомого фосфору в чорноземі опідзоленому важкосуглинковому дозволили визначити прогноз забезпечення ґрунту рухомих фосфором на період до 2050 року. За мінеральної системи удобрення впродовж наступних 40 років вміст рухомого фосфору в орному шарі може підвищитись – на 28,3%, поєданого внесення мінеральних добрив і гною – на 64,4%, мінеральних добрив і побічної продукції – на 43,9%, гною і побічної продукції – на 20,6% (табл. 3.20).

Таблиця 3.20 Прогноз вмісту рухомого фосфору в чорноземі опідзоленому за різних систем удобрення, мг/кг ґрунту

№ вар	Внесено добрив на 1 га сівзміної площі	Рівняння регресії	Прогноз, рік			
			2020	2030	2040	2050
1	Без добрив (контроль)	$y = -0,725x + 78,41$	55,9	48,7	41,4	34,2
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	$y = 0,715x + 92,75$	115	122	129	136
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	$y = 1,17x + 92,167$	128	140	152	164
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	$y = 2,025x + 93,583$	156	177	197	217
12	12 т/га гною + побічна продукція	$y = 0,505x + 92,15$	108	113	118	123

Примітка. x – число років від початку досліджень (1989 р.); y – вміст рухомого фосфору, мг/кг ґрунту

В чорноземі вилугуваному середньосуглинковому за різних систем удобрення вивчали динаміку фосфатного режиму ґрунту у сівзмінах різної структури: третя ротація – зерно-просапна (просапними 40%, бобовими 10%), четверта – плодозмінна (просапних 16,7%, бобових 33%). На контролі без добрив вміст рухомого фосфору впро-

довж ротації зерно-просапної сівозміни зменшився в орному (0-30 см) шарі – на 16 мг/кг ґрунту, підорному (30-40 см) – на 11; плодозмінної – лише в орному шарі на 6 мг/кг ґрунту (табл. 3.21).

Таблиця 3.21 Динаміка рухомого фосфору в чорноземі вилугуваному залежно від систем удобрення та структури сівозміни, БЦДСС, 1996-2012 рр., мг/кг ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Шар ґрунту, см					
		0-30		30-40		0-30	
		початок III ротації, 1996-1997 рр.		кінець III ротації, 2006-2007 рр.		кінець IV ротації, 2011-2102 рр.	
11	Без добрив (контроль)	148	135	132	124	126	127
2	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆	193	158	212	167	221	175
4	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + побічна продукція	213	162	240	166	248	169
13	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га гною	227	170	251	176	262	179
НР ₀₅		5,6	5,1	5,7	4,7	5,8	4,6
Р, %		2,3	2,1	2,5	1,9	1,9	2,0

Примітка. Дозу внесення мінеральних добрив у IV ротації зменшено до N₄₃P₄₃K₄₃, гною – до 8,3 т на 1 га сівозмінної площі.

За мінеральної системи у зерно-просапній сівозміні (N₅₀P₆₆K₆₆ на 1 га сівозмінної площі) на кінець ротації виявлено підвищення вмісту рухомого фосфору до вихідного в орному шарі – на 19 мг/кг ґрунту, підорному – на 9; у плодозмінній (N₄₃P₄₃K₄₃ на 1 га сівозмінної площі) – відповідно на 9 та 8 мг/кг ґрунту. Зменшення дози внесення фосфорних добрив на 35% знизило темпи зростання рухомого фосфору в орному шарі ґрунту.

Позитивний вплив на фосфатний режим ґрунту відмічалось за застосування органо-мінеральної системи удобрення. Посаджане внесення мінеральних добрив і гною у зерно-просапній сівозміні (N₅₀P₆₆K₆₆ + 9 т гною на 1 га сівозмінної площі) збільшило вміст рухомого фосфору на кінець ротації до вихідного в орному шарі на 24, підорному – на 6; плодозмінній (N₄₃P₄₃K₄₃ + 8,3 т гною на 1 га сівозмінної площі) – відповідно на 11 та 3 мг/кг ґрунту.

Введення елементів біологізації в системи удобрення у вигляді побічної продукції рослинництва за ефективністю впливу на фосфат-

ний режим ґрунту не поступались внесенню гною. Поєднане застосування мінеральних добрив і побічної продукції у зерно-просапній сівозміні ($N_{50}P_{66}K_{66}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) підвищило вміст рухомого фосфору на кінець ротації до вихідного в орному шарі на 27 мг/кг ґрунту, підорному – на 4; плодозмінній сівозміні ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) – відповідно на 8 та 3 мг/кг ґрунту.

За орґано-мінеральної системи удобрення вміст рухомого фосфору помітно підвищувався в орному шарі ґрунту порівняно з мінеральною системою удобрення. Так, на кінець четвертої ротації за поєданого застосування мінеральних добрив і гною вміст рухомого фосфору в орному шарі ґрунту підвищився порівняно з мінеральною системою удобрення на 28%, мінеральних добрив і побічної продукції – на 27%.

Отже, результати досліджень доводять, що формування фосфатного режиму чорнозему вилугуваного середньосуглинкового більше залежало від дози внесення фосфорних добрив, ніж структури сівозміни. Систематичне застосування у зерно-буряковій сівозміні середньої річної дози фосфору 43-73 кг/га P_2O_5 створювало умови для помітного підвищення вмісту рухомого фосфору у ґрунті. Елементи біологізації в системі удобрення у вигляді внесення мінеральних добрив і побічної продукції забезпечили вищий вміст рухомого фосфору в ґрунті у порівнянні з мінеральною системою удобрення, але поступались за ефективністю традиційній орґано-мінеральній системі удобрення.

За тривалого застосування добрив виявлено підвищення вмісту фосфору в орґанічній та мінеральній фракціях чорнозему типового вилугуваного середньосуглинкового. За мінеральної системи удобрення спостерігали наростання переважно мінерального фосфору, за орґано-мінеральної рівномірний розподіл фосфору у мінеральній та орґанічній фракціях. За мінеральної системи удобрення вміст мінерального фосфору в ґрунті підвищився порівняно з контролем без добрив по завершенню третьої ротації (зерно-просапна сівозміна) на 25,4%, орґанічного – на 2,8%; за поєданого внесення мінеральних добрив і побічної продукції – відповідно на 19,0% та 14,0%; мінеральних добрив і гною – на 23,1% та 15,9%. На кінець четвертої ротації (плодозмінна сівозміна) застосування добрив забезпечило підвищення вмісту мінерального та орґанічного фосфору у ґрунті порівняно з кон-

тролем без добрив – відповідно на 31-39% та 4-19% (табл. 3.22). Інтенсивніше накопичення вмісту мінерального фосфору у ґрунті за мінеральної системи удобрення відмічалось в дослідженнях Н.К. Бороніна [27].

За різних систем удобрення розподіл мінерального фосфору по групам фосфатів помітно відрізнявся. Мінеральна система удобрення інтенсивніше порівняно з контролем без добрив підвищувала групи важкорозчинних фосфатів (III група) та фосфатів нерозчинного залишку у складі мінерального фосфору ґрунту на фоні помірного підвищення фонду рухомого фосфору. Натомість за органо-мінеральної системи удобрення, навпаки, вміст рухомих фосфатів ґрунту підвищувався інтенсивніше.

Отже, за цієї системи удобрення накопичення фосфору у ґрунті відмічалось за рахунок підвищення вмісту фосфатів органічної та рухомих (I і II груп) фосфатів мінеральної фракції, тоді як за мінеральної системи удобрення – накопичення фосфору зосереджувалося у важкорозчинних мінеральних фракціях.

В чорноземі вилугуваному легкосуглинковому (умови достатнього зволоження) вплив добрив за різних систем удобрення на фосфатний режим ґрунту вивчали у ланці зерно-бурякової сівозміни з горохом. Вирощування культур на контролі без добрив зменшувало вміст рухомого фосфору в орному шарі ґрунту по завершенню ланки сівозміни до вихідного на 14, підорному – на 9 мг/кг ґрунту (табл. 3.23).

За застосування зеленої маси гірчиці білої відмічено зменшення вмісту рухомого фосфору в орному і підорному шарах ґрунту по завершенню ланки сівозміни відповідно на 9 та 5 мг/кг ґрунту.

Недостатнім для стабілізації вмісту рухомого фосфору в чорноземі вилугуваному легкосуглинковому виявлено внесення мінеральних добрив у дозах $N_{50}P_{20}K_{30}$ та $N_{66,7}P_{26,7}K_{40}$ на 1 га ланки сівозміни. По її завершенню вміст рухомого фосфору в орному 0-30 см шарі знизився до вихідного відповідно на 6 та 4 мг/кг ґрунту.

Поєднане внесення мінеральних добрив та зеленої маси гірчиці білої ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат на 1 га ланки сівозміни) або внесення 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни стабілізувало вміст рухомого фосфору в чорноземі типовому вилугуваному на вихідному рівні.

Таблиця 3.22 Груповий склад фосфатів в орному (0-30 см) шарі чорнозему вилугуваного після тривалого застосування у польових сівозмінах різних систем удобрення, БЦДСС, 2006-2012 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Валовий, мг/кг	Органічний фосфор		Мінеральний фосфор		Групи мінеральних фосфатів за Чирковим, мг/кг				
			мг/кг	%	мг/кг	%	I	II	III	I+II+III	нерозчинна
Кінець III ротатії, середнє за 2006-2007 рр.											
11	Без добрив (контроль)	1044	516	49,4	528	50,6	16,4	116	203	335	193
2	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆	1192	530	44,5	662	55,5	35,0	177	264	480	186
4	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + побічна продукція	1216	588	48,4	628	51,6	48,2	192	226	466	162
13	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га гною	1248	598	47,9	650	52,1	56,1	195	231	482	168
	НІР ₀₅	44,7	19,8	-	19,6	-	0,5	4,9	6,9	-	6,6
	P, %	2,0	2,1	-	2,0	-	1,7	1,8	1,7	-	1,8
Кінець IV ротатії, середнє за 2011-2012 рр.											
11	Без добрив (контроль)	998	508	50,9	490	49,1	11,6	114	188	314	176
2	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃	1200	526	43,8	674	56,2	35,4	186	273	498	180
4	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	1236	594	48,1	642	51,9	46,2	202	218	466	176
13	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + 8,3 т/га гною	1286	605	47,1	681	52,9	54,8	207	254	516	165
	НІР ₀₅	42,2	20,5	-	21,4	-	0,5	4,7	6,4	-	6,2
	P, %	2,2	2,4	-	1,8	-	1,6	2,0	1,8	-	1,9

Таблиця 3.23 Динаміка рухомого фосфору в чорноземі типовому вилугуваному за різних систем удобрення, УЛДСС, 2006-2010 рр., мг/кг ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га ланки сівозміни	Шар ґрунту, см			
		0-30	30-40	0-30	30-40
		початок ланки, 2006-2008 рр.		завершення ланки, 2008-2010 рр.	
1	Без добрив (контроль)	126	112	112	103
3	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	132	108	126	104
15	N _{73,3} P ₂₀ K ₃₀	130	107	123	103
18	N ₅₀ P ₃₀ K ₃₀	130	111	126	123
20	N ₅₀ P ₂₀ K _{43,3}	126	107	120	116
4	N _{66,7} P _{26,7} K ₄₀	124	107	120	106
5	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га гною	127	110	144	114
6	13,3 т/га гною	130	109	127	106
10	Сидерат (гірчиця біла)	131	113	122	108
11	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	124	108	122	103
12	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + побічна продукція	126	106	140	109
	НІР ₀₅	4,4	3,9	3,7	3,8
	P, %	1,9	1,8	2,1	1,7

Підвищення вмісту рухомого фосфору в орному та підорному шарах ґрунту по завершенню ланки сівозміни досягалось за поєданого внесення мінеральних добрив і гною (N₅₀P₂₀K₃₀ + 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни) та мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої і побічної продукції (N₅₀P₂₀K₃₀ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни). Так, за традиційної органо-мінеральної системи удобрення вміст рухомого фосфору в орному шарі ґрунту підвищився порівняно з вихідним вмістом на 13,4%, у підорному шарі – на 3,6%; за поєданого внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції – відповідно на 11,1% та 2,8%.

Вивчення процесів трансформації фосфору у ґрунті показало, що на контролі без добрив вміст валового фосфору по завершенню ланки сівозміни становив в орному шарі 1160 мг/кг ґрунту, в т.ч. органічного – 52,7%, мінерального – 47,3% (табл. 3.24).

Таблиця 3.24 Групувний склад фосфатів в орному (0-30 см) шарі чорнозему типового вилугуваного по завершенню ланки сівозміни за різних систем удобрення, УЛДСС, 2008-2010 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміної площі	Валовий, мг/кг	Органічний фосфор		Мінеральний фосфор		Групи мінеральних фосфатів за Чириковим, мг/кг				
			мг/кг	%	мг/кг	%	I	II	III	I+II+III	нерозчинна
1	Без добрив (контроль)	1160	611	52,7	549	47,3	10,4	101	231	342	207
3	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	1174	611	52,0	563	48,0	14,0	112	234	360	203
5	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га гною	1202	620	51,6	582	48,4	26,1	118	250	394	188
6	13,3 т/га гною	1188	619	52,1	569	47,9	14,6	112	246	373	196
10	Сидерат (гірчичя біла)	1169	610	52,2	559	47,8	13,6	108	247	369	190
11	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	1183	618	52,2	565	47,8	14,2	108	247	369	196
12	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + побічна продукція	1190	622	52,3	568	47,7	20,8	115	247	383	185
	НПР ₀₅	32,6	19,8	-	18,8	-	0,4	4,3	7,2	-	6,4
	P, %	2,0	1,9	-	1,8	-	1,8	2,0	2,1	-	1,9

Застосування комплексу агрохімічних заходів, які передбачали внесення мінеральних добрив ($N_{50}P_{20}K_{30}$ та $N_{66,7}P_{26,7}K_{40}$ на 1 га ланки сівозмینی), 13,3 т гною на 1 га ланки сівозмینی, застосування на добриво зеленої маси гірчиці білої чи поєднання її з мінеральними добривами ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат на 1 га ланки сівозмینی) забезпечило лише тенденцію до підвищення вмісту валового фосфору в орному 0-30 см шарі ґрунту по завершенню ланки сівозмینی до контролю без добрив – на 9-28 мг/кг ґрунту. Низька ефективність добрив за зазначених систем удобрення у підвищенні вмісту валового фосфору ґрунту пояснюється низькими дозами внесення фосфору у складі добрив – 10-33 кг P_2O_5 /га за рік.

Найпомітнішу тенденцію до зростання вмісту валового фосфору у ґрунті визначено за поєданого внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої і побічної продукції рослинництва ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозмینی). Щорічне внесення у фосфору в дозі 40 кг P_2O_5 /га забезпечило підвищення його вмісту до контролю без добрив на 30 мг/кг ґрунту.

Вміст валового фосфору в чорноземі типовому вилугуваному помітно підвищувався за поєданого внесення мінеральних добрив і гною ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + 13,3 т гною на 1 га ланки сівозмینی) – на 42 мг/кг ґрунту, внаслідок щорічного внесення фосфору у дозі 53 кг P_2O_5 /га.

Застосування мінеральних добрив ($N_{50}P_{20}K_{30}$ на 1 га ланки сівозмینی) впродовж ланки сівозмینی забезпечувало підвищення фонду мінеральних фосфатів у ґрунті порівняно з контролем без внесення добрив на 14 мг/кг ґрунту, тоді як вміст органічного фосфору не змінювався. За дози $N_{66,7}P_{26,7}K_{40}$ на 1 га ланки сівозмینی сумарний вміст групи мінеральних фосфатів ґрунту підвищився до контролю без добрив на 29 мг/кг ґрунту, що підкреслює важливість застосування мінеральних добрив у формуванні мінерального фонду фосфору ґрунту.

За органічної (13,3 т гною на 1 га ланки сівозмینی) та органо-мінеральної систем удобрення ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + 13,3 т гною; $N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозмینی) фонд мінеральних фосфатів ґрунту підвищувався у межах 19-32 мг/кг ґрунту. При цьому за зазначених систем удобрення збільшувався вміст усіх груп фосфатів у складі мінерального фосфору ґрунту, а величина зростання залежала від дози внесення фосфору у складі добрив.

Вміст органічного фосфору ґрунту менше залежав від систем удобрення і по завершенню ланки сівозмینی майже вирівнювався.

Отже, у ланці зерно-бурякової сівозмینی з горохом найсприятливіші умови фосфатного режиму чорнозему типового вилугуваного

формувались за традиційної орґано-мінеральної системи удо́брення та системи з елементами біологізації – поєднаного внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої і побічної продукції, за щорічного внесення фосфору у дозі 40-53 кг/га. Вміст рухомого фосфору в орґному шарі ґрунту по завершенню ланки сівозміни тут підвищився порівняно з вихідним на 11,1-13,4%, у підорному – на 2,8-3,6%.

3.2.3 Динаміка калійного фонду ґрунту

Калій в житті рослин відіграє важливу фізіологічну роль. Він впливає на ферментативну діяльність, сприяє створенню цитоплазматичних структур, активує синтез простих та складних вуглеводнів, вітамінів, тощо [223, 224, 235].

У ґрунті калій представлено виключно мінеральними формами. Його валовий вміст в чорноземах становить 2,0-2,5% від їх маси, що в 5-50 разів більше, ніж азоту, і у 8-40 разів більше, ніж фосфору. Незважаючи на досить високі запаси, лише 0,5-1,2% калію ґрунту від його валового вмісту знаходиться у засвоюваній для рослин формі (водорозчинний та, переважно, обмінний калій) [204].

На думку Л.І. Мартинович, Н.Н. Мартиновича [195], Б.С. Носка, В.І. Бабиніна [222], І.І. Філон, І.А. Шеларь [307], Л.А. Яценка [375] рівень забезпечення ґрунту рухомим калієм відіграє важливу роль в мінеральному живленні рослин, впливає на інтенсивність поглинання з ґрунту сполук азоту та фосфору, визначає характер та інтенсивність протікання в рослинах основних фізіологічних процесів. Формування фонду рухомого калію у ґрунті є важливим аспектом на шляху подальшого підвищення продуктивності культур та їх сталого вирощування у тривалій перспективі [109].

Забезпеченість ґрунту рухомим калієм залежить від ряду чинників, серед яких найважливішими є дози застосування мінеральних та органічних добрив, дотримання позитивного балансу калію в системі добриво-ґрунт-рослина, фізико-хімічні властивості ґрунту, структура сівозміни та ін. [61, 77, 369].

Застосування низьких доз калійних добрив на фоні високого виносу веде до зменшення запасів рухомого калію у ґрунті [77]. Натомість систематичне застосування високих доз органічних та мінеральних добрив забезпечувало підвищення, як водо розчинного, так і обмінного калію в орґному шарі ґрунту [334]. За даними В.М. Якименка [369] підвищення вмісту калію у чорноземі типовому вилугуваному мало місце,

коли доза внесення калію перевищувала 75% його виносу рослинами.

На думку більшості вчених найефективнішим у формуванні фонду рухомого калію ґрунту є застосування органо-мінеральної системи удобрення [61, 77, 195, 328]. Поєднане внесення органічних та мінеральних добрив уповільнює перехід калію в ґрунтовий розчин, робить цей процес рівномірнішим у часі, що, в свою чергу, зменшує необмінну фіксацію та вимивання калію за межі ґрунтового профілю [195].

У сучасному землеробстві, коли дедалі більше застосовують побічну продукцію рослинництва, питання щодо її впливу на калійний режим ґрунтів залишається недостатньо вивченим. На думку А.С. Заришняка, В.В. Іваніни, Т.В. Колібабчук [100] нетоварна частина врожаю виносить значну кількість калію, а тому застосування її на добриво істотно впливає на калійний режим ґрунту.

Дослідження на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому показали, що динаміка рухомого калію у ґрунті була неоднозначною впродовж ротацій зерно-буракової сівозміни. На контролі без добрив вміст рухомого калію в орному (0-30 см) шарі впродовж першої ротації зменшився на 8,4, другої – підвищувався на 6,5 мг/кг ґрунту із збереженням тенденції у підорному (30-40 см) шарі. Очевидно, стабільність фонду рухомого калію верхніх шарів чорнозему опідзоленого підтримувалась за рахунок високих валових запасів цього елемента, механізмів постійної трансформації його з важкодоступних в рухомі форми та використання калію з нижніх шарів ґрунту (табл. 3.25).

Стабілізацію фонду рухомого калію в чорноземі опідзоленому важкосуглинковому впродовж п'яти ротацій зерно-буракової сівозміни визначено у дослідженнях Л.І. Мартинович, Н.Н. Мартинович [195].

В дослідженнях ряду інших вчених [96, 222, 334] відмічалось, що чорноземи за тривалого їх використання зберігають сталість вмісту рухомого калію у верхніх шарах ґрунту без внесення добрив, що обумовлено високими валовими його запасами та здатністю ґрунтів підтримувати динамічну рівновагу між його формами.

За мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозміної площі) впродовж двох ротацій зерно-буракової сівозміни вміст рухомого калію в орному шарі ґрунту підвищився порівняно з вихідним на 11,7%, підорному – на 11,5%. Збільшення дози калію у складі мінеральних добрив в 1,5 рази забезпечило подальше його підвищення в орному шарі на 21,9%, в підорному – на 17,7% порівняно з вихідним вмістом.

Таблиця 3.25 Динаміка рухомого калію в чорноземі опідзоленому за тривалого застосування різних систем удобрення, ВДСС, 1988-2009 рр., мг/кг ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Шар ґрунту, см							
		0-30		30-40		0-30		30-40	
		початок ротації, 1988-1989 рр.		кінець I ротації, 1998-1999 рр.		кінець Протації, 2008-2009 рр.			
1	Без добрив (контроль)	98,2	74,6	89,8	71,5	96,3	73,2		
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	99,4	78,2	108	84,9	111	87,3		
23	N ₇₅ P _{42,5} K ₅₀	98,8	74,0	108	80,1	111	82,3		
19	N ₅₀ P _{63,7} K ₅₀	98,4	75,1	107	81,3	110	83,5		
25	N ₅₀ P _{42,5} K ₇₅	98,5	74,7	113	83,5	120	87,9		
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	98,7	72,8	117	86,1	126	91,7		
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	102	74,6	120	91,4	129	95,8		
12	12 т/га гною + побічна продукція	97,3	76,7	118	92,6	129	97,0		
	НІР ₀₅	4,2	3,8	4,5	3,9	4,4	4,1		
	P, %	2,6	2,2	2,4	2,1	1,9	2,0		

За органо-мінеральної системи удобрення визначено більші темпи підвищення вмісту рухомого калію у ґрунті порівняно з мінеральною системою удобрення. Поєднане внесення мінеральних добрив і гною (N₅₀P_{42,5}K₅₀ + 12 т гною на 1 га сівозмінної площі) підвищило вміст рухомого калію в орному шарі ґрунту на кінець другої ротації до вихідного на 26,5%, мінеральних добрив і побічної продукції (N₅₀P_{42,5}K₅₀ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) – на 27,7%; у підорному шарі – відповідно на 28,4% та 26,0%. При цьому введення елементів біологізації в системи удобрення – побічної продукції, було ідентично традиційній органо-мінеральній системі удобрення.

Досить ефективним у підвищенні фонду рухомого калію в ґрунті визначено внесення органічних добрив (побічна продукція + 12 т гною на 1 га сівозмінної площі). Поєднане внесення гною і побічної продукції підвищило вміст рухомого калію в орному шарі ґрунту на кінець другої ротації порівняно з вихідним на 32,6%, у підорному – на 26,5%.

Отже, за органо-мінеральної системи удобрення впродовж тривалого ведення дослідів виявлено істотніше підвищувався вміст рухомого калію в ґрунті порівняно з мінеральною системою удобрення. По завершенню другої ротації зерно-бурякової сівозміни за мінеральної

системи удобрення вміст рухомого калію збільшився в орному шарі порівняно з контролем без добрив в 1,15 рази, за органо-мінеральної – 1,34, за внесення мінеральних добрив і побічної продукції – 1,31, гною і побічної продукції – 1,34; підорному шарі – відповідно в 1,19, 1,31, 1,25 та 1,33 рази.

Важливу роль у підтриманні високого рівня забезпечення рослин калієм відіграють процеси трансформації калію у ґрунті [222]. Вивчення форм калію в орному (0-30 см) шарі ґрунту по завершенню другої ротації зерно-буракової сівозміни показало, що у варіанті без добрив сумарний вміст калію в рухомій та необмінній формах становив 829 мг/кг ґрунту, в т.ч. водорозчинний – 1,1%, обмінний – 19,7%, необмінний – 79,2% (табл. 3.26).

Таблиця 3.26 **Форми калію в орному шарі чорнозему опідзоленого за тривалого (20 років) застосування різних систем удобрення, ВДСС, 2008-2009 рр., мг/кг ґрунту**

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Форми калію			
		водорозчинний	обмінний	необмінний	сума
1	Без добрив (контроль)	9,2	163	657	829
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	11,4	177	673	861
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	13,3	190	725	928
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	14,0	195	738	947
12	12 т/га гною + побічна продукція	13,8	197	753	964
	НІР ₀₅	0,4	6,4	20,8	-
	P, %	1,8	2,2	2,7	-

За мінеральної системи удобрення (N₅₀P_{42,5}K₅₀ на 1 га сівозмінної площі) вміст суми фракцій калію порівняно з контролем без добрив підвищився на 32 мг/кг ґрунту, або на 3,9%. Це визначено в усіх фракціях і воно було рівномірним за рухомою та необмінною його формами: водорозчинного – на 1,2, обмінного – на 14, необмінного – на 16 мг/кг ґрунту. Це є свідченням того, що застосування мінеральних добрив веде до створення стійкої рівноваги процесів обміну калію між рухомою та необмінною його формами у ґрунті.

За органо-мінеральної системи удобрення вміст суми фракцій калію у ґрунті до контролю без добрив підвищився на 99-118 мг/кг

грунту, або на 11,9-14,2%. При цьому калій швидше накопичувався у необмінній формі. Темпи його зростання визначено у 2,5 рази вищими, ніж рухомого. За поєданого внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) вміст водорозчинного калію порівняно з контролем підвищився на 4,1 мг/кг ґрунту, обмінного – на 27, необмінного – на 68; мінеральних добрив і гною ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + 12 т гною на 1 га сівозмінної площі) – відповідно на 4,8, 32 та 81 мг/кг ґрунту.

Вміст суми фракцій калію у ґрунті визначено найвищим за органічної системи удобрення (побічна продукція + 12 т гною на 1 га сівозмінної площі) – 964 мг/кг ґрунту, або на 16,3% більше, ніж на контролі без добрив. Поєдане внесення гною і побічної продукції сприяло накопиченню калію переважно в необмінній формі – 753 мг/кг ґрунту, або 78,1% від суми фракцій.

Отже, за різних систем удобрення впродовж двох ротацій зернобурякової сівозміни вміст рухомого калію в орному шарі чорнозему опідзоленого підвищився за мінеральної системи удобрення на 11,7%, поєданого застосування мінеральних добрив і гною – на 26,5%, мінеральних добрив і побічної продукції – на 27,7%, гною і побічної продукції – на 32,6%; у підорному шарі – відповідно на 11,5%, 28,4%, 26,0% та 26,5%.

За мінеральної системи удобрення відбулося рівномірне накопичення калію в усіх його фракціях; за органо-мінеральної – переважало накопичення калію в необмінній фракції.

Математичні моделі прогнозування вмісту рухомого калію в чорноземі опідзоленому важкосуглинковому з використанням методу регресійного аналізу дозволили спрогнозувати забезпечення ґрунту рухомих калієм на період до 2050 року. За мінеральної системи удобрення його вміст в орному (0-30 см) шарі ґрунту впродовж наступних 40 років збільшиться на 22,6%, поєданого внесення мінеральних добрив і гною – на 44,2%, мінеральних добрив і побічної продукції – на 46,1%, гною і побічної продукції – на 52,0% (табл. 3.27).

В чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому динаміку рухомого калію та процеси його трансформації у ґрунті вивчали в сівозмінах різної структури: третя ротація – зерно-просапна (просапними 40%, бобовими 10%), четверта – плодозмінна (просапних 16,7%, бобових 33%).

Таблиця 3.27 Прогноз вмісту рухомого калію в чорноземі опідзоленому за різних систем удобрення, мг/кг ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Рівняння регресії	Прогноз, рік			
			2020	2030	2040	2050
1	Без добрив (контроль)	$y = -0,095x + 95,717$	92,8	91,8	90,9	89,9
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	$y = 0,58x + 100,33$	118	124	130	136
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	$y = 1,365x + 100,25$	143	156	170	184
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	$y = 1,35x + 103,5$	145	159	172	186
12	12 т/га гною + побічна продукція	$y = 1,585x + 98,917$	148	164	180	196

Примітка. x – число років від початку досліджень (1989 р.); y – вміст рухомого калію, мг/кг ґрунту

Структура сівозміни не мала помітного впливу на динаміку вмісту рухомого калію в чорноземі типовому вилугуваному. В обох сівозмінах за вирощування культур без внесення добрив відмічалась лише тенденція до зменшення вмісту рухомого калію в орному шарі – на 2,4-2,8, в підорному – на 2,1-2,2 мг/кг ґрунту. Вміст рухомого калію при цьому залишався достатньо стабільним впродовж обох ротацій сівозміни (табл. 3.28).

Таблиця 3.28 Динаміка рухомого калію в чорноземі типовому вилугуваному залежно від систем удобрення та структури сівозміни, БЦДСС, 1996-2012 рр., мг/кг ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Шар ґрунту, см							
		0-30		30-40		0-30		30-40	
		початок III ротації, 1996-1997 рр.		кінець III ротації, 2006-2007 рр.		кінець IV ротації, 2011-2012 рр.			
11	Без добрив (контроль)	63,2	57,1	60,8	55,0	58,0	52,8		
2	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆	74,8	61,6	79,5	63,8	80,9	62,7		
4	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + ПП	86,0	67,4	95,2	73,1	98,7	75,9		
13	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га гною	89,6	66,9	97,0	70,8	101	75,2		
НР ₀₅		2,8	2,6	2,9	2,7	2,8	2,6		
Р, %		2,2	2,0	2,7	2,3	2,6	2,0		

Примітка. Дозу внесення мінеральних добрив у IV ротації зменшено до N₄₃P₄₃K₄₃, гною – до 8,3 т на 1 га сівозмінної площі.

Застосування мінеральних добрив у зерно-просапній сівозміні ($N_{50}P_{66}K_{66}$ на 1 га сівозмінної площі) підвищило вміст рухомого калію на кінець ротації до вихідного в орному шарі на 4,7, в підорному – на 2,2 мг/кг ґрунту. Зменшення доз мінеральних добрив у 1,5 рази в плодозмінній сівозміні ($N_{43}P_{43}K_{43}$ на 1 га сівозмінної площі) мало менший вплив на вміст калію у ґрунті, забезпечивши лише стабільність його вмісту на вихідному рівні.

На калійний режим ґрунту позитивний вплив мало застосування добрив за органо-мінеральної системи. Поєднане застосування мінеральних добрив і гною у зерно-просапній сівозміні ($N_{50}P_{66}K_{66}$ + 9 т гною на 1 га сівозмінної площі) збільшило вміст рухомого калію на кінець ротації до вихідного в орному шарі на 7,4 мг/кг ґрунту, в підорному – на 3,9; у плодозмінній сівозміні ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + 8,3 т гною на 1 га сівозмінної площі) – відповідно на 4,0 та 4,4 мг/кг ґрунту.

Введення елементів біологізації в системи удобрення, зокрема, побічної продукції за ефективністю впливу на калійний режим ґрунту не поступалось внесенню гною. Поєднане внесення мінеральних добрив і побічної продукції у зерно-просапній сівозміні ($N_{50}P_{66}K_{66}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) підвищило вміст рухомого калію на кінець ротації до вихідного рівня в орному шарі – на 9,2 мг/кг ґрунту, підорному – на 5,7; у плодозмінній сівозміні ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) – відповідно на 3,5 та 2,8 мг/кг ґрунту.

За органо-мінеральної системи удобрення визначено помітне підвищення вмісту рухомого калію у ґрунті порівняно з мінеральною системою удобрення. Так, на кінець четвертої ротації за внесення мінеральних добрив і гною вміст рухомого калію підвищився в орному шарі ґрунту порівняно з мінеральною системою удобрення на 24,9%, підорному – на 19,9%; мінеральних добрив і побічної продукції – відповідно на 22,0% та 21,1%.

Отже, формування фонду рухомого калію в чорноземі вилугуваному середньосуглинковому більше залежало від системи удобрення, ніж від структури сівозміни, що особливо проявлялось за органо-мінеральної системи удобрення. Внесення мінеральних добрив і побічної продукції за впливом на фонд рухомого калію ґрунту не поступалось за ефективністю традиційній органо-мінеральній системі удобрення.

За тривалого застосування добрив мінявся груповий склад калію у ґрунті. Сумарний вміст калію в рухомій та необмінній формах на

контролі без добрив становив 652 мг/кг ґрунту, в т.ч. водорозчинний – 1,8%, обмінний – 16,6%, необмінний – 81,6% (табл. 3.29).

Таблиця 3.29 Форми калію в орному (0-30 см) шарі чорнозему типового вилугуваного після тривалого застосування різних систем удобрення, БЦДСС, 2006-2012 рр., мг/кг ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Форми калію			
		водорозчинний	обмінний	необмінний	сума
Кінець III ротації, 2006-2007 рр.					
11	Без добрив (контроль)	11,7	108	532	652
2	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆	11,9	123	546	681
4	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + ПП	12,7	158	584	755
13	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га гною	12,5	163	591	767
	НІР ₀₅	0,4	4,9	20,2	-
	Р, %	2,1	2,2	2,0	-
Кінець IV ротації, 2011-2012 рр.					
11	Без добрив (контроль)	9,5	107	494	611
2	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃	12,4	124	501	637
4	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + ПП	13,1	163	564	740
13	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + 8,3 т/га гною	13,2	168	567	748
	НІР ₀₅	0,3	5,1	17,6	-
	Р, %	2,6	1,9	2,1	-

Внесення у зерно-просапній сівозміні мінеральних добрив (N₅₀P₆₆K₆₆ на 1 га сівозмінної площі) збільшило вміст суми груп калію порівняно з контролем без добрив на 29 мг/кг ґрунту (4,5%), мінеральних добрив і побічної продукції (N₅₀P₆₆K₆₆ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) – на 101 мг/кг ґрунту (15,5%), мінеральних добрив і гною (N₅₀P₆₆K₆₆ + 9 т гною на 1 га сівозмінної площі) – на 111 мг/кг ґрунту (17,0%).

За досліджуваних систем удобрення виявлено рівномірне підвищення вмісту калію в обмінній та необмінній формах. По завершенню ротації зерно-просапної сівозміни за мінеральної системи удобрення вміст обмінного калію в орному шарі ґрунту підвищився порівняно з контролем без добрив на 15 мг/кг ґрунту, необмінного – на 14; за внесення мінеральних добрив і побічної продукції – відповідно на

50 та 52; мінеральних добрив і гною – на 55 та 59 мг/кг ґрунту.

У плодозмінній сівозміні (четверта ротація), за зниження дози мінеральних добрив на 35%, вміст суми груп калію в ґрунті порівняно з плодозмінною сівозміною знизився на 15-43 мг/кг ґрунту. Це відбулось переважно за рахунок необмінної форми. За мінеральної системи удобрення зменшення вмісту не обмінного калію у ґрунті становило – 8,2%, за внесення мінеральних добрив і побічної продукції – 3,4%, мінеральних добрив і гною – 4,1%. Це дає підстави стверджувати, що система удобрення у плодозмінній сівозміні була незбалансованою за дозами внесення калійних добрив, внаслідок чого рослини інтенсивніше використовували калій необмінної форми.

За органо-мінеральної системи удобрення визначено вищий вміст суми груп калію у ґрунті порівняно з мінеральною системою удобрення. На кінець четвертої ротації внесення мінеральних добрив і гною підвищило вміст суми груп калію в орному шарі ґрунту порівняно з мінеральною системою удобрення на 17,5%, мінеральних добрив і побічної продукції – на 16,2%. За введення елементів біологізації калійний режим чорнозему типового вилугуваного не поступався внесенню гною.

Отже, за органо-мінеральної системи удобрення в обох сівозмінах вміст обмінної та необмінної форм калію у ґрунті збільшився порівняно з мінеральною системою удобрення відповідно на 0,35-0,44 та 0,38-0,66 мг/кг ґрунту, що сприяло стабілізації калійного фонду чорнозему вилугуваного середньосуглинкового.

В чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому (умови достатнього зволоження) за різних систем удобрення калійний фонд ґрунту вивчали у ланці зерно-бурякової сівозміни з горохом. На її початку ґрунт відзначався середнім рівнем забезпечення рухомим калієм: в орному (0-30 см) шарі – 75,0-76,8, підорному (30-40 см) – 63,1-65,2 мг/кг ґрунту (табл. 3.30).

Упродовж ланки сівозміни без внесення добрив виявлено тенденцію зниження вмісту рухомого калію в орному шарі на 2,8, в підорному – на 1,8 мг/кг ґрунту.

Мінеральна система удобрення за внесення оптимальної ($N_{50}P_{20}K_{30}$ на 1 га ланки сівозміни) та підвищеної ($N_{66,7}P_{26,7}K_{40}$ на 1 га ланки сівозміни) доз добрив, як і застосування зеленої маси гірчиці та оптимальної дози мінеральних добрив, не забезпечили стабільність фонду рухомого калію в чорноземі типовому вилугуваному. В зазначених варіантах впродовж ланки сівозміни відмічали зниження

вмісту рухомого калію в орному шарі в межах 1,2-2,6, в підорному – 0,6-2,1 мг/кг ґрунту.

Таблиця 3.30. Динаміка рухомого калію в чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому за різних систем удобрення, УЛДСС, 2006-2010 рр., мг/кг ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га ланки сівозміни	Шар ґрунту, см			
		0-30	30-40	0-30	30-40
		початок ланки, 2006-2008 рр.		завершення ланки, 2008-2010 рр.	
1	Без добрив (контроль)	75,6	63,4	72,8	61,6
3	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	75,0	64,6	73,4	64,0
15	N _{73,3} P ₂₀ K ₃₀	75,5	63,4	73,7	62,3
18	N ₅₀ P ₃₀ K ₃₀	76,0	64,1	74,3	63,5
20	N ₅₀ P ₂₀ K _{43,3}	75,5	63,9	75,8	64,3
4	N _{66,7} P _{26,7} K ₄₀	76,8	63,7	74,7	62,6
5	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га гною	75,4	65,2	81,2	69,6
6	13,3 т/га гною	75,0	64,2	76,7	64,8
10	Сидерат (гірчиця біла)	76,2	63,8	73,6	61,7
11	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	75,8	64,0	74,6	63,1
12	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + побічна продукція	75,4	63,1	80,4	64,4
	НІР ₀₅	3,3	2,9	3,1	2,9
	P, %	2,7	2,2	2,1	2,5

Стабілізації фонду рухомого калію в чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому по завершенню ланки сівозміни досягнуто за внесення 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни. Внесення органічних добрив незначно підвищило вміст рухомого калію в орному шарі ґрунту до початкового на 1,7, в підорному – на 0,6 мг/кг ґрунту.

Перспективними системами удобрення, що забезпечили підвищення вмісту рухомого калію у верхніх шарах чорнозему типового вилугуваного по завершенню ланки сівозміни, визначено внесення мінеральних добрив і гною (N₅₀P₂₀K₃₀ + 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни) та мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої і побічної продукції (N₅₀P₂₀K₃₀ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни). Вміст рухомого калію в орному шарі ґрунту за внесення мінеральних добрив і гною підвищився порівняно з

вихідним на 7,7%, в підорному – на 6,8%; мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої і побічної продукції – відповідно на 6,6% та 2,1%.

На кінець ланки сівозміни за традиційної органо-мінеральної системи удобрення вміст рухомого калію в орному шарі становив 81,2 мг/кг ґрунту, в підорному – 69,6; за внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої і побічної продукції – відповідно 80,4 та 64,4 мг/кг ґрунту.

Вивчення процесів трансформації калію у ґрунті показало, що на контролі без добрив по завершенню ланки сівозміни сумарний вміст рухомого та необмінного калію становив 728 мг/кг ґрунту, в т.ч. водорозчинного – 1,8%, обмінного – 16,4%, необмінного – 81,8% (табл. 3.31).

Таблиця 3.31. Форми калію в орному (0-30 см) шарі чорнозему типового вилугуваного за різних систем удобрення, УЛДСС, 2008-2010 рр., мг/кг ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га ланки сівозміни	Форми калію			
		водорозчинний	обмінний	необмінний	сума
1	Без добрив (контроль)	12,8	119	596	728
3	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	13,2	121	597	731
5	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га гною	14,0	130	613	757
6	13,3 т/га гною	13,5	125	605	744
10	Сидерат (гірчиця біла)	13,0	120	598	731
11	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	13,3	122	601	736
12	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + побічна продукція	13,7	128	611	753
	НІР ₀₅	0,5	5,4	17,7	-
	P, %	2,4	2,8	2,3	-

Мінеральна система удобрення, внесення зеленої маси гірчиці білої та гірчиці білої разом з мінеральними добривами практично не впливали на вміст суми груп калію в чорноземі типовому вилугуваному. По завершенню ланки сівозміни вміст суми груп калію в орному шарі ґрунту становив в зазначених варіантах 731-736, що порівняно з контролем без добрив було більшим на 3-8 мг/кг ґрунту. При цьому співвідношення між формами калію у ґрунті відповідало контролю.

Підвищення суми груп калію у ґрунті на кінець ланки сівозміни виявлено за органо-мінеральної системи удобрення. За внесення мінеральних добрив і гною ($N_{50}P_{20}K_{30} + 13,3$ т гною на 1 га ланки сівозміни) сума груп калію до контролю без добрив збільшилась на 29, мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої і побічної продукції ($N_{50}P_{20}K_{30} +$ сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни) – на 25 мг/кг ґрунту. Підвищення вмісту калію до контролю без добрив спостерігали по усіх формах калію ґрунту: водорозчинного – на 7,0-9,4%, обмінного – на 7,6-9,2%, необмінного – на 2,5-2,9%.

Отже, в умовах достатнього зволоження внесення мінеральних добрив і гною та мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої і побічної продукції забезпечили найвищу стабільність калійного фонду чорнозему типового вилугуваного легкосуглинкового, обумовивши підвищення вмісту усіх форм калію ґрунту.

3.2.4 Фізико-хімічні властивості чорноземних ґрунтів

За даними досліджень Г.М. Господаренка [61], Е.Г. Дегодюка, В.Л. Гаврилова, Г.М. Кривоносової [78], Г.А. Мазура [187], Б.С. Носка [226] тривале застосування мінеральних добрив визначає зміни в системі ґрунтових рівноваг, порушує баланс катіонного обміну, посилює вилугування іонів кальцію та магнію, погіршує фізико-хімічні та агрофізичні властивості ґрунту, призводить до трансформації ґрунтових режимів та властивостей.

Внесення на чорноземі типовому мінеральних добрив в дозі 100 кг/га зменшувало показник рН_{сол.} на 0,03-0,04 одиниці і підвищувало гідролітичну кислотність на 0,09 мг-екв./100 г ґрунту [226].

Дослідження Г.Я. Чесняка, М.І. Полупана [347] свідчать, що на чорноземі типовому глибокому упродовж 20 років під чорним паром ємність поглинання в орному шарі знизилася від 47 до 39 мг-екв на 100 г ґрунту, або ж на 20,6%. При цьому помітно знизився вміст обмінних катіонів, особливо кальцію, втрати якого з шару 0-35 см становили 215 кг/га.

Пом'якшення негативного впливу мінеральних добрив на фізико-хімічні властивості ґрунту, на думку М.М. Єрмолаєва, Л.І. Шиліної, Д.В. Літвінова [93], В.Ф. Сайка [262], можна досягти за органо-мінеральної системи удобрення.

Позитивний вплив органічних добрив на фізико-хімічні властивості ґрунту відмічено в дослідженнях Б.С. Носка, В.В.

Медведєва, О.П. Непочатова, В.І. Скорохода [231].

В умовах сучасного землеробства особливої уваги заслуговують питання впливу заходів біологізації системи удобрення шляхом застосування на добриво побічної продукції рослинництва та поживних сидеральних культур на фізико-хімічні властивості чорноземних ґрунтів.

Дослідження проведені на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому показали, що тривале, упродовж 20 років, внесення мінеральних добрив в зерно-бураковій сівозміні помітно вплинуло на фізико-хімічні властивості ґрунту: гідролітична кислотність підвищилась до вихідного на 0,12-1,22 мг-екв./100 г ґрунту, показник рН_{сол.} знизився – на 0,1-0,8, сума увібраних основ у складі ґрунтово-вбирного комплексу знизилась – на 0,2-1,8 мг-екв./100 г ґрунту (табл. 3.32).

Характер та інтенсивність змін, що відбулись у ґрунті залежали від навантаження мінеральними добривами та від співвідношення елементів живлення у їх складі. Підвищення реакції ґрунтового розчину в чорноземі опідзоленому спричиняло внесення азотних добрив, а ступінь їх впливу на ґрунт залежала від норми азоту у складі повного мінерального добрива. Так, за рекомендованої дози внесення мінеральних добрив (N₅₀P_{42,5}K₅₀ на 1 га сівозмінної площі) підвищення гідролітичної кислотності на кінець другої ротації сівозміни до вихідного рівня становило в орному шарі 0,95, підорному – 0,96; за внесення N₇₅P_{42,5}K₅₀ на 1 га сівозмінної площі – відповідно 1,22 та 1,14 мг-екв./100 г ґрунту. Зі збільшенням дози азоту у складі мінеральних добрив у 1,5 рази виявлено підвищення гідролітичної кислотності до рекомендованої дози добрив в орному шарі на 38,7%, в підорному – на 18,8%.

Застосування мінеральних добрив у дозі N₅₀P_{42,5}K₅₀ на 1 га сівозмінної площі зменшило суму увібраних основ по завершенню другої ротації до вихідного в орному шарі на 1,1, в підорному – на 1,4; за дози N₇₅P_{42,5}K₅₀ на 1 га сівозмінної площі – відповідно на 1,3 та 1,8 мг-екв./100 г ґрунту. Ступінь насичення ґрунту основами в зазначених варіантах впродовж двох ротацій сівозміни зменшилась відповідно на 2,8-3,1% та 3,8-3,9%. Підвищення кислотності ґрунту може спричиняти фізіологічно-кисла природна азотних добрив, що за тривалого їх застосування призводить до витіснення з ґрунтово-вбирного комплексу та вимивання за межі 0-40 см шару катіонів кальцію та магнію.

Таблиця 3.32 Фізико-хімічні властивості чорнозему опідзоленого в польовому досліді за різних систем удобрення, ВДСС, 1988-2009 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Шар ґрунту, см	рНсол.				Nг, мг-екв./100 г ґрунту				S, мг-екв./100 г ґрунту				V, %			
			вихідний рівень		ротація		вихідний рівень		ротація		вихідний рівень		ротація		вихідний рівень		ротація	
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	Без добрив (контроль)	0-30	6,1	5,9	5,7	2,46	2,61	2,98	29,3	28,8	28,5	92,4	91,7	90,6				
		30-40	5,9	5,8	5,7	2,74	2,98	3,27	28,7	28,3	27,8	91,3	90,5	89,5				
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	0-30	6,3	5,8	5,5	2,23	2,69	3,18	30,1	29,7	29,0	93,1	91,7	90,3				
		30-40	6,0	5,6	5,4	2,57	3,01	3,53	29,6	29,0	28,2	92,0	90,6	88,9				
23	N ₇₅ P _{42,5} K ₅₀	0-30	6,2	5,7	5,4	2,38	2,94	3,60	29,6	29,0	28,3	92,6	90,8	88,7				
		30-40	5,8	5,7	5,2	2,62	3,06	3,76	29,0	28,4	27,2	91,7	90,3	87,9				
19	N ₅₀ P _{63,7} K ₅₀	0-30	6,3	5,9	5,8	2,30	2,68	3,22	29,1	28,6	28,2	92,7	91,4	89,8				
		30-40	6,0	5,8	5,6	2,62	2,91	3,40	28,7	28,2	27,7	91,6	90,7	89,1				
25	N ₅₀ P _{42,5} K ₇₅	0-30	6,2	6,0	5,5	2,27	2,60	3,12	28,6	28,0	27,6	92,7	91,5	89,8				
		30-40	6,0	5,9	5,5	2,54	2,82	3,38	28,3	27,6	27,0	91,8	90,7	88,9				
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна прод.	0-30	6,0	5,7	5,5	2,32	2,73	3,21	28,9	28,6	28,1	92,6	91,3	89,8				
		30-40	5,8	5,7	5,6	2,66	3,02	3,54	28,4	28,0	27,4	91,4	90,3	88,6				
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	0-30	6,1	6,0	5,7	2,36	2,51	2,92	29,5	29,0	28,6	92,6	92,1	90,8				
		30-40	5,9	5,8	5,6	2,50	2,82	3,14	28,9	28,5	27,9	92,0	91,0	89,9				
12	12 т/га гною + побічна прод.	0-30	6,2	6,1	6,0	2,24	2,30	2,41	30,1	29,7	29,5	93,1	92,9	92,5				
		30-40	6,0	6,0	6,0	2,51	2,55	2,63	29,4	29,1	29,2	92,1	92,0	91,8				
НІР ₀₈			0,24	0,22	0,20	0,08	0,09	0,07	1,12	1,04	1,20	-	-	-	-	-	-	-
Р, %			2,6	2,7	2,6	1,8	2,2	1,7	2,3	1,9	2,4	-	-	-	-	-	-	-

Примітка. Закладання досліді, 1988-1989 рр.; I – кінець першої ротації, 1998-1999 рр.; II – кінець другої ротації, 2008-2009 рр.

За традиційної органо-мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{42,5}K_{50} + 12$ т гною на 1 га сівозмінної площі) негативний вплив мінеральних добрив на показники кислотності ґрунту визначено помірним. На кінець другої ротації зерно-буракової сівозміни гідролітична кислотність чорнозему опідзоленого підвищилась до вихідного рівня в орному шарі – на 0,56, в підорному – на 0,64; сума увібраних основ при цьому зменшилась відповідно на 0,9 та 1,0 мг-екв./100 г ґрунту. Ступінь насичення ґрунту основами за внесення мінеральних добрив і гною зменшилась до вихідного на 1,8-2,1%, тоді як лише мінеральних добрив – на 2,8-3,1%, що було в 1,5-1,6 рази вищим.

Покращенню фізико-хімічних властивостей чорнозему опідзоленого сприяло додаткове надходження у ґрунт лужних та лужноземельних металів у складі гною, які частково нейтралізували кислотність ґрунтового розчину [197].

Внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{50}P_{42,5}K_{50} +$ побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) мало менший стабілізуючий вплив на ґрунт, ніж внесення мінеральних добрив і гною. Низький вміст у складі побічної продукції лужноземельних металів не забезпечив стабілізації кислотно-лужного балансу чорнозему опідзоленого. Внесення мінеральних добрив і побічної продукції підвищило гідролітичну кислотність на кінець другої ротації до вихідного рівня в орному шарі – на 0,89, в підорному – на 0,88 мг-екв./100 г ґрунту, при цьому сума увібраних основ зменшилась відповідно на 0,8 та 1,0 мг-екв./100 г ґрунту. Введення елементів біологізації в системи удобрення знизило ступінь насичення ґрунту основами на 2,8%, що прирівнювалось до мінеральної системи удобрення. Отже, цей захід потребує проведення підтримуючого вапнування ґрунтів [248].

Екологічно стабільною визначено органічну систему удобрення, яка поєднувала внесення гною і побічної продукції рослинництва. Зміна кислотно-лужного балансу ґрунту впродовж двох ротацій порівняно з вихідним рівнем була не істотною. Ступінь насичення основами у верхніх шарах ґрунту при цьому зменшилась до вихідного лише на 0,3-0,6%.

Математичні моделі прогнозування величини гідролітичної кислотності в чорноземі опідзоленому важкосуглинковому дозволили спрогнозувати рівень гідролітичної кислотності на період до 2050 року (табл. 3.33).

Таблиця 3.33 Прогноз стану гідролітичної кислотності чорнозему опідзоленого за різних систем удобрення, мг-екв./100 г ґрунту

№ ва р.	Внесено добрив на 1 га сівозміної площі	Рівняння регресії	Прогноз, рік			
			2020	2030	2040	2050
1	Без добрив (контроль)	$y = 0,026x + 2,4233$	3,23	3,49	3,75	4,01
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	$y = 0,0365x + 2,5317$	3,63	3,99	4,36	4,72
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	$y = 0,0445x + 2,3083$	3,69	4,13	4,57	5,02
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	$y = 0,028x + 2,3167$	3,19	3,47	3,75	4,03
12	12 т/га гною + побічна продукція	$y = 0,0085x + 2,2317$	2,50	2,58	2,67	2,75

Примітка. x – число років від початку досліджень (1989 р.); y – величина Нг, мг-екв./100 г ґрунту

За мінеральної системи удобрення підвищення гідролітичної кислотності в орному шарі чорнозему опідзоленого важкосуглинкового впродовж наступних 40 років можливе на 47,1%, за внесення мінеральних добрив і гною – на 38,1%, мінеральних добрив і побічної продукції – на 56,4%, гною і побічної продукції – на 14,1%.

В чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому за різних систем удобрення досліджували фізико-хімічні властивості ґрунту у сівозмінах різної структури: третя ротація – зерно-просапна (просапних 40%, бобових 10%), четверта – плодозмінна (просапних 16,7%, бобових 33%).

Внесення мінеральних добрив у зерно-просапній сівозміні (N₅₀P₆₆K₆₆ на 1 га сівозміної площі) за насиченості просапними культурами 40% підвищило гідролітичну кислотність ґрунту на кінець ротації до вихідного рівня в орному (0-30 см) шарі на 0,58, в підорному (30-40 см) – на 0,47 мг-екв./100 г ґрунту та знизило ступінь насичення основами – відповідно на 2,3% та 1,2% (табл. 3.34).

Зменшення дози мінеральних добрив у плодозмінній сівозміні (четверта ротація) до N₄₃P₄₃K₄₃ на 1 га сівозміної площі та частки просапних культур до 16,7% пом'яксувало негативний вплив добрив на кислотно-лужний баланс ґрунту. Підвищення гідролітичної кислотності впродовж ротації плодозмінної сівозміни визначено удвічі меншим, ніж зерно-просапної і становило в орному шарі – 0,31, в підорному – 0,32 мг-екв./100 г ґрунту.

Таблиця 3.34 Фізико-хімічні властивості чорнозему типового вилугуваного залежно від систем удобрення і структури сівозміни, БЦДСС, 1996-2012 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміної площі	Шар ґрунту, см	рНсол.				Нг, мг-екв./100 г ґрунту				S, мг-екв./100 г ґрунту				V, %						
			початок III ротації	кінець III ротації	початок III ротації	кінець III ротації	початок III ротації	кінець III ротації	початок III ротації	кінець III ротації	початок III ротації	кінець III ротації	початок III ротації	кінець III ротації	початок III ротації	кінець III ротації					
11	Без добрив (контроль)	0-30	6,4	6,2	3,12	3,20	33,2	32,8	32,7	92,0	91,1	30-40	6,6	6,5	1,56	1,63	44,4	44,2	96,9	96,5	
		0-30	6,0	5,7	4,36	4,67	30,6	28,7	28,0	89,0	86,7		30-40	6,4	6,3	2,71	3,03	42,7	41,6	95,1	93,2
4	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + побітна продукція	0-30	6,1	5,7	4,20	4,39	31,2	29,2	28,4	89,7	87,4	30-40	6,4	6,2	2,68	2,88	43,0	42,4	94,7	94,0	
		0-30	6,3	6,1	3,22	3,54	32,4	31,9	32,3	91,0	90,1		0-30	6,6	6,5	2,09	2,12	44,5	44,2	96,1	95,5
13	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га гною	0-30	0,18	0,16	0,07	0,07	1,26	1,32	1,18	-	-	30-40	2,4	2,6	2,0	1,7	2,0	1,9	1,8	-	-
		Р, %	2,4	2,6	2,0	1,7	2,0	1,9	1,8	-	-		Примітка. III – початок третьої ротації, 1996-1997 рр.; III – кінець третьої ротації, 2006-2007 рр.; IV – кінець четвертої ротації, 2011-2012 рр.; доза внесення мінеральних добрив у IV ротації – N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ , гною – 8,3 т/га сівозміної площі.								

Ступінь насичення ґрунту основами на кінець ротації плодозмінної сівозміни знизився до початкового – відповідно на 1,1% та 0,7%, що свідчить про зменшення вимивання кальцію та магнію у глибші шари ґрунту.

Стабілізації фізико-хімічних властивостей чорнозему типового вилугуваного в обох сівозмінах сприяло поєднане застосування гною і мінеральних добрив. Внесення у зерно-просапній сівозміні $N_{50}P_{66}K_{66} + 9$ т гною на 1 га сівозмінної площі підвищувало гідролітичну кислотність у верхніх шарах ґрунту на кінець ротації до початкового на 0,29-0,32 мг-екв./100 г ґрунту, що порівняно з мінеральною системою удобрення було меншим на 38-45%. Ступінь насичення ґрунту основами упродовж ротації зерно-просапної сівозміни зменшилась на 0,6-0,9%. У плодозмінній сівозміні (четверта ротація) за дози добрив $N_{43}P_{43}K_{43} + 8,3$ т гною на 1 га сівозмінної площі у ґрунті створювалась рівновага кислотно-лужного балансу. Надлишкова кислотність від застосування фізіологічно кислих добрив нейтралізувалась додатковим надходженням кальцію у складі гною та підняттям у верхні шари ґрунту карбонатів нижніх шарів, що досягалось за рахунок введення в сівозміну багаторічних трав [248].

Внесення мінеральних добрив і побічної продукції в обох сівозмінах істотно підкислювало ґрунтовий розчин. Впродовж ротації зерно-просапної сівозміни за дози $N_{50}P_{66}K_{66} +$ побічна продукція гідролітична кислотність у верхніх шарах ґрунту підвищилась на 0,33-0,60; у плодозмінній ($N_{43}P_{43}K_{43} +$ побічна продукція) – на 0,20-0,29 мг-екв./100 г ґрунту. Ступінь насичення ґрунту основами зменшилась відповідно на 0,7-2,3% та 0,5-1,1%.

Отже, зменшення у сівозміні частки просапних культур та дози мінеральних добрив покращувало фізико-хімічні властивості чорнозему типового вилугуваного середньосуглинкового. Введення елементів біологізації в системи удобрення шляхом внесення мінеральних добрив і побічної продукції супроводжувалось значним негативним впливом на кислотно-лужний баланс ґрунту, який прирівнювався до мінеральної системи удобрення.

У чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому (умови достатнього зволоження) вплив добрив на фізико-хімічні властивості ґрунту вивчали у ланці зерно-бурякової сівозміни з горохом.

Вирощування культур на контролі без добрив обумовило незначне підкислення ґрунтового розчину на кінець ланки сівозміни до вихідного рівня: гідролітична кислотність у верхніх шарах ґрунту підвищилася на 0,07-0,12, сума увібраних основ при цьому знизилась – на 0,4-0,5 мг-екв./100 г ґрунту. Зменшення вмісту обмінного кальцію і магнію у ґрунті за вирощування культур без добрив відмічено у дослідженнях В.М. Польового [248] (табл. 3.35).

Застосування рекомендованої ($N_{50}P_{20}K_{30}$ на 1 га ланки сівозміни) та підвищеної ($N_{66,7}P_{26,7}K_{40}$ на 1 га ланки сівозміни) доз мінеральних добрив підвищило гідролітичну кислотність на кінець ланки сівозміни до вихідного рівня в орному шарі – відповідно на 0,70 та 0,88, в підорному – на 0,67 та 0,79 мг-екв./100 г ґрунту. Ступінь насичення основами впродовж ланки сівозміни зменшилась в орному шарі – відповідно на 3,4% та 2,8%, в підорному – на 2,0% та 1,8%.

Значне підкислення ґрунтового розчину спостерігали за внесення мінеральних добрив і зеленої маси гірчиці білої ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат на 1 га ланки сівозміни), а також мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої і побічної продукції ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни). Гідролітична кислотність по завершенню ланки сівозміни підвищилась до вихідного рівня в орному шарі – відповідно на 0,87 та 0,81, в підорному – на 0,71 та 0,68 мг-екв./100 г ґрунту. Ступінь насичення основами за біологізації у системах удобрення зменшилась в орному шарі – відповідно на 3,1% та 3,0%, в підорному – на 1,8% та 1,6%.

Стабілізації кислотно-лужного балансу чорнозему типового вилугуваного сприяло поєднане внесення мінеральних добрив і гною ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + 13,3 т/га гною на 1 га ланки сівозміни). Підвищення гідролітичної кислотності впродовж ланки сівозміни було меншим порівняно з мінеральною системою удобрення в орному шарі у 2,2 рази, в підорному – у 1,5 рази і становило відповідно 0,32 та 0,44 мг-екв на 100 г ґрунту. Ступінь насичення основами впродовж ланки сівозміни зменшилась – відповідно на 1,2% та 1,3%. Рівновагу кислотного-лужного балансу в чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому досягнуто за органічної системи удобрення (13,3 т/га гною на 1 га ланки сівозміни).

Таблиця 3.35 Фізико-хімічні властивості чорнозему типового вигулюваного за різних систем удобрення в польовому досліді, УЛДСС, 2006-2010 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га ланки сівозміни	Шар ґрунту, см	рНсол.		Нг, мг-екв./100 г ґрунту		S, мг-екв./100 г ґрунту		V, %	
			I	II	I	II	I	II	I	II
1	Без добрив (контроль)	0-30	6,0	6,1	1,23	1,30	26,3	25,9	95,6	95,2
		30-40	6,3	6,2	0,48	0,60	38,5	38,0	98,7	98,5
3	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	0-30	5,9	5,3	1,18	1,88	25,8	24,5	95,6	92,8
		30-40	6,5	6,2	0,49	1,16	38,0	37,0	98,7	96,9
4	N _{66,7} P _{26,7} K ₄₀	0-30	6,1	5,3	1,24	2,12	26,2	24,8	95,6	92,2
		30-40	6,3	5,8	0,57	1,36	37,9	37,0	98,4	96,4
5	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га гною	0-30	6,1	5,8	1,28	1,60	26,2	25,6	95,3	94,1
		30-40	6,2	6,0	0,54	0,98	38,0	37,4	98,7	97,4
6	13,3 т/га гною	0-30	5,9	6,0	1,28	1,38	25,6	25,5	95,2	94,8
		30-40	6,2	6,1	0,46	0,52	38,0	38,0	98,7	98,7
10	Сидерат (гірчичя біла)	0-30	6,1	5,8	1,32	1,67	25,3	24,8	95,1	93,8
		30-40	6,4	6,0	0,58	0,74	37,4	37,0	98,4	98,1
11	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	0-30	6,0	5,5	1,26	2,13	25,4	24,2	95,1	92,0
		30-40	6,3	5,8	0,44	1,15	38,0	37,2	99,0	97,4
12	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + побічна продукція	0-30	5,9	5,5	1,26	2,07	26,1	25,2	95,3	92,3
		30-40	6,2	5,9	0,48	1,16	38,2	37,5	98,7	96,9
НР ₀₅			0,20	0,18	0,05	0,06	0,80	0,74	-	-
Р, %			2,1	2,7	1,9	2,2	2,3	2,5	-	-

Примітка. I – середнє за 2006-2008 рр., II – середнє за 2008-2010 рр.

На кінець ланки гідролітична кислотність становила в орному шарі 1,38, в підорному – 0,52, сума основ – відповідно 25,5 та 38,0 мг-екв./100 г ґрунту. Ступінь насичення основами залишалась на рівні варіанту без внесення добрив: в орному шарі – 94,8%, в підорному – 98,7%

3.3 Стан родючості чорнозему вилугуваного у ланках сівозмін за 45 річного застосування добрив

У п'ятій ротації зерно-просапної сівозміни упродовж 2017-2019 рр. на Білоцерківській ДСС вивчали вплив добрив на родючість чорнозему вилугуваного у різних ланках сівозміни. Чисельні дослідження свідчать, що основою отримання високих і сталих врожаїв сільськогосподарських культур у сівозмінах є органо-мінеральна система удобрення [85, 183, 252, 257, 322, 336, 473]. Застосування органічних і мінеральних добрив створює умови сприятливого поживного режиму ґрунту, забезпечує стабільність органічної речовини ґрунту, покращує ґрунтову структуру та формує умови сприятливого мінерального живлення [251, 276, 320, 478].

У сівозмінах 80% зернових (з них 20% сої або гороху), 40% просапних та 40% пшениці озимої, 40% сої, 20% просапних внесення 8 т/га гною + $N_{74}P_{60}K_{78}$ + заорювання на 20% площі зеленої маси гірчиці білої формувало розширене відтворення вмісту гумусу у ґрунті з приростом 0,7-0,82 т/га та 0,9 т/га за рік, відповідно. Введення конюшини до складу сівозмін підвищило вміст гумусу за рік на 1,29 т/га [93, 212, 410].

Дослідження показали, що вирощування культур понад 40 років без застосування добрив сприяло інтенсивнішому накопиченню гумусу у плодозмінній сівозміні порівняно з зерно-просапною. Вміст гумусу на момент збирання врожаю пшениці озимої в шарі 0-30 см плодозмінної сівозміни становив 3,16%, зерно-просапної – 3,10%, що було меншим на 0,06%. У підорному 30-40 см шарі перевага вмісту гумусу на 0,03% спостерігалась у зерно-просапній сівозміні. Насичення плодозмінної сівозміни багаторічними бобовими травами збільшило накопичення органічної речовини і біологічного азоту в орному шарі і, тим самим, сприяло інтенсивнішому накопиченню гумусу (табл. 3.36).

Таблиця 3.36 Динаміка вмісту гумусу в чорноземі вилугуваному залежно від ланки сівозміни і удобрення, БЦДСС, 2017-2019 рр., %

№ вар.	Ланка сівозміни (фактор А)	Доза добрив під пшеницю озиму (фактор В)	Вміст гумусу, %		± до контролю	
			глибина, см			
			0-30	30-40	0-30	30-40
11	ячмінь –	Без добрив (контроль)	3,16	3,06	-	-
13	коношинна –	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,52	3,28	0,36	0,22
4	пшениця	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + солома	3,42	3,26	0,26	0,16
5	озима	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	3,53	3,34	0,37	0,28
51	ячмінь – вика	Без добрив (контроль)	3,10	3,09	-	-
41	яра – пшениця	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,45	3,26	0,35	0,17
49	озима	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	3,45	3,29	0,35	0,20
НІР ₀₅ (фактор А)			0,06	0,03		
НІР ₀₅ (фактор В)			0,11	0,09		
НІР ₀₅ (фактор А+В)			0,15	0,12		

Примітка. У варіантах 13, 41 вносили з 1976 року – N₄₃P₄₃K₄₃ + 8,3 т гною на 1 га сівозміни; варіантах 5, 49 – N₆₅P₄₃K₄₃ + 8,3 т гною; варіанті 4 – N₄₃P₄₃K₄₃ + побічна продукція

Застосування понад 40 років органічних і мінеральних добрив (N₄₃₋₆₅P₄₃K₄₃ + 8,3 т гною 1 га сівозміни) збільшило вміст гумусу в орному шарі плодозмінної сівозміни порівняно з контролем без добрив на 0,36%, зерно-просапної – на 0,35%, за абсолютного вмісту – відповідно 3,52% та 3,45%. Інтенсивність накопичення гумусу у плодозмінній сівозміні за застосування добрив була вищою, ніж у зерно-просапній сівозміні. Аналогічну тенденцію спостерігали у підорному 30-40 см шарі чорнозему вилугуваного, проте обсяги зростання вмісту гумусу були меншими, ніж у верхньому орному шарі. Так, за внесення N₄₃P₄₃K₄₃ + 8,3 т гною 1 га плодозмінної сівозміни вміст гумусу в шарі 30-40 см становив – 3,28%, зерно-просапної – 3,26%. Застосування добрив збільшило вміст гумусу в підорному 30-40 см шарі порівняно з контролем без добрив у плодозмінній сівозміні на 0,22%, зерно-просапній – на 0,17%.

Збільшення за орвано-мінеральної системи удобрення дози азотних добрив на один гектар сівозмінної площі з 43 до 65 кг обумовило незначне підвищення вмісту гумусу в обох ланках сівозміни переважно у підорному 30-40 см шарі ґрунту. Так, за внесення N₆₅P₄₃K₄₃ + 8,3 т/га гною вміст гумусу в шарі 30-40 см через 40 років використання становив у плодозмінній сівозміні 3,34%, зерно-просапній – 3,29%. За збільшення дози азоту з 43 до 65 кг/га

сівозміни вміст гумусу у підорному 30-40 см шарі ґрунту підвищився у плодозмінній сівозміні – на 0,06%, зерно-просапній – на 0,03%. Таке збільшення може бути наслідком зростання мобільних форм гумусу за посиленого азотного живлення і інтенсивнішим його вилугуванням у підорний шар.

Зменшення інтенсивності гумусоутворення у чорноземі вилугуваному спостерігали за альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. Застосування понад 40 років $N_{43}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція 1 га плодозмінної сівозміни забезпечило вміст гумусу на момент збирання пшениці озимої в шарі 0-30 см – 3,42%, шарі – 30-40 см – 3,26%, що порівняно з внесенням $N_{43}P_{43}K_{43}$ + 8,3 т гною 1 га сівозміни визначено меншим – відповідно на 0,10% та 0,06%. Проте, порівняно з контролем без добрива 40-річна практика альтернативного удобрення забезпечила підвищення вмісту гумусу в шарі 0-30 см – на 0,26%, шарі – 30-40 см – на 0,16%. Це дає підстави нам вважати, що альтернативна на основі біологізації система удобрення плодозмінної сівозміни за тривалого її застосування є ефективним агрохімічним заходом збереження та відтворення природної родючості чорнозему вилугуваного.

Отже, органо-мінеральні системи удобрення сприяли підвищенню вмісту гумусу і зберігали природну родючість чорнозему вилугуваному за тривалого понад 40 років його використання. В умовах плодозмінної сівозміни процеси гуміфікації протікали інтенсивніше, ніж у зерно-просапній сівозміні, що є наслідком збільшення обсягів надходження у ґрунт органічної речовини і біологічного азоту і вказує на вагомую роль багаторічних бобових трав у питаннях збереження і відтворення природної родючості чорноземних ґрунтів.

Органо-мінеральна система удобрення визначена ефективним агрохімічним заходом покращення мінерального живлення сільськогосподарських культур у сівозмінах [117, 401]. Застосування органічних та мінеральних добрив, введення до складу сівозмін бобових культур сприяло мобілізації азоту ґрунту, збільшило запаси мінерального азоту у ґрунті та істотно покращило азотне живлення сільськогосподарських культур [136].

Результати досліджень показали, що система удобрення і структура сівозмін значно впливали на формування азотного режиму чорнозему вилугуваного. Вивчення вмісту нітратного азоту у посівах пшениці озимої на контролі без добрив показало, що у фазі кушення

вміст нітратного азоту в шарі 0-30 см у ланці з конюшиною становив 7,1 мг/кг, шарі 30-40 см – 6,9; ланці з викою ярою – відповідно 6,1 та 5,4 мг/кг ґрунту (табл. 3.37).

Таблиця 3.37 Вміст нітратного та амонійного азоту у ґрунті залежно від ланки сівозміни і системи удобрення, БЦДСС, 2017-2019, мг/кг ґрунту

№ вар.	Ланка сівозміни (фактор А)	Доза добрив під пшеницю озиму (фактор В)	Шар ґрунту, см	Нітратний азот (NO ₃)		Амонійний азот (NH ₄)	
				кущення	збирання врожаю	кущення	збирання врожаю
11	ячмінь – конюшина –	Без добрив (контроль)	0-30	7,1	3,1	9,1	5,3
			30-40	6,9	3,0	7,6	4,8
13	пшениця озима	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0-30	10,8	5,6	10,7	10,4
			30-40	11,1	5,7	9,4	10,5
4		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + солома	0-30	9,9	6,1	9,5	8,4
			30-40	9,5	5,1	8,7	7,6
5		N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0-30	16,3	10,6	13,6	9,5
			30-40	16,0	10,7	11,3	8,2
51	ячмінь – вико яра –	Без добрив (контроль)	0-30	6,1	3,1	8,0	4,9
			30-40	5,4	2,5	7,8	5,4
41	пшениця озима	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0-30	7,8	5,6	10,7	7,2
			30-40	10,4	6,4	10,5	6,4
49		N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0-30	8,8	6,5	12,3	9,1
			30-40	11,0	6,2	11,9	7,3
НІР ₀₅ (фактор А)				0,1	0,1	0,1	0,1
НІР ₀₅ (фактор В)				0,4	0,3	0,3	0,2
НІР ₀₅ (фактор А+В)				0,5	0,3	0,4	0,3

Примітка. У варіантах 13, 41 вносили з 1976 року – N₄₃P₄₃K₄₃ + 8,3 т гною на 1 га сівозміни; варіантах 5, 49 – N₆₅P₄₃K₄₃ + 8,3 т гною; варіанти 4 – N₄₃P₄₃K₄₃ + побічна продукція

Застосування азотних добрив під пшеницю озиму N₆₀P₆₀K₆₀ за попередника конюшини на фоні традиційної органо-мінеральної системи удобрення сівозміни (N₄₃P₄₃K₄₃ + 8,3 т/га гною на 1 га сівозміної площі) підвищило вміст нітратного азоту у орному і підорному шарах ґрунту. Порівняно з контролем без добрив вміст нітратного азоту в шарі 0-30 см підвищився – на 3,7 мг/кг, 30-40 см – на 4,2 і становив – відповідно 10,8 та 11,1 мг/кг ґрунту. У ланці з викою ярою нітратний азот більше концентрувався у підорному 30-40

см шарі. Його вміст у шарі 0-30 см становив 7,8 мг/кг, 30-40 см – 10,4 зі зростанням до контролю без добрив – відповідно на 1,7 та 5,0 мг/кг ґрунту.

Забезпечення ґрунту нітратним азотом у фазі кущення значно покращувалось за збільшення дози азотних під пшеницю озиму з 60 до 90 кг/га на фоні традиційної органо-мінеральної системи удобрення сівозміни ($N_{65}P_{43}K_{43} + 8,3$ т/га гною на 1 га сівозмінної площі). У ланці з конюшиною вміст нітратного азоту в шарі 0-30 см становив 16,3 мг/кг, 30-40 см – 16,0 зі зростанням до контролю без добрив – відповідно на 9,2 та 9,1 мг/кг ґрунту. У ланці з викою ярою зростання вмісту нітратного азоту у ґрунті було менш вираженим: у шарі 0-30 см – на 2,7 мг/кг, 30-40 см – на 5,6 за абсолютного вмісту – відповідно 8,8 та 11,0 мг/кг ґрунту.

За альтернативної системи удобрення плодозмінної сівозміни ($N_{43}P_{43}K_{43} +$ побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) і внесення під пшеницю озиму $N_{60}P_{60}K_{60}$ вміст нітратного азоту у ґрунті на початок вегетації визначено меншим порівняно з традиційною органо-мінеральною системою удобрення. Так, у фазі кущення пшениці озимої вміст нітратного азоту в шарі 0-30 см становив 9,9 мг/кг, 30-40 см – 9,5 мг/кг ґрунту, збільшення до контролю без добрив – відповідно 2,8 та 2,6 мг/кг ґрунту.

Застосування азотних добрив покращило забезпеченість чорнозему вилугуваного амонійним азотом упродовж вегетації пшениці озимої. Так, в період кущення за внесення азотних добрив під пшеницю озиму $N_{60}P_{60}K_{60}$ у ланці з конюшиною на фоні традиційної органо-мінеральної системи удобрення сівозміни ($N_{43}P_{43}K_{43} + 8,3$ т/га гною на 1 га сівозмінної площі) вміст амонійного азоту в шарі 0-30 см становив 10,7 мг/кг, 30-40 см – 9,4 мг/кг ґрунту, що порівняно з контролем без добрив було вищим відповідно на 1,6 та 1,8 мг/кг ґрунту. У ланці з викою ярою вміст амонійного азоту в шарі 0-30 см становив 10,7 мг/кг, 30-40 см – 10,5 мг/кг ґрунту, що порівняно з контролем без добрив було вищим в обох шарах на 2,7 мг/кг ґрунту.

Збільшення дози азотних добрив під пшеницю озимою з 60 до 90 кг/га ($N_{90}P_{60}K_{60}$) на фоні традиційної органо-мінеральної системи удобрення сівозміни ($N_{65}P_{43}K_{43} + 8,3$ т/га гною на 1 га сівозмінної площі) підвищило вміст амонійного азоту у ґрунті в обох ланках сівозміни. Порівняно з дозою азоту 60 кг/га вміст амонійного азоту в шарах 0-30 см та 30-40 см у ланці з конюшиною підвищився на 2,9 мг/кг, ланці з викою ярою – відповідно на 1,6 та 1,4 мг/кг ґрунту.

Абсолютні показники вмісту амонійного азоту у ґрунті за попередника конюшини були незначно вищими порівняно з попередником викою ярою.

За альтернативної системи удобрення плодозмінної сівозміни ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) і внесення під пшеницю озиму $N_{60}P_{60}K_{60}$ вміст амонійного азоту у ґрунті у фазі кущення в шарі 0-30 см становив 9,5 мг/кг, 30-40 см – 8,7 мг/кг, збільшення до контролю без добрив – відповідно на 0,4 та 1,1 мг/кг ґрунту. Альтернативна система удобрення формувала у ґрунті співставні з традиційною органо-мінеральною системою удобрення запаси амонійного азоту у ґрунті на початок вегетації пшениці озимої.

Підрахунок запасів мінерального азоту в шарі 0-40 см показав, що вони залежали переважно від доз азотних добрив внесених безпосередньо під пшеницю озиму та бобового попередника після якого цю культуру вирощували. На контролі без добрив за попередника конюшини у ґрунті накопичувалось незначно більше мінерального азоту ($NO_3 + NH_4$) у весняний період порівняно з попередником викою ярою – відповідно 69 та 61 кг/га у 0-40 см шарі ґрунту (рис. 3.1).

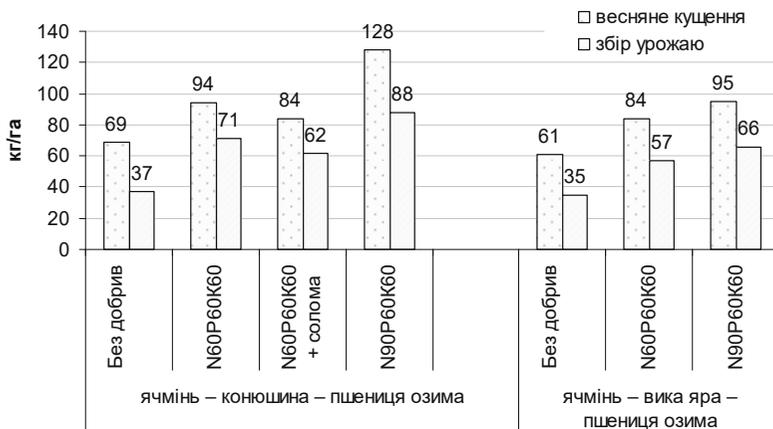


Рис. 3.1 Запаси мінерального азоту ($NH_4 + NO_3$) у 0-40 см шарі ґрунту залежно від ланки сівозміни та системи удобрення, БЦДСС, 2017-2019, кг/га

Застосування під пшеницю озиму $N_{60}P_{60}K_{60}$ на фоні 40 річного удобрення сівозміни традиційною органо-мінеральною системою ($N_{43}P_{43}K_{43} + 8,3$ т/га гною на 1 га сівозмінної площі) збільшило запаси мінерального азоту у ґрунті у весняний період за попередника конюшини до 94 кг/га, вики ярої – до 84 з перевищенням до контролю без добрив – відповідно на 25 та 23 кг/га. Невисокі обсяги зростання запасів мінерального азоту у ґрунті порівняно з контролем свідчать, що азотний режим ґрунту в агроценозі пшениці озимої визначався переважно дозами азотних добрив внесених під цю культуру та біологічною фіксацією азоту, де конюшина мала переваги над викою ярою.

Збільшення дози азотних добрив під пшеницю озиму з 60 до 90 кг/га за традиційного органо-мінерального удобрення сівозміни ($N_{65}P_{43}K_{43} + 8,3$ т/га гною на 1 га сівозмінної площі) істотно збільшило запаси мінерального азоту у шарі 0-40 см за попередника конюшини – з 94 до 128 кг/га, тоді як за попередника вики ярої зростання було менш вираженим – з 84 до 95 кг/га. Збільшення запасів мінерального азоту у ґрунті досягалось переважно за рахунок нітратної форми азоту. Це дає підстави вважати, що у ланці з конюшиною на фоні високих обсягів накопичення біологічного азоту у ґрунті внесення посередніх доз азотних добрив (90 кг/га) істотно посилює розвиток нітрифікуючої мікробіоти і підвищує забезпеченість ґрунту нітратним азотом.

Запаси мінерального азоту у 0-40 см шарі ґрунту зменшились за застосування мінеральних добрив під пшеницю озиму ($N_{60}P_{60}K_{60}$) на фоні 40-річної практики удобрення сівозміни альтернативними джерелами органіки ($N_{43}P_{43}K_{43} +$ побічна продукція на 1 га сівозмінної площі). В період весняного кушення пшениці озимої його запаси у ґрунті становили 84 кг/га, що порівняно з довготривалою практикою традиційного удобрення сівозміни ($N_{43}P_{43}K_{43} + 8,3$ т/га гною на 1 га сівозмінної площі) було меншим на 10 кг/га. Застосування на добриво у сівозміні побічної продукції усіх вирощуваних культур супроводжувалась незначним постінгібующим впливом на мінералізаційні процеси азоту у ґрунті.

На завершення вегетації пшениці озимої запаси мінерального азоту у 0-40 см шарі чорнозему вилугуваного зменшились у 1,3-1,9 разів порівняно з періодом весняного кушення. За внесення азотних добрив вони були вищими, ніж на контролі без добрив – на 22-51

кг/га, за попередника конюшини порівняно з викою ярою – на 14-22 кг/га.

Отже, довготривале органо-мінеральне удобрення сівозміни не проявилось істотно на динаміці мінерального азоту ґрунту в агроценозі пшениці озимої. Азотне живлення цієї культури визначалось переважно дозами внесення азотних добрив та вибором бобового попередника, де конюшина була ефективнішою, ніж вика яра.

Структура сівозміни та система удобрення є ефективними чинниками впливу на фосфатний та калійний режими ґрунту [98], [199]. За даними Я.П. Цвей, В.В. Іваніна, Ю.М. Цебро, О.Т. Петрова, А.Ф. Одреховський, С.М. Климчук [330] застосування упродовж 10 років 9 т/га гною + $N_{61}P_{61}K_{61}$ на 1 га сівозміни забезпечило додатній баланс фосфору і калію та формувало сталі засади живлення сільськогосподарських культур зазначеними елементами.

Результати досліджень показали, що фосфатний режим чорнозему вилугуваного в агроценозі пшениці озимої формувався переважно за рахунок довготривалого понад 40 років застосування у сівозміні органічних і мінеральних добрив. На контролі без внесення добрив упродовж 40 років вміст рухомого фосфору у 0-30 шарі ґрунту у фазі кушення пшениці озимої становив 176-185 мг/кг ґрунту з незначною перевагою у ланці з конюшиною порівняно з викою ярою (табл. 3.38).

Застосування під пшеницю озиму $N_{60}P_{60}K_{60}$ на фоні 40-річного удобрення сівозміни $N_{43}P_{43}K_{43}$ + 8,3 т гною на 1 га сівозмінної площі забезпечило у фазі кушення пшениці озимої за попередника конюшини вміст рухомого фосфору в 0-30 см шарі – 323 мг/кг, 30-40 см – 266; вики ярої – 309 та 229 мг/кг ґрунту. Щорічне упродовж 40 років внесення фосфору в дозі 64 кг на 1 га сівозмінної площі сформувало високий рівень забезпечення чорнозему вилугуваного рухомими фосфатами. Порівняно з контролем без добрив вміст рухомого фосфору за попередника конюшину підвищився в орному 0-30 см шарі – на 138 мг/кг, вики ярої – на 133 мг/кг ґрунту. Запаси рухомого фосфору в орному шарі за довготривалої практики удобрення сівозміни органічними та мінеральними зросли на 439-455 кг/га, що еквівалентно щорічному зростанню – на 11,0-11,4 кг/га. Зменшення вмісту рухомого фосфору у зерно-просапній сівозміні порівняно з плодозмінною може бути наслідком більш інтенсивного використання його просапними культурами.

Таблиця 3.38 Вміст рухомого фосфору у ґрунті залежно від ланки сівозміни і системи удобрення, БЦДСС, 2017-2019, мг/кг ґрунту

№ вар.	Ланка сівозміни (фактор А)	Доза добрив під пшеницю озиму (фактор В)	Шар ґрунту, см	Рухомий фосфор (P ₂ O ₅)	
				фаза кушення	збирання врожаю
11	ячмінь – конюшина –	Без добрив (контроль)	0-30	185	165
			30-40	163	142
13	пшениця озима	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0-30	323	304
			30-40	266	239
4		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + солома	0-30	323	292
			30-40	269	233
5		N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0-30	319	305
			30-40	254	216
51	ячмінь – вика яра – пшениця озима	Без добрив (контроль)	0-30	176	166
			30-40	154	148
41		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0-30	309	274
			30-40	229	202
49		N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0-30	317	284
			30-40	228	215
НІР ₀₅ (фактор А)				2,7	1,4
НІР ₀₅ (фактор В)				10,2	10,8
НІР ₀₅ (фактор А+В)				13,9	12,2

Примітка. У варіантах 13, 41 вносили з 1976 року – N₄₃P₄₃K₄₃ + 8,3 т гною на 1 га сівозміни; варіантах 5, 49 – N₆₅P₄₃K₄₃ + 8,3 т гною; варіанті 4 – N₄₃P₄₃K₄₃ + побічна продукція

Збільшення дози азотних добрив під пшеницю озиму з 60 до 90 кг/га (N₉₀P₆₀K₆₀) за внесення N₆₅P₄₃K₄₃ + 8,3 т/га гною на 1 га сівозмінної площі не впливало істотно на вміст рухомого фосфору у ґрунті, зберігаючи високий рівень забезпечення ґрунту фосфатами.

Довготривала альтернативна система удобрення плодозмінної сівозміни (N₄₃P₄₃K₄₃ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) забезпечила вміст рухомого фосфору у ґрунті в агроценозі пшениці озимої на рівні традиційної органо-мінеральної системи удобрення (N₄₃P₄₃K₄₃ + 8,3 т/га гною на 1 га сівозмінної площі): у шарі 0-30 см – 323, 30-40 см – 269 мг/кг ґрунту. Це дає підстави вважати, що застосування на добриво усієї побічної продукції культур має хорошу перспективу у формуванні сталих високих фонів рухомого фосфору у ґрунті.

Упродовж вегетації пшениці озимої вміст рухомого фосфору у ґрунті зменшився на 6-13%, що пов'язано з виносом його рослинами та сезонною динамікою трансформації і закріплення фосфору у ґрунті.

Довготривале удобрення сівозміни органічними та мінеральними сприяло стабілізації калійного режиму чорнозему вилугуваного. Так, на контролі без добрив упродовж 40 років у чорноземі вилугуваному визначено середній рівень забезпечення ґрунту рухомим калієм з вмістом його в орному 0-30 см шарі навесні у фазі кушення пшениці озимої – 72-80 мг/кг, 30-40 см – 61-63 мг/кг ґрунту. У ланці з викою ярою вміст калію в орному шарі був незначно вищим (табл. 3.39).

Таблиця 3.39 Вміст рухомого калію у ґрунті залежно від ланки сівозміни та удобрення, БЦДСС, 2017-2019, мг/кг ґрунту

№ вар.	Ланка сівозміни (фактор А)	Доза добрив під пшеницю озиму (фактор В)	Шар ґрунту, см	Рухомий калій (K ₂ O)	
				фаза кушення	збирання врожаю
11	ячмінь – конюшина –	Без добрив (контроль)	0-30	72	54
			30-40	61	46
13	пшениця озима	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0-30	102	85
			30-40	82	61
4		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + солома	0-30	104	76
			30-40	80	63
5		N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0-30	106	78
			30-40	80	55
51	ячмінь – вико	Без добрив (контроль)	0-30	80	52
41	яра – пшениця озима	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0-30	63	45
			30-40	123	85
49		N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0-30	89	58
			30-40	109	82
НІР ₀₅ (фактор А)				1,1	0,8
НІР ₀₅ (фактор В)				4,3	3,9
НІР ₀₅ (фактор А+В)				5,7	4,4

Примітка. У варіантах 13, 41 вносили з 1976 року – N₄₃P₄₃K₄₃ + 8,3 т гною на 1 га сівозміни; варіантах 5, 49 – N₆₅P₄₃K₄₃ + 8,3 т гною; варіанти 4 – N₄₃P₄₃K₄₃ + побічна продукція

За дози добрив під пшеницю озиму N₆₀₋₉₀P₆₀K₆₀ на фоні довготривалого внесення у сівозміні N₄₃₋₆₅P₄₃K₄₃ + 8,3 т гною на 1 га

сівозмінної площі вміст рухомого калію у ґрунті в період весняного кушення пшениці озимої підвищився порівняно з контролем без добрив у ланці з конюшиною – на 30-34 мг/кг, викою ярою – на 29-43 за абсолютного вмісту – відповідно 102-106 та 109-123 мг/кг ґрунту. За щорічного внесення калію у ґрунт в кількості 93 кг/га його запаси по завершенню 40-річного терміну порівняно з контролем без добрив у орному 0-30 см шарі зросли – на 99-112 кг/га у ланці з конюшиною та на 96-142 кг/га у ланці з викою ярою. Внесення добрив зменшило щорічний винос калію із ґрунту на 2,5-3,6 кг/га. У зерно-просапній сівозміні (ланка з викою ярою) порівняно із плодозмінною (ланка з конюшиною) вмісту рухомого калію у ґрунті був незначно вищим, що може бути наслідком нижчої врожайності культур та меншими обсягами виносу калію із ґрунту.

Досить сприятливі умови калійного режиму чорнозему вилугуваного в агроценозі пшениці озимої формувались за альтернативної системи удобрення сівозміни ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі). Вміст рухомого калію у фазі кушення пшениці озимої у шарі 0-30 см становив 104 мг/кг, 30-40 см – 80 мг/кг ґрунту, що підтверджує перспективність альтернативної системи удобрення сівозміни.

Упродовж вегетації пшениці озимої вміст рухомого калію у ґрунті у ланці ячмінь ярий – конюшина – пшениця озима зменшився у 1,3-1,4 разів; ланці ячмінь ярий – вика яра – пшениця озима – у 1,3-1,5 разів, що є наслідком використання калію рослинами та закріплення у ґрунті внаслідок необмінної адсорбції.

Отже, внесення мінеральних добрив під пшеницю озиму в дозі $N_{60-90}P_{60}K_{60}$ на фоні тривалого понад 40 років застосування у сівозміні органо-мінеральної системи удобрення ($N_{43-65}P_{43}K_{43}$ + 8,3 т гною на 1 га сівозміни) сприяло стабілізації органічної речовини, підвищило вміст мінерального азоту та рухомого калію на фоні розширеного відтворення фонду рухомих фосфатів у чорноземі вилугуваному.

3.3.1 Вологозабезпеченість ґрунту та використання вологи пшеницею озимою

Важливим критерієм, який визначає умови росту і розвитку рослин є запаси продуктивної вологи у ґрунті на момент сівби та упродовж періоду вегетації пшениці озимої [147, 261].

Запровадження вологозберігаючих технологій на більшій частині України на думку В.В. Медведєва, Т.М. Лактіонової, Л.В. Донцової [205], В.Ф. Сайка [261] є необхідним заходом у підвищенні врожайності сільськогосподарських культур, оскільки основні фази розвитку й формування генеративних органів вони проходять в умовах нестачі продуктивної вологи.

За даними досліджень М.М. Мірошниченка, Б.С. Носка, Є.Ю. Гладкіх та ін. [211] загальні витрати ґрунтової вологи на створення одиниці врожаю зерна пшениці озимої за внесення рядкового добрива зменшуються – на 15%, ячменю – на 30%, проса – на 24%, а врожайність зерна підвищується на 0,4-0,5 т/га.

Результати досліджень показали, що на момент сівби пшениці озимої у верхньому 0-20 см шарі ґрунту містилось 9-13 мм продуктивної вологи. Такі запаси вологи вказують на надмірне осушення верхнього шару ґрунту та її дефіцит для проростання насіння, росту і розвитку рослин у початковій фазі онтогенезу (табл. 3.40).

Запаси вологи у метровому та 1,5 м шарах чорнозему вилугуваному у період весняного кущення пшениці озимої були достатньо високі – відповідно 128-152 та 193-230 мм, що є свідченням достатньої кількості дощів у осінне-зимовий період 2017-2019 років. Водночас забезпечення ґрунту вологою у весняний період істотно залежало від попередників та системи удобрення.

У метровому шарі ґрунту запаси продуктивної вологи на контролі без добрив дещо вищими були у ланці з конюшиною – 152 мм порівняно з ланкою, де попередником була вика яра – відповідно 141 мм. За внесення добрив $N_{60}P_{60}K_{60}$ запаси вологи в обох ланках зменшувались: у ланці з конюшиною – до 139 мм; викою ярою – до 128 мм. При цьому за вирощування пшениці озимої після конюшини продуктивної вологи у 1 м шарі ґрунту в період весняного кущення порівняно з попередником викою ярою накопичувалось більше на 11 мм.

У 1,5 м шарі ґрунту ця закономірність була більш вираженою і спостерігалась як на контролі без добрив, так і за їх внесення. Найбільше вологи накопичилось на контролі без добрив: за попередника конюшини – 230 мм, вики ярої – 207 мм. За попередника конюшини весняні запаси вологи були вищими, ніж за попередника вики ярої на 23 мм. Внесення мінеральних добрив зменшило запаси вологи у ґрунті у весняний період порівняно з контролем без добрив

на 14-26 мм за абсолютних показників у ланці з конюшиною – 204-211 мм, викою ярою – 193 мм. Зменшення продуктивної вологи у ґрунті за внесення добрив може бути наслідком більш інтенсивного її використання попередниками, які в зазначених варіантах формували вищу продуктивність.

Таблиця 3.40 Запаси продуктивної вологи у ґрунті залежно від попередників і системи удобрення, БЦДСС, 2017-2019 рр., мм

Шар ґрунту, см	Ячмінь ярий – конюшина – пшениця озима			Ячмінь ярий – вико яра – пшениця озима		НІР ₀₅
	без добрив (контроль)	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ⁺ солома	без добрив (контроль)	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	
Сівба						
0-20	13	11	12	10	9	0,4
0-50	37	34	36	23	18	1,9
51-100	28	26	27	24	20	1,6
0-100	65	60	63	47	38	2,7
101-150	36	32	35	29	23	1,4
0-150	101	92	98	76	61	5,8
Весняне кушення						
0-20	22	18	25	23	17	1,2
0-50	71	66	72	72	64	2,5
51-100	81	73	76	69	64	3,1
0-100	152	139	148	141	128	6,7
101-150	78	65	63	66	65	2,7
0-150	230	204	211	207	193	11,4
Збирання врожаю						
0-20	18	16	17	20	17	0,4
0-50	34	32	33	44	32	1,9
51-100	26	26	26	25	16	1,3
0-100	60	58	59	69	48	2,7
101-150	35	28	29	28	22	1,6
0-150	95	86	88	97	70	4,8

Примітка. У варіантах 13, 41 вносили з 1976 року – N₄₃P₄₃K₄₃ + 8,3 т гною на 1 га сівозміни; варіантах 5, 49 – N₆₅P₄₃K₄₃ + 8,3 т гною; варіанти 4 – N₄₃P₄₃K₄₃ + побічна продукція

Альтернативна система удобрення пшениці озимої (N₆₀P₆₀K₆₀ + солома) формувала запаси продуктивної вологи у ґрунті у весняний період на рівні внесення мінеральних добрив (N₆₀P₆₀K₆₀) – відповідно

211 мм та 204 мм у 1,5 м шарі. Тривала понад 40 років практика удобрення сівозмінні органічними і мінеральними добривами не мала переваг над контролем без добрив за обсягами накопичення продуктивної вологи у ґрунті в агроценозі пшениці озимої.

На період збирання врожаю запаси продуктивної вологи у 1 м шарі ґрунту у ланці з конюшиною на контролі без добрив становили – 60 мм, за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 58 мм; ланці з викою ярою – відповідно 69 мм та 48 мм. У 1,5 м шарі ґрунту у ланці з конюшиною на контролі без добрив вони становили – 96 мм, за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 86 мм; ланці з викою ярою – відповідно 97 мм та 70 мм. Значне зменшення волого запасів ґрунту є наслідком використання вологи рослинами та непродуктивними її втратами. При цьому у ланці з конюшиною запаси продуктивної вологи у 1,5 м шарі ґрунту були співставними з ланкою де вирощували вику яру і на 16 мм були вищими за внесення мінеральних добрив під пшеницю озиму в дозі $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Отже, накопичення вологи у 1-1,5 м шарах чорнозему вилугуваного в період відновлення весняної вегетації пшениці озимої за попередника конюшини було вищим на 11-23 мм порівняно з попередником викою ярою, що створювало краще забезпечення рослин пшениці озимої вологою упродовж вегетації.

Важливим показником є ефективність використання вологи рослинами пшениці озимої у процесі її вирощування. Витрати вологи із ґрунту упродовж вегетації за попередника конюшини на контролі без добрив становили 135 мм, за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 118 мм; попередника вики ярої – відповідно 110 та 123 мм.

Враховуючи, що за період весняної вегетації пшениці озимої випало 185 мм опадів, сумарне водоспоживання вологи рослинами за вегетацію за попередника конюшини на контролі без добрив становили 3200 м³/га, за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 3030; попередника вики ярої – відповідно 2950 та 3080 м³/га.

Система удобрення і бобові попередники істотно покращили ефективність використання вологи на формування однієї тони врожаю пшениці озимої. За внесення добрив споживання вологи на формування однієї тони врожаю визначено меншим порівняно з контролем без добрив у ланці з конюшиною – на 116-126 м³, викою ярою – на 156 м³. При цьому за попередника конюшини використання вологи пшеницею озимою визначено ефективнішим, ніж за попередника вики ярої. Так, на контролі без добрив у ланці з

конюшиною використання пшеницею озимого вологи на формування однієї тони врожаю становило 348 м³, викою ярою – 415 м³. За попередника конюшини кількість вологи на одиницю врожаю зменшилась на 67 м³ (рис. 3.2).

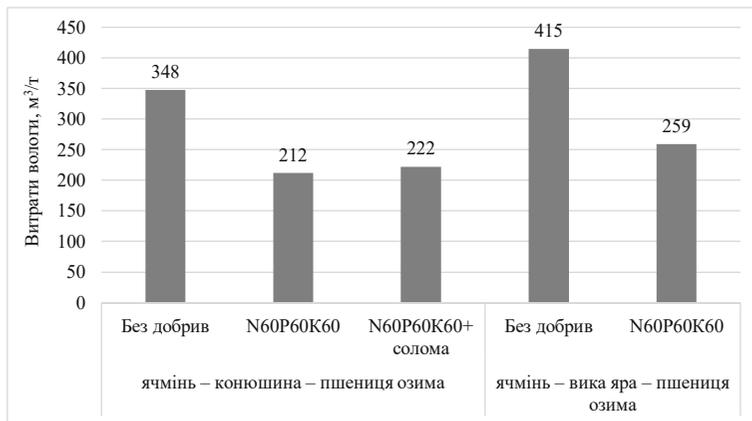


Рис. 3.2 Використання вологи посівами пшениці озимієї залежно від системи удобрення і ланки сівозміни, БЦДСС, 2017-2019, м³

Найефективніше рослини пшениці озимієї використовували вологу ґрунту за внесення N₆₀P₆₀K₆₀ у ланці з конюшиною. На формування однієї тони врожаю пшениця озима споживала 212 м³ вологи, що на 136 м³ менше, ніж в контролі без добрив і на 47 м³ менше, ніж в аналогічному варіанті з попередником викою ярою. За альтернативної системи удобрення (N₆₀P₆₀K₆₀ + солома) витрати вологи на формування тони врожаю зросли порівняно з внесенням лише мінеральних добрив (N₆₀P₆₀K₆₀) на 10 м³/т і становили 222 м³/т.

Проведення кореляційно-регресійного аналізу показало обернену лінійну кореляційну залежність між витратами вологи на формування 1 т урожаю та врожайністю зерна пшениці озимієї з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 0,9584$ (рис. 3.3). Це засвідчує, що за мінливого клімату із надзвичайно теплими та часом сухими погодними умовами запровадження ефективних систем удобрення і оптимізація структури сівозмін дозволяють зменшити використання

вологи рослинами на формування одиниці врожаю, а тому є запорукою отримання високих і стабільних врожаїв.

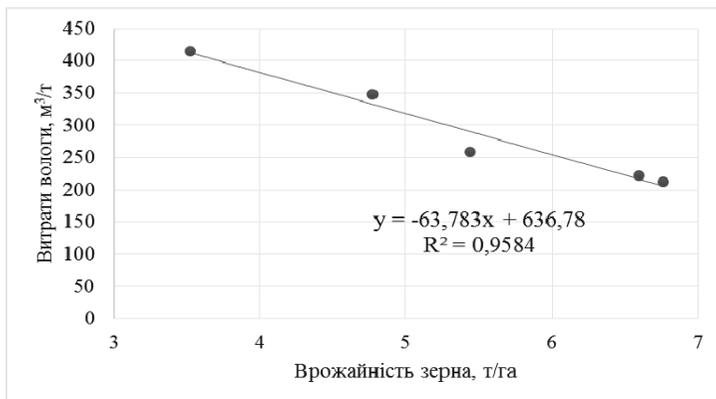


Рис. 3.3 Кореляційна залежність між витратами вологи на формування одиниці тони зерна та врожайністю пшениці озимої, БЦДСС, 2017–2019 рр.

Отже, введення у сівозміну багаторічних бобових трав і 40-річна практика внесення органічних і мінеральних добрив створювали високий фон ефективної родючості ґрунту, що давало перевагу рослинам пшениці озимої ефективніше використовувати вологу ґрунту на формування одиниці врожаю. Найефективніше використання вологи ґрунту на отримання одиниці тони біологічного врожаю пшениці озимої визначено за її вирощування після попередника конюшини і внесення мінеральних добрив $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 212 м^3 .

3.3.2 Мікробіологічна активність чорнозему вилугуваного

Активним фактором впливу на фонд мінеральних сполук у ґрунті, їх трансформацію та доступність рослинам є мікробіологічна активність ґрунтів [148, 243]. Наявність у ґрунті бактерій, грибів та стрептоміцетів здійснює мінералізацію рослинних решток [434], а внесення органічних і мінеральних добрив активує діяльність целюлозо руйнівних бактерій, посилює деструкцію клітковини, сприяє виділенню вуглекислоти із ґрунту [86, 383].

Застосування органічних добрив та їх поєднання з мінеральними за даними В.В. Волкогона, О.В. Пирога, Т.Ю. Британа [45], О.А. Tsyuk, V.I. Kyrylyuk [472] сприяє оптимізації угруповань ґрунтових мікроорганізмів. Натомість внесення лише мінеральних добрив посилює розвиток у ґрунті педотрофних та органотрофних мікроорганізмів, збільшує газоподібні втрати азоту із ґрунту [44, 242].

Дослідження О.І. Маклюк [191] свідчать, що загальна чисельність агрономічно корисної мікрофлори, зокрема мікроорганізмів, які утилізують органічний і мінеральний азот, фосфатомобілізуєчих та олігонітрофних бактерій, у т.ч. азотфіксуєчих мікроорганізмів та діазотрофів зростає з переходом від мінеральної до органічної системи удобрення. Ґрунти сучасних агроценозів потребують біологічної корекції. Крім агроприємів, що сприяють додатковому надходженню органічної речовини, у технологіях вирощування сільськогосподарських культур необхідно передбачати використання мікробних препаратів, які збагачують ґрунт корисними формами мікроорганізмів та позитивно впливають на засвоєння елементів живлення рослинами [43, 46].

Важливу роль у формуванні мікробного ценозу ґрунту відіграє сівозміна. Неврахування сівозмінного чинника призводить до формування специфічних мікробних угруповань у ґрунті, доміантними видами яких стають патогенні мікроорганізми, розвивається ґрунтовтома [191].

Результати досліджень показали, що за вирощування пшениці озимої на контролі без добрив загальна кількість бактерій в орному шарі ґрунту за попередника конюшини становила 36,1, вики ярої – 26,4 млн КУО в 1 г сухого ґрунту. У складі бактеріального мікроценозу домінували олігонітофіли та нітрифікатори: у ланці з конюшиною – відповідно 12,5 та 12,3 млн КУО, викою ярою – 8,1 та 9,6 млн КУО в 1 г сухого ґрунту. Кількість амоніфікуючих та фосформобілізуєчих бактерій не відрізнялась по ланках сівозміни в зазначений період за чисельністю бактерій відповідно 7,6–8,8 та 1,1–2,5 млн КУО в 1 г сухого ґрунту. Не мали впливу ланки сівозміни на розвиток мікроміцетів у ґрунті в період весняного кущення пшениці озимої. Їх чисельність була спів ставною і становила 71–72 млн КУО в 1 г сухого ґрунту. Попередник конюшина забезпечувала ґрунт значно більшою кількістю кореневих решток і біологічного азоту, що сприятливі умови для процесів нітрифікації. Кількість нітрифікаторів

у ґрунті перевищила кількість амоніфікаторів в ланці з конюшиною – на 40%, ланці з викою ярою – на 26% (табл. 3.41).

Таблиця 3.41 Чисельність мікроорганізмів у період весняного кушення пшениці озимої залежно від ланки сівозміни і системи удобрення, БЦДСС, 2017-2019 рр.

№ вар.	Ланка сівозміни (фактор А)	Доза добрив під пшеницю (фактор В)	Мікроміцети, тис. КУО в 1 г ґрунту	Бактерій, млн. КУО в 1 г сухого ґрунту				Загальна кількість
				I	II	III	IV	
11	ячмінь – конюшина	Без добрив (контроль)	71	8,8	2,5	12,5	12,3	36,1
13	– пшениця озима	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	117	14,6	1,6	12,8	13,2	42,2
4		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + солома	88	10,9	1,6	9,6	11,7	33,8
5		N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	122	10,5	1,9	10,0	16,3	38,7
51	ячмінь – вико яра –	Без добрив (контроль)	72	7,6	1,1	8,1	9,6	26,4
41	пшениця озима	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	79	15,6	2,0	16,9	11,1	45,6
49		N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	106	7,1	1,5	11,7	14,5	34,8
НІР ₀₅ (фактор А)			0,6	0,1	0,1	0,3	0,2	1,6
НІР ₀₅ (фактор В)			4,4	0,4	0,1	0,4	0,4	0,8
НІР ₀₅ (фактор А+В)			4,7	0,5	0,1	0,6	0,6	2,3

Примітка: I - амоніфікатори, II - фосформобілізувачі, III - олігонітрофіли, IV - нітрифікатори

Чисельність ґрунтової мікрофлори у весняний період зростала за застосування мінеральних добрив. За дози добрив N₆₀P₆₀K₆₀ під пшеницю озиму на фоні традиційної органо-мінеральної системи удобрення сівозміни (N₄₃P₄₃K₄₃ + 8,3 т гною на 1 га сівозміни) загальна кількість бактерій в орному шарі за попередника конюшини становила 42,2 млн КУО, мікроміцетів – 117; попередника вики ярої – відповідно 45,6 та 79 млн КУО в 1 г сухого ґрунту. У ланці з конюшиною мінеральні добрива істотно збільшили чисельність бактеріальної мікрофлори і мікроміцетів порівняно з контролем без добрив – відповідно на 6,1 та 46 млн КУО, тоді як у ланці з викою ярою переважно зростала чисельність бактерій – на 19,2 млн КУО в 1 г

сухого ґрунту порівняно з контролем. У складі бактеріальної мікрофлори ґрунту мінеральні добрива посилили переважно розвиток амоніфікаторів. За попередника конюшини їх чисельність в період весняного кушення пшениці озимої зросла порівняно з контролем без добрив на 5,8 млн КУО, вики ярої – на 8,0 і становила відповідно 14,6 та 15,6 млн КУО в 1 г сухого ґрунту. Чисельність інших груп бактерій зростала менш виразно в агроценозі пшениці озимої за застосування мінеральних добрив.

Збільшення дози азотних добрив під пшеницю озиму з 60 до 90 кг/га за традиційної органо-мінеральної системи удобрення сівозміни ($N_{65}P_{43}K_{43} + 8,3$ т гною на 1 га сівозміни) супроводжувалось зменшенням активності бактеріального ценозу ґрунту та зростанням чисельності мікроміцетів. Загальна кількість бактерій порівняно з дозою добрив $N_{60}P_{60}K_{60}$ у ланці з конюшиною зменшилась на 3,5 млн КУО, викою ярою – на 10,8 і становила відповідно 38,7 та 34,8 млн КУО в 1 г сухого ґрунту. При цьому підвищена доза азотних добрив інгібуюче впливала на розвиток амоніфікаторів у ґрунті і значно посилювала нітрифікаційну його активність. За дози добрив $N_{90}P_{60}K_{60}$ порівняно з дозою $N_{60}P_{60}K_{60}$ кількість амоніфікаторів в чорноземі вилугуваному по ланках сівозміни зменшилась на 4,1–8,5, натомість нітрифікаторів зросла – на 3,1–3,4 млн КУО в 1 г сухого ґрунту. Застосування підвищених доз азотних добрив в ланці з бобовими травами супроводжується посиленням нітрифікаційної активності ґрунту.

Інгібуючий вплив на розвиток мікробного ценозу чорнозему вилугуваного мало застосування альтернативної з використанням побічної продукції системи удобрення. За внесення на 1 га сівозміни $N_{43}P_{43}K_{43} +$ побічна продукція у ланці з конюшиною кількість бактерій порівняно з традиційною органо-мінеральною системою удобрення зменшилась з 42,2 до 33,8 млн КУО в 1 г сухого ґрунту, мікроміцетів – з 117 до 88 млн КУО в 1 г сухого ґрунту. У складі бактеріального ценозу істотно зменшилась кількість амоні- та нітрифікаторів, що може бути наслідком посилення іммобілізації азоту ґрунтом внаслідок незбалансованого вуглецево-азотного співвідношення.

Результати кореляційно-регресійного аналізу показали тісну лінійну кореляційну залежність між кількістю нітрифікуючих бактерій у ґрунті та запасами мінерального азоту в 0-40 см шарі ґрунту в період весняного кушення пшениці озимої з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 0,8168$ (рис. 3.4). Це засвідчує, що бобові попередники (накопичувачі

біологічного азоту у ґрунті) та система удобрення, підвищуючи кількість нітрифікуючих бактерій у ґрунті, здатні істотно посилити живлення рослин пшениці озимої мінеральним азотом у весняний період.

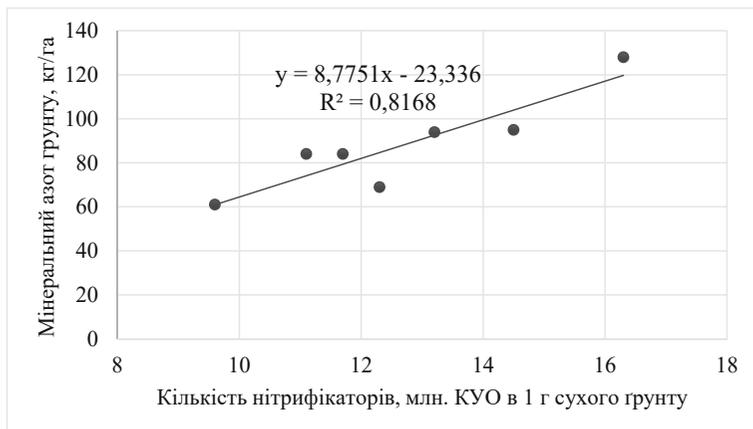


Рис. 3.4 Кореляційна залежність між кількістю нітрифікаторів та запасами мінерального азоту в 0-40 см шарі ґрунту у фазі весняного кушення пшениці озимої, БЦДСС, 2017–2019 рр.

Структура ланки сівозміни та система удобрення менше впливали розвиток фосформобілізуючих бактерій у ґрунті. На контролі без добрив кількість фосфор мобілізуючих бактерій визначено більшою у ланці з конюшиною – 2,5 млн. КУО, тоді як в ланці з викою ярою – 1,1 млн. КУО в 1 г абсолютно сухого ґрунту.

Внесення мінеральних добрив під пшеницю озиму в дозі $N_{60}-90P_{60}K_{60}$ супроводжувалось зменшенням фосфор мобілізаційної активності мікроорганізмів у ланці з конюшиною, натомість у ланці з викою ярою вона незначно зростала. За попередники конюшини кількість фосфор мобілізуючих бактерій становила 1,6-1,9 млн. КУО, вики ярої – 1,5-2,0 млн. КУО в 1 г абсолютно сухого ґрунту.

Мінералізація органічної речовини у ґрунтах збіднених на азот протікає за участі мікроорганізмів олігонітрофілів. Результати досліджень показали, що найбільшу їх кількість у ґрунті у фазі весняного кушення пшениці озимої спостерігали у ланці з викою ярою за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 16,9 млн. КУО, за показника на контролі без добрив – 8,1 млн. КУО в 1 г абсолютно сухого ґрунту. У ланці з

конюшиною за аналогічної дози добрив кількість олігонітрофілів становила 12,8 млн. КУО, за показника на контролі без добрив – 12,5 млн. КУО в 1 г абсолютно сухого ґрунту.

Загальна чисельність ґрунтової мікрофлори найбільш високою в обох ланках визначено за внесення під пшеницю озиму $N_{60}P_{60}K_{60}$ на фоні традиційної органо-мінеральної системи удобрення ($N_{43}P_{43}K_{43} + 8,3$ т/га гною на 1 га сівозмінної площі). У фазі весняного кушення пшениці озимої кількість мікроорганізмів у ланці з конюшиною становила 42,2 млн. КУО, викою ярою – 45,6, за показника на контролі без добрив – відповідно 36,1 та 26,4 млн. КУО в 1 г абсолютно сухого ґрунту.

Отже, найбільша кількість ґрунтових мікроорганізмів в чорноземі вилугуваному у фазі весняного кушення пшениці озимої в обох ланках сівозміни спостерігали за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ на фоні традиційної органо-мінеральної системи удобрення ($N_{43}P_{43}K_{43} + 8,3$ т/га гною на 1 га сівозмінної площі) – 42,2-45,6 млн. КУО в 1 г абсолютно сухого ґрунту. У складі ґрунтової мікрофлори переважали амоні- і нітрифікатори, що сприяло формуванню сприятливого для розвитку рослин пшениці озимої азотного режиму ґрунту.

3.4 Стан родючості чорнозему вилугуваного у сівозмінах за 50 річного застосування добрив

Основу родючості будь-якого ґрунту складають вміст в ньому гумусу та поживних речовин. Ґрунти зони Лісостепу України представлені різними підтипами чорноземів, які є найродючішими ґрунтами у світі. Проте інтенсивне використання ґрунтів, незбалансоване мінеральне живлення, малі обсяги надходження органічної речовини упродовж останніх десятиліть призвели до значного погіршення стану чорноземних ґрунтів, посилили їх деградацію, зробили їх вразливими до антропогенного навантаження, яке продовжує і надалі посилюватись. Чинником здатним запобігти подальшому погіршенню стану ґрунтів, втраті їх природної родючості є система удобрення, яка має бути збалансованою за органічним компонентом та дозами внесення мінеральних добрив. Технології вирощування сільськогосподарських культур в умовах сучасного виробництва мають базуватись на засадах сталості, коли дози внесення елементів живлення у ґрунт мають відповідати виносу їх

майбутнім урожаєм, а внесення органічних добрив має покривати щорічні втрати гумусу за рахунок мінералізації.

Результати досліджень в умовах стаціонарного досліді закладеного у 1973 році на Білоцерківській ДСС дають можливість простежити зміни стану гумусу і поживних речовин у ньому за 50-річний термін застосування добрив та з урахуванням впливу структури сівозмін. Відсутність зразків ґрунту на момент закладання досліді не дає можливості простежити абсолютні обсяги втрат гумусу за 50-річний період застосування добрив, проте визначення вмісту гумусу у ґрунті в посівах ячменю ярого упродовж 2022-2024 років за різних систем удобрення та структури сівозмін дозволяють визначити зміни його вмісту у ґрунті за довготривалого впливу зазначених факторів.

В середньому за 2022-2024 роки вміст гумусу в чорноземі вилугуваному у шарі 0-30 см у контролі без добрив був найменшим і варіював у розрізі впроваджуваних сівозмін: у плодозмінній сівозміні – 3,07%, зерно-просапній – 2,98%, просапній – 2,93%. Заміна бобових трав на зерно-бобові культури, збільшення частки просапних культур у зерно-бурякових сівозмінах посилює мінералізацію гумусу у ґрунті. У зерно-просапній сівозміні (частка просапних культур 17%) порівняно з плодозмінною де замість конюшини вирощували вику яру вміст гумусу у шарі 0-30 см за 50 років використання зменшився на 0,09%. У просапній сівозміні (частка просапних культур 33%) де вирощували сою і соняшник вміст гумусу порівняно з плодозмінною сівозмінною зменшився на 0,14%. Це дає підстави вважати, що у сучасних сівозмінах, у яких відсутні багаторічні бобові трави, які дедалі частіше насичують просапними культурами на зразок кукурудзи, соняшнику, ріпаку, виникають додаткові ризики з посилення мінералізації гумусу, посилення процесів деградації, що веде до втрати ґрунтами природної родючості (рис. 3.5).

Тривале упродовж 50 років внесення $N_{53}P_{43}K_{43}$ на 1 га сівозміні посилює мінералізацію гумусу порівняно з контролем де мінеральні добрива не вносили. За внесення $N_{53}P_{43}K_{43}$ на 1 га ріллі вміст гумусу у плодозмінній сівозміні зменшився порівняно з контролем без добрив – на 0,09%, зерно-просапній – на 0,05% за абсолютних показників – 2,98% та 2,93%, відповідно. Кількість органічної речовини, яка за мінеральної системи удобрення надходила у ґрунт лише з кореневими рештками сільськогосподарських культур виявилась недостатньою для підтримання вмісту гумусу у ґрунті на

рівні контролю без добрив. Внесення мінеральних добрив посилює мінералізаційні процеси у ґрунті і змістило рівновагу між синтезом та мінералізацією органічної речовини в бік мінералізації.

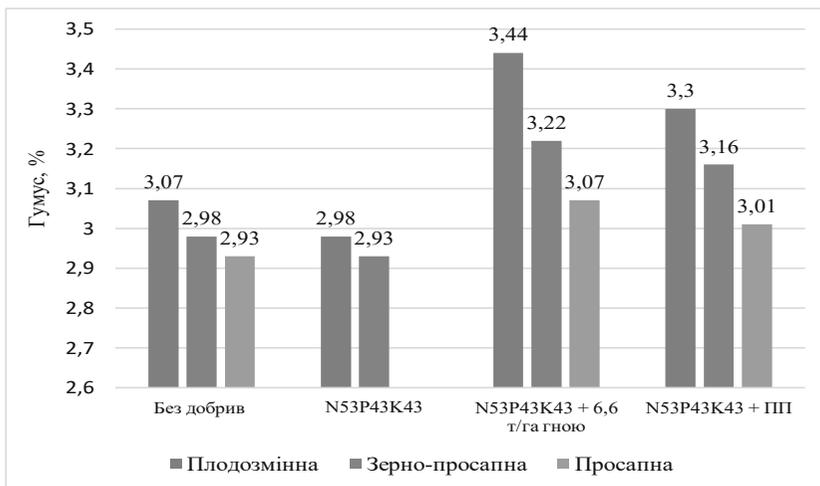


Рис. 3.5 Вміст гумусу в чорноземі вилугуваному у шарі 0-30 см залежно від структури сівозміни та удобрення, БЦДСС, %, 2022-2024 рр.; ПП – побічна продукція

Значне зростання вмісту гумусу в чорноземі вилугуваному порівняно з контролем без добрив спостерігали в усіх сівозмінах за традиційної органо-мінеральної системи удобрення. Внесення упродовж 50 років $N_{53}P_{43}K_{43} + 6,6$ т гною на 1 га ріллі забезпечило вміст гумусу у шарі 0-30 см в умовах плодозмінної сівозміни – 3,44%, зерно-просапної – 3,22%, просапної – 3,07%. Порівняно з контролем без добрив вміст гумусу в орному шарі (0-30 см) плодозмінної сівозміни підвищився – на 0,37%, зерно-просапної – на 0,24%, просапної – на 0,14%. Порівнюючи сівозміни між собою варто зазначити, що у плодозмінній сівозміні вміст гумусу був вищим, ніж у зерно-просапній – на 0,22%, ніж у просапній – на 0,37%. Застосування гною та мінеральних добрив у плодозмінній сівозміні мало найбільш виражений вплив на накопичення гумусу у ґрунті. Гумусоутворенню сприяло вирощування у плодозмінній сівозміні багаторічної бобової трави конюшини. За рахунок добре розвиненої кореневої системи та

високих обсягів накопичення біологічного азоту конюшина створювала додатковий резерв органічної речовини для утворення гумусу, натомість процеси мінералізації гумусу у плодозмінній сівозміні уповільнювались із-за зменшення кількості обробітків ґрунту. У сукупності внесення гною і наявність багаторічних бобових трав у плодозмінній сівозміні створили найкращі умови для накопичення гумусу та досягнення його стабільності у ґрунті.

Накопиченню гумусу в чорноземі вилугуваному сприяло застосування альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. Застосування у зерно-бурякових сівозмінах упродовж 50 років $N_{53}P_{43}K_{43}$ разом з побічною продукцією на 1 га ріллі забезпечило вміст гумусу у шарі ґрунту 0-30 см плодозмінної сівозміни – 3,30%, зерно-просапної – 3,16%, просапній – 3,01%. Порівняно з контролем без добрив вміст гумусу у плодозмінній сівозміні підвищився – на 0,23%, зерно-просапній – на 0,18%, просапній – на 0,08%. За альтернативного удобрення найкращі умови для відтворення гумусу створювались у плодозмінній сівозміні, дещо гірші були у зерно-просапній, а найменш сприятливими були у просапній сівозміні. Вміст гумусу у плодозмінній сівозміні за альтернативного удобрення був вищим, ніж у зерно-просапній – на 0,14%, ніж у просапній – на 0,29%. Альтернативне удобрення сівозмін поступалась традиційному на основі гною удобренню за вмістом гумусу в орному 0-30 см шарі у розрізі сівозмін – на 0,06-0,14%.

Отже, найвищий вміст гумусу у ґрунті досягнуто за внесення на 1 га ріллі $N_{53}P_{43}K_{43}$ + 6,6 т гною у плодозмінній сівозміні – 3,44%, що було вищим порівняно з контролем без добрив – на 0,37%. Незначно поступалась за ефективністю альтернативне органо-мінеральне удобрення, коли вносили на 1 га ріллі $N_{53}P_{43}K_{43}$ та побічну продукцію – вміст гумусу 3,30%, що визначено вищим порівняно з контролем без добрив – на 0,23%. У зерно-просапній та просапній сівозмінах вміст гумусу за традиційного органо-мінерального удобрення зменшився порівняно з плодозмінною сівозміною – на 0,22-0,37%, альтернативної – на 0,14-0,23%. Тривале упродовж 50 років застосування лише мінеральних добрив у сівозмінах спричинило посилену мінералізацію гумусу і зменшило вміст гумусу до контролю без добрив на 0,05-0,09%.

Тривале застосування добрив у коротко ротаційних сівозмінах істотно покращило поживний режим чорнозему вилугуваного. Вивчення вмісту легкогідролізованого азоту у ґрунті показало, що на

контролі без добрив його вміст у шарі 0-30 см у плодозмінній сівозміні становив – 102 мг/кг, зерно-просапний – 97, просапний – 101, підорному 30-40 см – 98, 85 та 87 мг/кг ґрунту, відповідно. Структура сівозмін не впливала істотно на вміст легкогідролізованого азоту в орному 0-30 см шарі ґрунту. У підорному 30-40 шарі збільшення легкогідролізованого азоту спостерігали у плодозмінній сівозміні порівняно з зерно-просапною та просапною сівозмінами на 0,13 та 0,11 мг/кг ґрунту, відповідно (табл. 3.42).

Таблиця 3.42 Вміст легкогідролізованого азоту в чорноземі вилугуваному за тривалого застосування добрив у сівозмінах, БЦДСС, 2022-2024 рр., мг/кг ґрунту

№ вар	Сівозміна (фактор А)	Дози добрив на 1 га сівозміни (фактор В)	Шар ґрунту, см	
			0-30	30-40
11	Плодозмінна	Без добрив (контроль)	102	98
2		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃	110	95
13		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + 6,6 т/га гною	116	97
4		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	113	97
51	Зерно-просапна	Без добрив (контроль)	97	85
55		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃	109	102
53		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + 6,6 т/га гною	112	100
49		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	116	103
31	Просапна	Без добрив (контроль)	101	87
33		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + 6,6 т/га гною	113	101
26		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	112	102
НР ₀₅ (фактор А)			2	2
НР ₀₅ (фактор В)			5	4
НР ₀₅ (фактор А+В)			7	6

Застосування добрив істотно підвищило вміст легкогідролізованого азоту в чорноземі вилугуваному в розрізі усіх сівозмін. За внесення мінеральних добрив упродовж 50 років в дозі N₅₃P₄₃K₄₃ на 1 га ріллі вміст легкогідролізованого азоту у 0-30 см шарі плодозмінної сівозміни підвищився порівняно з контролем без добрив – на 8 мг/кг, зерно-просапної – на 12 за абсолютних показників – відповідно 110 та 109 мг/кг ґрунту. У шарі 30-40 см вміст легкогідролізованого азоту неістотно варіював у плодозмінній сівозміні і підвищився на 17 мг/кг ґрунту у зерно-просапній сівозміні. Це може бути пов'язане з більш розвинутою кореневою системою

сільськогосподарських культур у варіантах з внесенням добрив, що є основою органічних форм азоту, включаючи легкогідролізовану форму.

Підвищенню вмісту легкогідролізованого азоту у ґрунті сприяло застосування орґано-мінеральних систем удобрення. За внесення упродовж 50 років $N_{53}P_{43}K_{43}$ + 6,6 т гною на 1 га ріллі у плодозмінній сівозміні вміст легкогідролізованого азоту в 0-30 см шарі ґрунту становив 116 мг/кг, зерно-просапній – 112, просапній – 113, що було вищим у порівнянні з контролем без добрив – на 14, 15 та 12 мг/кг ґрунту, відповідно. У шарі 30-40 см шарі ґрунті вміст легкогідролізованого азоту був вищим у порівнянні з контролем без добрив у зерно-просапній та просапній сівозмінах – відповідно на 15 та 14 мг/кг ґрунту і зберігав рівновагу у плодозмінній сівозміні. В розрізі сівозмін вміст легкогідролізованого азоту варіював неістотно, що вказує на зменшення впливу сівозмінного фактору на вміст легкогідролізованого азоту у ґрунті за застосування орґано-мінеральної системи удобрення.

Вплив альтернативного на основі гною орґано-мінерального удобрення на фонд легкогідролізованого азоту ґрунту рівнявся впливу традиційного орґано-мінерального удобрення. За довготривалого внесення $N_{53}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га ріллі вміст легкогідролізованого азоту в 0-30 см шарі ґрунту плодозмінної сівозміні становив 113 мг/кг, зерно-просапної – 116, просапної – 112, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим – на 11, 19 та 11 мг/кг ґрунту, відповідно. У підорному 30-40 см шарі ґрунті вміст легкогідролізованого азоту підвищився до контролю без добрив у зерно-просапній та просапній сівозмінах – відповідно на 18 та 15 мг/кг ґрунту і зберігав рівновагу у плодозмінній сівозміні. Фактор сівозмін як і за традиційної орґано-мінеральної системи удобрення не впливав істотно на фонд легкогідролізованого азоту у ґрунті.

Отже, застосування добрив у коротко ротаційних зерно-бурякових сівозмінах визначено головним фактором підвищення вмісту легкогідролізованого азоту у ґрунті, структура сівозмін не впливала істотно на цей показник. Застосування орґано-мінеральних традиційної та альтернативної систем удобрення підвищило вміст легкогідролізованого азоту у ґрунті порівняно з мінеральною системою удобрення у розрізі сівозмін – на 3-7 мг/кг ґрунту.

Довготривале застосування добрив у коротко ротаційних зерно-бурякових сівозмінах супроводжувалось накопиченням

рухомих фосфатів у ґрунті і сформувало високий рівень забезпечення чорнозему вилугуваного рухомим фосфором. Так, вміст рухомого фосфору у орному 0-30 см шарі на контролі без добрив був найнижчим і незначно варіював у розрізі сівозмін: у плодозмінній сівозміні – 130 мг/кг, зерно-просапній та просапній сівозмінах – 138 мг/кг ґрунту. У підорному 30-40 см шарі ґрунту вміст рухомого фосфору зберігався на рівні орного шару і становив в межах 131-139 мг/кг ґрунту (табл. 3.43).

Таблиця 3.43 Вміст рухомого фосфору в чорноземі вилугуваному за тривалого застосування добрив у сівозмінах, БЦДСС, 2022-2024 рр., мг/кг ґрунту

№ вар	Сівозміна (фактор А)	Дози добрив на 1 га сівозміни (фактор В)	Шар ґрунту, см	
			0-30	30-40
11	Плодозмінна	Без добрив (контроль)	130	131
2		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃	223	204
13		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + 6,6 т/га гною	290	218
4		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	244	202
51	Зерно-просапна	Без добрив (контроль)	138	139
55		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃	249	197
53		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + 6,6 т/га гною	294	233
49		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	245	215
31	Просапна	Без добрив (контроль)	138	138
33		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + 6,6 т/га гною	301	247
26		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	231	171
НІР ₀₅ (фактор А)			4	3
НІР ₀₅ (фактор В)			11	9
НІР ₀₅ (фактор А+В)			14	12

Довготривале упродовж 50 років застосування фосфорних добрив у дозі 42 кг/га ріллі сформувало високий рівень забезпечення чорнозему вилугуваного рухомим фосфором. При внесенні N₅₃P₄₃K₄₃ на 1 га сівозміни вміст рухомого фосфору підвищився в обох шарах 0-30 см та 30-40 см у розрізі усіх сівозмін. Так, у плодозмінній сівозміні за внесення мінеральних добрив вміст рухомого фосфору у шарі 0-30 см підвищився на 93 мг/кг, зерно-просапній – на 111 і становив – відповідно 223 і 249 мг/кг ґрунту. У шарі 30-40 см мінеральна система удобрення підвищила вміст рухомого фосфору до контролю без добрив на 73 та 58 мг/кг за абсолютних величин – відповідно 204 та

197 мг/кг ґрунту. Слід зазначити, що у зерно-просапній сівозміні вміст рухомого фосфору у шарі 0-30 см був вищим, ніж у плодозмінній сівозміні на 26 мг/кг ґрунту. Це може бути спричинено більш інтенсивними обробітками ґрунту у зерно-просапній сівозміні та їх впливом на мінералізацію органічних сполук фосфору ґрунту, які стали додатковим джерелом у збільшенні фонду рухомих фосфатів.

Найбільших обсягів накопичення рухомого фосфору у ґрунті досягали за довготривалого застосування на чорноземі вилугуваному традиційної органо-мінеральної системи удобрення. За внесення упродовж 50 років на 1 га ріллі $N_{53}P_{43}K_{43}$ разом з 6,6 т гною вміст рухомого фосфору у шарі 0-30 см плодозмінної сівозміни становив 290 мг/кг, зерно-просапної – 294, просапної – 301. Порівняно з контролем без добрив вміст рухомого фосфору був вищим – відповідно на 160, 155 та 163 мг/кг ґрунту. У шарі 30-40 см вміст рухомого фосфору підвищився до контролю без добрив у плодозмінній сівозміні – на 87 мг/кг, зерно-просапній – на 94, просапній – на 109 за абсолютних показників 218, 233 та 247 мг/кг ґрунту. За шкалою забезпечення ґрунту рухомих фосфором тривале органо-мінеральне удобрення зерно-бурякових сівозмін спричинило дуже високий рівень забезпечення чорнозему вилугуваного рухомих фосфором. Слід зазначити, що збільшення інтенсивності обробіток ґрунту, яке притаманне зерно-просапній та просапній сівозмінам забезпечило підвищення вмісту рухомого фосфору у орному 0-30 см шарі порівняно з плодозмінною сівозміною – на 4-11, у підорному шарі (30-40 см) – на 15-29 мг/кг ґрунту.

Висока забезпеченість чорнозему вилугуваного рухомих фосфором формувалась за альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. За внесення $N_{53}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га ріллі у плодозмінній сівозміні вміст рухомого фосфору в 0-30 см шарі ґрунту становив 244 мг/кг, зерно-просапній – 245, просапній – 231 мг/кг ґрунту. Порівняно з контролем без добрив вміст рухомого фосфору був вищим – відповідно на 114, 107 та 93 мг/кг ґрунту. У шарі 30-40 см шарі ґрунті вміст рухомого фосфору підвищився до контролю без добрив у плодозмінній сівозміні – на 71 мг/кг, зерно-просапній – на 76, просапній – на 33 за абсолютних показників 202, 215 та 171 мг/кг ґрунту. Зниження вмісту рухомого фосфору спостерігали у просапній сівозміні порівняно з плодозмінною та зерно-просапною на 13-14 мг/кг ґрунту. Альтернативна органо-мінеральна не створювала

значних переваг у забезпеченні ґрунту рухомими фосфатами порівняно з мінеральним удобренням.

Отже, довготривале внесення фосфору у складі добрив в дозі 42 кг/га ріллі спричинило значне накопичення рухомих фосфатів у чорноземі вилугуваному і формувало високу забезпеченість ґрунту рухомим фосфором. Найвищий вміст рухомого фосфору у ґрунті досягався за традиційної органо-мінеральної системи удобрення: у шарі 0-30 см – 290-301, шарі 30-40 см – 218-247 мг/кг ґрунту. У просапній сівозміні порівняно з плодозмінною та зерно-просапною сівозмінами вміст рухомого фосфору був вищим на 13-14 мг/кг ґрунту.

Довготривале внесення органічних та мінеральних добрив забезпечило істотне зростання вмісту рухомого калію у ґрунті, проте доза калію мінеральних добрив 42 кг/га ріллі не призвела до значного накопичення рухомого калію у чорноземі вилугуваному, але підтримувала його вміст на середньому, а за органо-мінеральної системи удобрення на підвищеному рівні забезпечення. Вміст рухомого калію у контролі без добрив у шарі 0-30 см плодозмінної сівозміни становив 76 мг/кг, зерно-просапної – 82, просапної – 76 мг/кг ґрунту. У шарі 30-40 см вміст рухомого калію був нижчим порівняно з орним шаром на 8-18 мг/кг і становив у плодозмінній сівозміні – 64, зерно-просапній – 64, просапній – 68 мг/кг ґрунту. Фактор сівозмін не впливав істотно на вміст та перерозподіл рухомих сполук калію в чорноземі вилугуваному (табл. 3.44).

Застосування калійних добрив у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах в дозі 42 кг/га ріллі ($N_{53}P_{43}K_{43}$ на 1 га сівозміни) підвищило вміст рухомого калію порівняно з контролем без добрив – на 4 та 14, підорному – на 25 та 17 мг/кг ґрунту. Проте забезпеченість ґрунту рухомим калієм зберігалась на середньому рівні і становила у орному 0-30 см шарі – 80-96, підорному 30-40 см – 81-89 мг/кг ґрунту. Зазначена доза калійних добрив дозволила лише підтримувати вміст рухомих сполук калію у ґрунті на середньому рівні забезпечення. У зерно-просапній сівозміні вміст рухомих сполук калію у шарі 0-30 см порівняно з плодозмінною сівозміною був вищим на 16 мг/кг ґрунту, що може бути наслідком більш інтенсивної руйнації калій вмістних мінералів під впливом посиленних обробітків ґрунту, які притаманні зерно-просапним сівозмінам.

Таблиця 3.44 Вміст рухомого калію в чорноземі вилугуваному за тривалого застосування добрив у сівозмiнах, БЦДСС, 2022-2024 рр., мг/кг ґрунту

№ вар	Сiвозмiна (фактор А)	Дози добрив на 1 га сiвозмiни (фактор В)	Шар ґрунту, см	
			0-30	30-40
11	Плодозмiнна	Без добрив (контроль)	76	64
2		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃	80	89
13		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + 6,6 т/га гною	134	82
4		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + побiчна продукцiя	108	85
51	Зерно-просапна	Без добрив (контроль)	82	64
55		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃	96	81
53		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + 6,6 т/га гною	145	95
49		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + побiчна продукцiя	123	77
31	Просапна	Без добрив (контроль)	76	68
33		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + 6,6 т/га гною	127	87
26		N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + побiчна продукцiя	103	79
		НР ₀₅ (фактор А)	2	2
		НР ₀₅ (фактор В)	5	4
		НР ₀₅ (фактор А+В)	6	5

Найвищий вміст рухомого калію в чорноземі вилугуваному спостерігали за довготривалого застосування традиційної на основі гною системи удобрення. За внесення упродовж 50 років N₅₃P₄₃K₄₃ + 6,6 т гною на 1 га ріллі у плодозмінній сiвозмiні вміст рухомого калію у шарі 0-30 см рiвнявся 134 мг/кг, зерно-просапний – 145, просапний – 127, що порiвняно з контролем без добрив визначено вищим – на 58, 63 та 51 мг/кг ґрунту, вiдповiдно. У пiдорному 30-40 см шарі ґрунтi вміст рухомого калію пiдвищився до контролю без добрив у плодозмінній сiвозмiні – на 18 мг/кг, зерно-просапний – на 31, просапний – на 19 за абсолютних показників 82, 95 та 87 мг/кг ґрунту. Значні додаткові обсяги внесення калію у ґрунт у складі гною, які становили 40 кг/га ріллі, сприяли накопиченню калію у ґрунтi і сформували пiдвищену забезпеченiсть ґрунту рухомим калієм. У розрiзі сiвозмiн найкращі умови калійного режиму чорнозему вилугуваного формувались у зерно-просапній сiвозмiні, де його вміст перевищив вміст калію у ґрунтi плодозмінної сiвозмiни – на 11, просапної – на 18 мг/кг ґрунту.

Позитивний вплив на формування калійного режиму чорнозему вилугуваного мало застосування альтернативної органо-

мінеральної системи удобрення. За внесення $N_{53}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га ріллі у плодозмінній сівозміні вміст рухомого калію у шарі 0-30 см рівнявся 108 мг/кг, зерно-просапній – 123, просапній – 103, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим – відповідно на 32, 41 та 27 мг/кг ґрунту. У підорному шарі 30-40 см вміст рухомого калію підвищився порівняно з контролем без добрив у сівозміні плодозмінній – на 18 мг/кг, зерно-просапній – на 13, просапній – на 11 за абсолютних показників 85, 77 та 79 мг/кг ґрунту. За тривалого альтернативного органо-мінерального удобрення найвищий вміст рухомого калію спостерігали у зерно-просапній сівозміні з перевагою до плодозмінної – на 15, просапною – на 20 мг/кг ґрунту. Порівняно з мінеральною системою удобрення поєднане внесення мінеральних добрив і побічної продукції підвищило вміст рухомих сполук калію в орному шарі у розрізі сівозмін – на 27-28 мг/кг ґрунту. Зростання вмісту рухомого калію у ґрунті може бути обумовлене зменшенням його виносу у складі побічної продукції, яку залишали на полі за альтернативної системи удобрення.

Отже, довготривале внесення калійних добрив в дозі 42 кг/га ріллі лише підтримувало вміст рухомого калію у чорноземі вилугуваному на середньому рівні забезпечення – 80-96 мг/кг ґрунту. Найвищий вміст рухомого калію у ґрунті досягався за традиційної органо-мінеральної системи удобрення: у шарі 0-30 см – 127-145, шарі 30-40 см – 82-95 мг/кг ґрунту. У зерно-просапній сівозміні порівняно з плодозмінною та просапною вміст рухомого калію був вищим на 11-18 мг/кг ґрунту. Ефективним у коротко ротаційних зерно-бурякових сівозмінах визначено застосування альтернативного удобрення з внесенням на 1 га ріллі $N_{53}P_{43}K_{43}$ та побічної продукції. У шарі 0-30 см вміст рухомих сполук калію становив 103-123 мг/кг, що порівняно з контролем без добрив було вищим – на 27-41 мг/кг ґрунту.

3.4.1 Вологозабезпеченість ґрунту та використання вологи пшеницею озимою

В епоху глобального потепління збільшення обсягів накопичення вологи у ґрунті та ефективне використання її рослинами є заходом до отримання стабільних врожаїв сільськогосподарських культур [211]. Технологічними заходами, які здатні впливати на ці процеси є система удобрення культур та оптимізація структури сівозмін.

Дослідження М.М. Мірошніченка, Б.С. Носка, Є.Ю. Гладкіх [211] свідчать, що така культура як пшениця озима за внесення добрив зменшила витрати вологи на формування однієї тони врожаю – на 15%, ячмінь ярий – на 30%, просо – на 24%, при цьому врожайність зерна зростає на 0,5 т/га.

Результати стаціонарного дослідження свідчать, що в посівах пшениці озимої на період відновлення весняного кушення в 0-20 см шарі ґрунту містилось 28-31 мм продуктивної вологи, в 0-100 см шарі – 135-164 мм, в 0-150 см шарі – 196-244 мм. Це досить високі запаси продуктивної вологи, які здатні забезпечити потреби рослин у волозі та сформувати їх високу врожайність (табл. 3.45).

Таблиця 3.45 Запаси продуктивної вологи у ґрунті залежно від структури сівозміни та удобрення, БЦДСС, 2019-2021 рр., мм

Шар ґрунту, см	Плодозмінна			Зерно-просапна			Просапна		
	варіанти								
	11	13	4	51	53	49	31	33	26
Весняне кушення									
0-20	28	30	28	31	30	31	31	28	28
0-50	79	78	74	76	79	73	80	69	73
0-100	164	147	157	149	152	149	155	135	136
0-150	244	218	224	219	213	217	225	200	196
Збирання врожаю									
0-20	25	17	16	18	14	13	17	14	15
0-50	47	39	32	39	27	29	39	25	27
0-100	103	65	61	83	58	58	77	54	59
0-150	159	104	95	136	96	92	128	94	94

Примітка: варіанти 11, 51 – контроль без добрив; варіанти 2, 55 – вносили N₅₃P₄₃K₄₃ на 1 га ріллі; варіанти 13, 53 – N₅₃P₄₃K₄₃ + 6,6 т/га гною; варіанти 4, 49 – N₅₃P₄₃K₄₃ разом з побічною продукцією

Накопичення вологи у ґрунті весною істотно залежало від сівозмін та системи удобрення і така диференціація найбільш виразно проявлялась у метровому та півтораметровому шарах ґрунту. У плодозмінній сівозміні запаси продуктивної вологи у 1 м та 1,5 м шарах були вищі, ніж у зерно-просапній та просапній сівозмінах. Так, на контролі без добрив у плодозмінній сівозміні у шарі 1 м містилось 164 мм вологи, шарі 1,5 м – 244 мм, у зерно-просапній сівозміні – 149 та 219, просапній – 155 та 225 мм, відповідно. В умовах плодозмінної

сівозміни пшениця озима мала вищу забезпеченість вологою весною порівняно із зерно-просапною в шарі 1 м – на 15 мм, 1,5 м – на 25 мм, просапною – на 9 та 19 мм.

За застосування традиційної органо-мінеральної системи удобрення на 1 га сівозміни в дозі $N_{53}P_{43}K_{43} + 6,6$ т гною запаси вологи у ґрунті весною зменшились до контролю без внесення добрив у плодозмінні у шарі 1 м – на 17 мм, 1,5 м – на 26 мм, у просапній – на 20 та 25 мм, у зерно-просапній сівозміні запаси вологи у ґрунті зберігались на рівні контролю без добрив. Порівнюючи сівозміни між собою можна зазначити, що за традиційної органо-мінеральної системи удобрення запаси вологи у ґрунті весною у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах були співставними і були менші у просапній сівозміні у шарі 1,5 м – на 13-18 мм.

За альтернативної органо-мінеральної системи удобрення з внесенням на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43} +$ побічна продукція запаси вологи у ґрунті весною були співставні з традиційною органо-мінеральною системою удобрення: у плодозмінній сівозміні у шарі 1 м – 157 мм, 1,5 м – 224 мм, зерно-просапній – 149 та 217, просапній – 136 та 196 мм. У розрізі сівозмін запаси вологи у просапній сівозміні були менші порівняно з плодозміною та зерно-просапною у шарі 1 м – на 13-21 мм, шарі 1,5 м – на 21-26 мм. Довготривале близько 50 років вирощування культур в умовах плодозмінної та зерно-просапної сівозмін збільшувало обсяги накопичення вологи у ґрунті весною в посівах пшениці озимої порівняно з просапною сівозміною. При цьому запаси вологи у ґрунті в усіх сівозмінах були менші, ніж на контролі без добрив, що може бути спричинено інтенсивним використанням вологи рослинами у зв'язку з вищою їх біологічною продуктивністю.

На завершення вегетації пшениці озимої запаси вологи у 1 м шарі ґрунту на контролі без добрив у плодозмінній сівозміні зменшились порівняно з їх запасами весною у 1,59 рази, зерно-просапній – у 1,80 рази, просапній – у 2,01 рази; у шарі 1,5 м – відповідно у 1,53, 1,61 та 1,78 рази. З переходом від плодозмінної до зерно-просапної та просапної сівозмін витрати вологи із ґрунту зростали. Це може бути спричинено зростанням частки просапних культур у зазначеній послідовності сівозмін, ці культури потребують більше вологи, а також зростанням непродуктивних втрат в результаті більш інтенсивних обробітків ґрунту за вирощування просапних культур.

За застосування органо-мінеральних систем удобрення витрати вологи із ґрунту в посівах пшениці озимої істотно зростали. Так, за внесення $N_{53}P_{43}K_{43} + 6,6$ т гною на 1 га сівозміни запаси вологи у ґрунті з початку весняної вегетації до збирання врожаю у плодозмінній сівозміні у шарі 1 м зменшились у 2,26 рази, зерно-просапній – у 2,62 рази, просапній – у 2,50 рази; у шарі 1,5 м – відповідно у 2,10, 2,22 та 2,13 рази. Аналогічна закономірність спостерігалась за альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. Значне зростання витрат продуктивної вологи із ґрунту за внесення добрив може бути спричинено зростанням врожайності пшениці озимої, яка потребувала більше вологи.

Отже, за вирощування пшениці озимої у плодозмінній сівозміні у весняний період у 1-1,5 м шарах чорнозему вилугуваного продуктивної вологи накопичувалось більше, ніж у зерно-просапній сівозміні – на 15-25 мм, просапній – на 9-19 мм, що створювало кращі умови забезпечення рослин вологою. За застосування органо-мінеральних систем удобрення у розрізі усіх сівозмін весняні запаси вологи у ґрунті були менші, ніж на контролі без добрив.

При порівнянні систем удобрення і сівозмін важливо встановити наскільки ефективно пшениця озима використовувала вологу із ґрунту для формування біологічного врожаю. Результати досліджень показали, що структура сівозмін та внесення добрив істотно впливали на процеси водоспоживання (рис. 3.6).

У контролі без внесення добрив рослини із ґрунту у плодозмінній сівозміні використовували 85 мм вологи, зерно-просапній – 83 мм, просапній – 107 мм, за рахунок опадів 244 мм, що спричинило сумарне водоспоживання у плодозмінній сівозміні – 3290 м³/га, зерно-просапній – 3270, просапній – 3410 м³/га. Обсяги споживання вологи у просапній сівозміні були істотно вищими, що може бути наслідком підвищених непродуктивних втрат.

За внесення $N_{53}P_{43}K_{43} + 6,6$ т гною на 1 га сівозміни сумарне водоспоживання у плодозмінній сівозміні становило 3580 м³/га, зерно-просапній – 3610, просапній – 3500 м³/га, що порівняно з контролем без добрив було вищим – відповідно на 290, 340 та 90 м³/га. За застосування $N_{53}P_{43}K_{43} +$ побічна продукція на 1 га сівозміни сумарне водоспоживання у плодозмінній сівозміні становило 3730 м³/га, зерно-просапній – 3690, просапній – 3460 м³/га. Порівняно з контролем без внесення добрив водоспоживання було вищим – відповідно на 440,

420 та 50 м³/га. Збільшення споживання рослинами вологи є наслідком істотно зростання врожайності пшениці озимої.

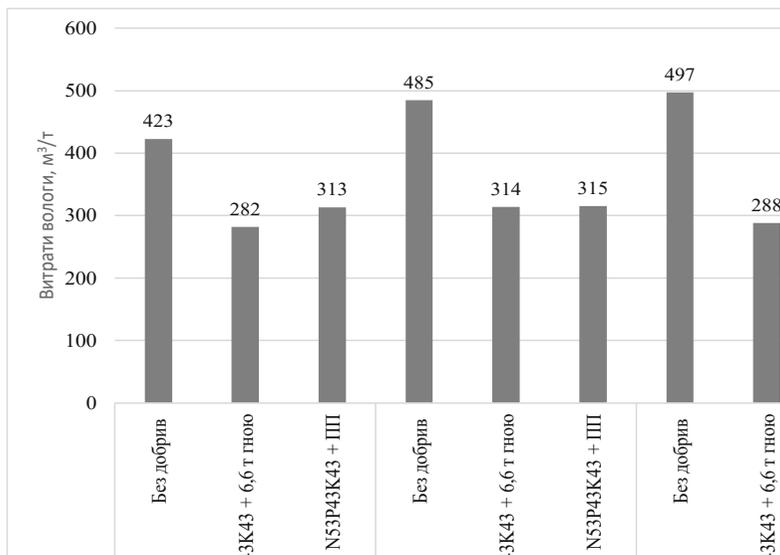


Рис. 3.6 Використання вологи посівами пшениці озимої залежно від структури сівозмін та удобрення, БЦДСС, 2019-2021 рр.; ПП – побічна продукція

Показником, що дозволяє оцінити ефективність використання вологи рослинами є витрати вологи на формування однієї тони біологічного врожаю. Проведені розрахунки показали, що на контролі без добрив на формування однієї тони сухої речовини біологічного врожаю рослини витрачали у плодозмінній сівозміні – 423 м³, зерно-просапній – 485, просапній – 497 м³. З переходом від плодозмінної до зерно-просапної сівозміні витрати вологи на одну тону врожаю пшениці озимої зросли на 62 м³, до просапної – на 74 м³. В умовах плодозмінної сівозміні волога найефективніше використовувалась рослинами при формуванні біологічного врожаю.

Застосування N₅₃P₄₃K₄₃ + 6,6 т гною на 1 га сівозміні зменшило витрати вологи на формування однієї тони врожаю у розрізі сівозмін, якщо порівняти з контролем без удобрення, то у 1,5-1,7 рази. У плодозмінній сівозміні витрати вологи становили 282 м³, зерно-просапній – 314, просапній – 288 м³. За традиційної органо-

мінеральної системи удобрення витрати води у розрізі сівозмін незначно коливались і були дещо вищими у зерно-просапній сівозміні.

Ефективному використанню пшеницею озимої води сприяло застосування альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. За внесення на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43}$ разом з побічною продукцією витрати води у плодозмінній сівозміні становили 313 м³, зерно-просапній – 315, просапній – 293 м³. Порівняно з контролем без добрив витрати води на формування однієї тони біологічного врожаю зменшились у плодозмінній сівозміні – на 110 м³, зерно-просапній – на 170, просапній – на 204 м³. Наповнення ґрунту органічною речовиною побічної продукції сільськогосподарських культур істотно зменшило витрати води рослинами і така закономірність проявлялась яскравіше у сівозмінах де частка просапних культур була більшою. Це може бути наслідком зменшення непродуктивних витрат води із ґрунту, яке за вирощування просапних культур є значно вищим.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено обернену лінійну кореляційну залежність між врожайністю сухої біомаси пшениці озимої та витратами води на утворення однієї тони врожаю за її вирощування після вико-вівса у сівозмінах різної структури, коефіцієнт детермінації – $r^2 = 0,9782$ (рис. 3.7).

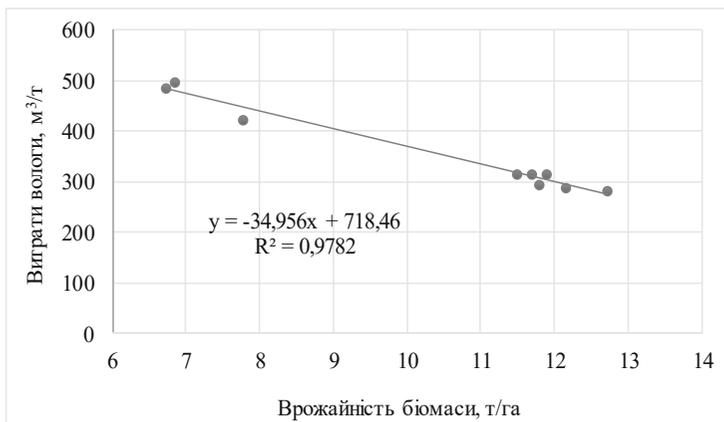


Рис. 3.7 Кореляційна залежність біологічною врожайністю пшениці озимої та витратами води, БЦДСС, 2019-2021 рр.

Структура сівозмін та система удобрення, що лежать в основі цього аналізу, свідчать про тісну кореляційну залежність між зазначеними показниками та витратами вологи на формування одиниці врожаю пшениці озимої. В епоху глобального потепління ці фактори можна використовувати для оптимізації волого забезпечення рослин пшениці озимої.

Повторні дослідження в посівах пшениці озимої було проведено за її вирощування у ланках з бобовими травами – конюшиною та викою ярою. Дослідження проводили у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах за трьох систем удобрення – традиційної та альтернативної органо-мінеральних систем та мінеральної. Результати досліджень показали, що у плодозмінній сівозміні за попередника конюшини на період відновлення весняного кушення в 0-20 см шарі ґрунту на контролі без добрив містилось 5 мм продуктивної вологи, в 0-100 см шарі – 98 мм, в 0-150 см шарі – 157 мм; у зерно-просапній сівозміні за попередника вики ярої – відповідно 9, 112 та 188 мм. Запаси продуктивної вологи у ґрунті були значно менші, ніж у попередні роки, коли пшеницю озиму вирощували після вико-вівса, що може бути наслідком впливу як попередника, так і погодних умов, що спостерігались у ці роки (табл. 3.46).

Таблиця 3.46 Запаси продуктивної вологи у ґрунті залежно від структури сівозміни та удобрення, БЦДСС, 2023-2024 рр., мм

Шар ґрунту, см	Плодозмінна				Зерно-просапна			
	варіанти							
	11	2	13	4	51	55	53	49
Весняне кушення								
0-20	5	9	8	9	9	7	9	9
0-50	36	28	39	30	43	28	33	32
0-100	98	76	77	51	112	89	87	88
0-150	157	126	133	130	188	157	150	147
Збирання врожаю								
0-20	8	11	5	6	13	6	7	7
0-50	30	31	18	19	38	25	27	26
0-100	60	45	32	39	68	47	46	47
0-150	101	63	58	59	118	70	68	71

Примітка: варіанти 11, 51 – контроль без добрив; варіанти 2, 55 – вносили N₅₃P₄₃K₄₃ на 1 га ріллі; варіанти 13, 53 – N₅₃P₄₃K₄₃ + 6,6 т/га гною; варіанти 4, 49 – N₅₃P₄₃K₄₃ разом з побічною продукцією

Застосування мінеральних добрив в дозі $N_{53}P_{43}K_{43}$ на 1 га сівозміні забезпечило запаси вологи на період відновлення весняного кущення в 0-20 см шарі ґрунту плодозмінної сівозміни – 9 мм, в 0-100 см шарі – 76 мм, в 0-150 см шарі – 126 мм; у зерно-просапній сівозміні – відповідно 7, 89 та 157 мм. Порівняно з контролем без добрив запаси вологи весною у 1 м шарі ґрунту плодозмінної сівозміни зменшились на 22 мм, у 1,5 м шарі – на 31 мм; у зерно-просапній сівозміні – відповідно на 23 та 31 мм. При цьому у зерно-просапній сівозміні у 1,5 шарі вологи було більше, ніж у плодозмінній – на 31 мм.

Застосування органо-мінеральних систем удобрення зберігали запаси вологи у ґрунті на період відновлення весняного кущення на рівні мінеральної системи удобрення. При внесенні $N_{53}P_{43}K_{43} + 6,6$ т гною на 1 га сівозміні запаси продуктивної вологи у 1,5 шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні становили весною 133 мм, зерно-просапній – 150 мм, за внесення $N_{53}P_{43}K_{43}$ разом з побічною продукцією – відповідно 130 та 147 мм. За попередників бобових трав мінеральна та органо-мінеральні системи удобрення мали співставний вплив на накопичення вологи у ґрунті весною, при цьому в умовах зерно-просапної сівозміни після попередника вики ярої вологи в 1,5 шарі ґрунту накопичувалось на 17-31 мм більше, ніж у плодозмінній сівозміні за попередника конюшини. Причиною цьому може бути більше споживання вологи конюшиною, порівняно з викою ярою.

На завершення вегетації запаси вологи у 1,5 м шарі ґрунту на контролі без добрив у плодозмінній сівозміні зменшились порівняно з їх запасами весною у 1,55 рази, зерно-просапній – у 1,59 рази. За внесення добрив запаси вологи у ґрунті у розрізі сівозмін зменшились – відповідно у 2,0-2,3 та 2,1-2,2 рази. На контролі без добрив у ґрунті вологи залилось більше на у плодозмінній сівозміні – на 38-43 мм, зерно-просапній – на 47-50 мм.

Результати досліджень показали, що система удобрення і структура сівозмін істотно покращили споживання вологи. На контролі без добрив із ґрунту рослини використали у плодозмінній сівозміні 56 мм, зерно-просапній – 70, опадів – 248 мм, сумарне водоспоживання у розрізі сівозмін становило – відповідно 3040 та 3180 м³/га (рис. 3.8).

За застосування у плодозмінній сівозміні $N_{53}P_{43}K_{43}$ на 1 га сумарне водоспоживання порівняно з контролем без добрив зросло – на 70 м³/га, $N_{53}P_{43}K_{43} + 6,6$ т гною – на 190 м³/га, $N_{53}P_{43}K_{43} +$ побічна продукція – на 150 м³/га за абсолютних величин – відповідно 3110,

3230 та 3190 м³/га. У зерно-просапній сівозміні водоспоживання було дещо вищим і у варіанті з внесенням N₅₃P₄₃K₄₃ на 1 га становило 3250 м³/га, N₅₃P₄₃K₄₃ + 6,6 т гною – 3300 м³/га, N₅₃P₄₃K₄₃ разом з побічною продукцією – 3240 м³/га. Порівняно з контролем без добрив сумарне водоспоживання у зазначеній сівозміні зросло – на 70, 120 та 60 м³/га.

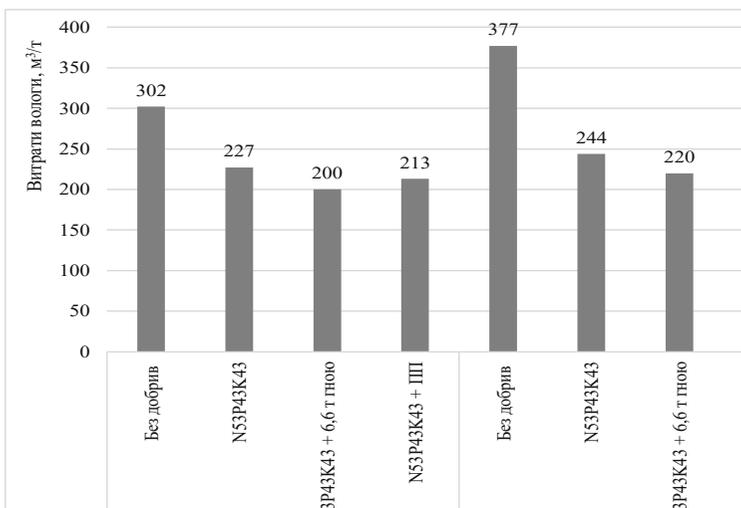


Рис. 3.8 Використання води посівами пшениці озимої залежно від структури сівозмін та удобрення, БЦДСС, 2023-2024 рр.; ПП – побічна продукція, у плодозмінній сівозміні попередником пшениці була конюшина, у зерно-просапній – вика яра

Розрахунок витрат води на формування однієї тони сухої речовини біологічного врожаю показало, що на контролі без добрив у плодозмінній сівозміні вони становили – 302 м³, зерно-просапній – 377 м³. За вирощування пшениці озимої після попередника конюшини витрати води на одну тону врожаю були менші, ніж за попередника вики ярої на 75 м³.

Застосування мінеральних добрив зменшило витрати рослинами води на формування врожаю, якщо порівняти з контролем без внесення добрив у плодозмінній сівозміні у 1,33 рази, зерно-просапній – у 1,55 рази. За застосування органічних і мінеральних добрив витрати води були ще менші: у плодозмінній сівозміні порівняно з контролем без добрив вони зменшились у 1,42-1,51 рази, зерно-просапній – у 1,70-1,71 рази.

Найменші витрати води на формування однієї тони біологічного врожаю визначено у плодозмінній сівозміні за внесення $N_{53}P_{43}K_{43} + 6,6$ т гною – 200 м^3 , що порівняно з контролем без добрив було меншим на 102 м^3 .

Кореляційно-регресійний аналіз показав, що існує тісна обернена кореляційну залежність між врожайністю сухої біомаси пшениці озимої та витратами води на утворення однієї тони врожаю за її вирощування після багаторічних бобових трав з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 0,9528$ (рис. 3.9). В епоху кліматичних змін оптимізувати витрати води рослинами пшениці озимої можна досягти шляхом підбору бобового попередника із числа бобових трав. Це дозволить, отримувати стабільні врожаї цієї культури з належною продуктивністю пшениці озимої.

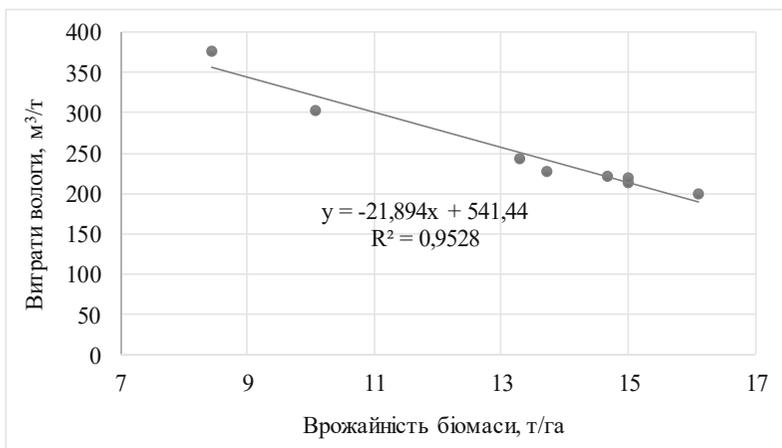


Рис. 3.9 Кореляційна залежність біологічною врожайністю пшениці озимої та витратами води, БЦДСС, 2023-2024 рр.

Отже, за наявності у сівозміні багаторічних бобових трав створювало найкращі умови для накопичення води у ґрунті та використання води рослинами пшениці озимої. Найефективніше пшениця озима використовувала воду із ґрунту за органомінеральної системи удобрення. За внесення у плодозмінній сівозміні $N_{53}P_{43}K_{43} + 6,6$ т гною на 1 га використання води за попередника конюшини становило 200 м^3 , що порівняно з контролем без добрив було меншим на 102 м^3 .

Після проведення досліджень з вивчення впливу добрив на показники природної та ефективної родючості чорноземних ґрунтів можна зробити такі висновки:

1. Тривале застосування мінеральних добрив у польових сівозмінах призводить до втрат гумусу в чорноземних ґрунтах. Чорнозем опідзолений важкосуглинковий за дози $N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозмінної площі впродовж 20-ти років втратив гумусу в орному шарі 0,34%, в підорному – 0,16%; чорнозем типовий вилугуваний легкосуглинковий (в умовах достатнього зволоження) за дози $N_{50}P_{20}K_{30}$ впродовж 3 років – відповідно 0,08% та 0,05%. Установлено, що втрати гумусу підвищувалися за збільшення в сівозміні частки просапних культур. В чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому за внесення $N_{50}P_{66}K_{66}$ на 1 га сівозмінної площі в зерно-просапній сівозміні (просапних 40%, бобових 10%) вміст гумусу в орному шарі за 10 років зменшився на 0,23%, в підорному – 0,08%, тоді як за внесення $N_{43}P_{43}K_{43}$ у плодозмінній (просапних 16,7%, бобових 33%) за 6 років – відповідно на 0,08% та 0,03%.

2. Стабілізація вмісту гумусу в чорноземних ґрунтах досягається за органо-мінеральної системи удобрення. У зерно-буряковій сівозміні з часткою просапних 16,7-33%, бобових 30-33% поєднане внесення 8-12 т/га гною з рекомендованою дозою мінеральних добрив забезпечило щорічне підвищення вмісту гумусу на 0,10-0,15 т/га; застосування на добриво побічної продукції поєднано з мінеральними добривами – на 0,12-0,20 т/га. У зерно-просапній сівозміні з часткою просапних 40%, бобових 10% середньорічна доза гною 9 т/га або застосування побічної продукції не забезпечили стабілізації вмісту гумусу, обумовивши його щорічні втрати в чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому – відповідно 0,21 та 0,12 т/га. Застосування у сівозміні зеленої маси гірчиці і $N_{50}P_{20}K_{30}$ обумовило щорічні втрати гумусу в чорноземі типовому вилугуваному 0,30 т/га. Найбільше щорічне підвищення вмісту гумусу в чорноземі типовому вилугуваному визначено за поєданого внесення $N_{50}P_{20}K_{30}$ + зелена маса гірчиці білої + побічна продукція – 0,60 т/га.

За органо-мінеральної системи удобрення покращувався якісний склад гумусу, підвищувався у його складі абсолютний вміст гумінових кислот та його гуматність.

3. За тривалого застосування органічних і мінеральних добрив визначено стабілізацію вмісту загального азоту в ґрунті та помітне підвищення порівняно з мінеральною системою удобрення вмісту азоту

в усіх його фракціях. В чорноземі опідзоленому за внесення $N_{50}P_{42,5}K_{50} + 12$ гною на 1 га сівозмінної площі вміст загального азоту та його легкогідролізованої фракції порівняно з внесенням лише мінеральних добрив підвищився за 20 років – відповідно на 27 та 4,5 мг/100 г ґрунту; $N_{50}P_{42,5}K_{50} +$ побічна продукція – відповідно на 21 та 3,8 мг/100 г ґрунту. За органо-мінеральної системи удобрення стабілізацію азотного фонду чорнозему типового вилугуваного середньосуглинкового виявлено у плодозмінній сівозміні. За частки просапних 16,7%, бобових 33% внесення $N_{43}P_{43}K_{43} + 8,3$ т/га гною на 1 га сівозмінної площі збільшило за 6 років вміст загального азоту на 27 мг/100 г, легкогідролізованого – на 4,0; $N_{43}P_{43}K_{43} +$ побічна продукція – відповідно на 30 та 3,4 мг/100 г ґрунту.

4. Фосфатний режим чорноземних ґрунтів у зерно-бураковій сівозміні залежав від дози внесення фосфору у складі добрив. За середньорічної дози 43-73 кг/га P_2O_5 визначено підвищення вмісту рухомого фосфору у ґрунті. Вміст рухомого фосфору в чорноземі опідзоленому за внесення $N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозмінної площі підвищився на кінець другої ротації до вихідного в орному шарі на 15,6%, поєднання мінеральних добрив і 12 т/га гною – на 44,3%, мінеральних добрив і побічної продукції – на 25,8%, гною і побічної продукції – на 11,0%; в підорному – відповідно на 7,5%, 6,5%, 9,3% та 6,1%. За органо-мінеральної системи удобрення відмічено підвищення групи органічних фосфатів та зменшення закріплення мінерального фосфору у нерозчинному залишку. Застосування побічної продукції поступалося за ефективністю щорічному внесенню 8-12 т/га гною.

В чорноземі вилугуваному легкосуглинковому підвищення фонду рухомого фосфору виявлено за внесення $N_{50}P_{20}K_{30} + 13,3$ т гною на 1 га ланки сівозміни (53 кг/га P_2O_5) та $N_{50}P_{20}K_{30} +$ сидерат + побічна продукція (40 кг/га P_2O_5): в орному шарі – відповідно 13% та 11%, в підорному – 3,6% та 2,8%. За внесення лише мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої чи їх поєднання вміст рухомого фосфору в ґрунті на кінець ланки сівозміни з горохом до вихідного зменшився в орному шарі на 1,6-6,2%.

5. Найефективнішим у формуванні калійного фонду чорноземних ґрунтів визначено органо-мінеральну та органічну системи удобрення. За середньої річної дози $N_{50}P_{42,5}K_{50} + 12$ т/га гною вміст рухомого калію в орному шарі чорнозему опідзоленого підвищився за 20 років на 26,5%, $N_{50}P_{42,5}K_{50} +$ побічна продукція – на 27,7%, 12 т/га гною + побічна продукція – на 32,6%, тоді як за

внесення лише мінеральних добрив – на 11,7%; підорному – відповідно на 28,4%, 26,0%, 26,5% та 11,5%. Поєднане застосування мінеральних добрив і побічної продукції за впливом на фонд рухомого калію ґрунту не поступалось традиційній органо-мінеральній системі удобрення.

В чорноземі вилугуваному легкосуглинковому (умови достатнього зволоження) за середньої річної дози $N_{50}P_{20}K_{30} + 13,3$ т/га гною вміст рухомого калію за три роки підвищився на 7,7%, $N_{50}P_{20}K_{30} +$ сидерат + побічна продукція – на 6,6%. Внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої чи їх поєднане застосування не забезпечило стабілізації рухомого калію у ґрунті.

6. Тривале внесення мінеральних добрив та їх поєднане застосування з побічною продукцією рослинництва підкислює ґрунтовий розчин. В чорноземні опідзоленому за середньорічної дози мінеральних добрив $N_{50}P_{42,5}K_{50}$ гідролітична кислотність по завершенню 20 років підвищилась до вихідного рівня на 0,95, за поєданого внесення з побічною продукцією рослинництва – на 0,89, сума увібраних основ при цьому зменшилась – відповідно на 1,1 та 0,8 мг-екв на 100 г ґрунту. Застосування на добриво впродовж трьох років зеленої маси гірчиці білої та її поєднання з середньорічною дозою мінеральних добрив $N_{50}P_{20}K_{30}$ підвищили гідролітичну кислотність чорнозему типового вилугуваного легкосуглинкового – відповідно на 0,35 та 0,87 мг-екв на 100 г ґрунту. Стабілізацію кислотно-лужного балансу в чорноземних ґрунтах визначено за зменшення частки просапних культур у сівозміні та дози внесення мінеральних добрив, а також за органо-мінеральної системи удобрення.

7. У п'ятій ротації сівозмін найвищої інтенсивності процесів гумусоутворення в чорноземі вилугуваному досягнуто за внесення $N_{43}P_{43}K_{43} + 8,3$ т гною на 1 га сівозміни у плодозмінній сівозміні: вміст гумусу в шарі 0-30 см – 3,52%, 30-40 см – 3,28% з перевищенням до контролю без добрив – на 0,36% та 0,22%. У зерно-просапній сівозміні зазначена система удобрення супроводжувалась зменшенням вмісту гумусу в орному шарі на 0,07%, підорному – на 0,02%. Зниження інтенсивності гумусоутворення спостерігали за внесення $N_{43}P_{43}K_{43} +$ побічна продукція. Порівняно з традиційним на основі гною удобренням культур вміст гумусу в шарі 0-30 см зменшився – на 0,10%, 30-40 см – на 0,06% за абсолютного вмісту – відповідно 3,42% та 3,26%.

8. Удобрення сівозмін понад 40 років органічними і мінеральними добривами ($N_{43-65}P_{43}K_{43} + 8,3$ т гною на 1 га сівозмінної площі) стабілізувало фонд рухомого калію у ґрунті на середньому рівні забезпечення та формувало високий вміст рухомого фосфору. При цьому кількість мікроорганізмів у ґрунті зросла до 42,2-45,6 млн. КУО в 1 г абсолютно сухого ґрунту. У складі ґрунтової мікрофлори переважали амоні- і нітрифікатори – відповідно 14,6-15,6 та 11,1-13,2 млн. КУО в 1 г абсолютно сухого ґрунту.

9. У шостій ротації сівозмін з трансформованою короткою ротацією найбільше гумусу у ґрунті містилося у плодозмінній сівозміні за внесення $N_{53}P_{43}K_{43} + 6,6$ т гною на 1 га ріллі – 3,44% з перевищенням контролю без добрив – на 0,37%. Незначно поступалась за ефективністю альтернативна система удобрення з внесенням на 1 га ріллі $N_{53}P_{43}K_{43} +$ побічна продукція – вміст гумусу 3,30%. У зерно-просапній та просапній сівозмінах вміст гумусу за традиційної орґано-мінеральної системи удобрення зменшився порівняно з плодозмінною сівозміною – на 0,22-0,37%, альтернативної – на 0,14-0,23%. Тривале упродовж 50 років застосування лише мінеральних добрив у сівозмінах спричинило посилену мінералізацію гумусу і зменшило вміст гумусу до контролю без добрив на 0,05-0,09%.

10. Внесення фосфорних добрив упродовж 50 років у дозі понад 42 кг/га ріллі спричинило значне накопичення рухомих фосфатів у чорноземі вилугуваному і формувало високу забезпеченість ґрунту рухомих фосфором. Найвищий вміст рухомого фосфору у ґрунті досягався за традиційної орґано-мінеральної системи удобрення: у шарі 0-30 см – 290-301, шарі 30-40 см – 218-247 мг/кг ґрунту. Натомість довготривале внесення калійних добрив в дозі понад 42 кг/га ріллі лише підтримувало вміст рухомого калію у чорноземі вилугуваному на середньому рівні забезпечення – 80-96 мг/кг ґрунту. Найвищий вміст рухомого калію у ґрунті досягався за традиційної орґано-мінеральної системи удобрення: у шарі 0-30 см – 127-145, шарі 30-40 см – 82-95 мг/кг ґрунту.

11. Вирощування пшениці озимої у плодозмінній сівозміні створювало найкращі умови для накопичення вологи у ґрунті та використання вологи рослинами. Запаси продуктивної вологи у 1-1,5 м шарах чорнозему вилугуваного у весняний період у плодозмінній сівозміні були більшими, ніж у зерно-просапній – на 15-25 мм, просапній – на 9-19 мм. У плодозмінній сівозміні пшениця озима

найефективніше використовувала вологу ґрунту на формування біологічного врожаю за внесення $N_{53}P_{43}K_{43} + 6,6$ т гною на 1 га сівозміни: за попередника вико-овес – 282 м³ води, конюшини – 200 м³, що порівняно з контролем без добрив було меншим на 141 та 102 м³. У розрізі сівозмін органо-мінеральна система удобрення зменшила використання води порівняно з контролем без добрив у 1,5-1,7 рази.

4 ВРОЖАЙНІСТЬ КУЛЬТУР У СІВОЗМІНАХ ЗА ДОВГОТРИВАЛОГО УДОБРЕННЯ

Розділ

4.1 Продуктивність буряків цукрових за 20-35 річного застосування добрив у сівозмінах

Буряки цукрові є однією з найпродуктивніших та вибагливих до умов мінерального живлення культур. Впродовж періоду вегетації, який триває близько 140-160 днів, одна рослина може накопичувати 1,2-1,3 кг органічної речовини, в т. ч. 0,8-1,5 кг цукроносною і 0,4-0,8 кг гички [121, 236].

Накопичення такої кількості органічної маси і цукрів потребує достатнього мінерального живлення, що в середньому на утворення 1 т коренеплодів і відповідної кількості гички становить 5-6 кг азоту, 1,5-2,0 кг фосфору, 5,5-7,5 кг калію [121]. Значну частину елементів живлення буряки цукрові використовують з ґрунту, проте визначальним чинником зростання продуктивності цієї культури залишаються мінеральні та органічні добрива, які дозволять створити оптимальні умови живлення рослин впродовж основних, в тому числі і найбільш критичних, періодів вегетації [404].

За даними досліджень Л.А. Барштейна, І.С. Шкаредного [7], Ю.А. Тонкаля, І.І. Череднічка [297], Я.П. Цвея, Н.К. Шиманської [342] найефективнішою на посівах буряків цукрових є органо-мінеральна система удобрення. Поєднання мінеральних і органічних добрив забезпечує рівномірність мінерального живлення рослин впродовж періоду вегетації та сприяє максимальній їх продуктивності.

В умовах сучасного виробництва, за різкого скорочення внесення мінеральних та органічних добрив, ефективним заходом підвищення продуктивності буряків цукрових можуть бути альтернативні джерела органічної речовини – побічна продукція та поживні сидеральні культури [331].

За даними А.С. Заришняка, В.В. Іваніни, Н.К. Шиманської [107], В.Ф. Сайка [267], введення до системи удобрення елементів біологізації позитивно впливає на формування врожайності сільськогосподарських культур та заощаджує мінеральні добрива.

Позитивною стороною альтернативного удобрення є те, що поряд з поповненням ґрунту органічною речовиною до системи удобрення залучається додатковий ресурс біогенних елементів, який здатен істотно покращити мінеральне живлення рослин та знизити хімічне навантаження на ґрунт [8, 339]. Сучасні аграрні технології США та розвинених країн Європи усе більше використовують побічну продукцію як органічне добриво. Така практика заощаджує фінансові ресурси на внесення гною і сприяє отриманню високих врожаїв [267, 390, 438].

В дослідженнях М.К. Шикули [353] під буряки цукрові встановлено високу ефективність соломи у поєднанні з компенсаційною дозою азоту (24-25 кг N на одну тону соломи) та оптимальною дозою мінеральних добрив. В Лісостепу ефективність такого заходу прирівнювалась внесенню 10-12 т/га гною у поєднанні з оптимальною дозою мінеральних добрив.

Л.А. Барштейн, І.С. Шкаредний, В.М. Якименко [8], А.С. Зарішняк, В.В. Іваніна, Т.В. Колібабчук [114], Ю.А. Тонкаль [296] вважають, що за внесення екологічно ощадливих доз мінеральних добрив підвищення продуктивності буряків цукрових можна досягти за рахунок оптимізації співвідношення елементів живлення у їх складі. Такий захід підвищує продуктивність культур, супроводжується помірним хімічним навантаженням на ґрунт та сприяє ефективному використанню фінансових ресурсів [135, 258, 298, 342].

Результати польових досліджень свідчать, що за внесення лише $N_{120}P_{100}K_{140}$ під буряки цукрові на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому врожайність коренеплодів у ланці з конюшиною становила 41,5-45,0 т/га, вико-вівсом – 43,7; збір цукру – відповідно 6,18-7,41 та 7,21 т/га. Підвищення врожайності коренеплодів порівняно з контролем без добрив становило – відповідно 6,3-13,9 та 11,4, збору цукру – 0,76-2,33 та 1,88 т/га. Вища продуктивність буряків цукрових у ланці з вико-вівсом досягалась в другій ротації за рахунок сприятливого водного режиму, який в умовах нестійкого зволоження традиційно створюється в ланках з однорічними культурами; в третій ротації – продуктивність буряків цукрових у ланці з конюшиною зростала за рахунок підвищення родючості ґрунту (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 Продуктивність буряків цукрових в ланках сівозміни на чорноземі опідзоленому за різних систем удобрення, ВДСС, 1999-2013 рр.

№ вар.	Внесено добрив, кг/га	Коношина, пшениця озима, буряки цукрові (1999-2004 рр.)			Вико-овес, пшениця озима, буряки цукрові (2005-2010 рр.)			Коношина, пшениця озима, буряки цукрові (2009-2013 рр.)		
		урожайність, т/га	цукристість, %	збір цукру, т/га	урожайність, т/га	цукристість, %	збір цукру, т/га	урожайність, т/га	цукристість, %	збір цукру, т/га
1	Без добрив (контроль)	35,2	15,4	5,42	32,3	16,5	5,33	31,1	17,0	5,18
2	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀	41,5	14,9	6,18	43,7	16,5	7,21	45,0	16,7	7,41
23	N ₁₈₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀	40,9	14,3	5,85	43,2	16,0	6,91	44,5	16,3	7,18
19	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₄₀	41,2	14,6	6,02	43,0	16,5	7,10	46,0	16,3	7,43
25	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₂₁₀	41,7	15,2	6,34	42,7	16,5	7,05	43,3	17,0	7,23
3	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀ + солома пшениці озимої	42,6	14,9	6,35	45,0	16,2	7,29	47,1	16,4	7,66
5	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀ + 40 т/га гною	42,6	14,3	6,09	46,2	15,9	7,35	46,0	16,5	7,54
12	40 т/га гною + солома пшениці озимої	42,1	15,6	6,57	41,7	16,5	6,88	44,4	17,1	7,51
	НР ₀₅	2,2	0,4	-	1,8	0,5	-	2,4	0,3	-
	Р, %	2,6	2,7	-	2,0	2,9	-	2,5	1,8	-

У ланці з конюшиною буряки цукрові позитивно відзивались на збільшення в складі повного мінерального добрива у 1,5 рази дози калію у другій ротації. Внесення $N_{120}P_{100}K_{210}$ обумовило тенденцію зростання цукристості коренеплодів на 0,3% порівняно з рекомендованою дозою ($N_{120}P_{100}K_{140}$) та збільшило збір цукру на 0,16 т/га. Підвищення дози азоту в 1,5 рази призвело до зниження збору цукру у другій ротації в обох ланках сівозміни порівняно з рекомендованою дозою на 0,30-0,33, фосфору в 1,5 рази – на 0,11-0,16 т/га. Це свідчить, що рекомендована доза мінеральних добрив мала близьке до оптимального співвідношенням елементів живлення.

Внесення мінеральних добрив і соломи ($N_{120}P_{100}K_{140}$ + солома пшениці озимої) забезпечило лише тенденцію зростання продуктивності буряків цукрових. У ланці з конюшиною урожайність коренеплодів порівняно з внесенням одних мінеральних добрив зроста на 1,1-2,1 т/га, вико-вівсом – на 1,3, збір цукру відповідно підвищився на – 0,17-0,25 та 0,08 т/га.

За традиційної органо-мінеральної системи удобрення ($N_{120}P_{100}K_{140}$ + 40 т/га гною) в ланці з вико-вівсом спостерігали зростання урожайності коренеплодів порівняно з мінеральною системою на 2,5, збору цукру – на 0,14 т/га. У ланці з конюшиною внесення мінеральних добрив і гною поступалось за ефективністю введенню елементів біологізації в систему удобрення ($N_{120}P_{100}K_{140}$ + солома пшениці озимої), що у другій ротації пов'язано з падінням цукристості коренеплодів на 0,6%, у третій ротації – тенденцією зниження врожайності коренеплодів на 1,1 т/га.

Ефективною у другій ротації в ланці з конюшиною визначено органічну систему удобрення (40 т/га гною + солома пшениці озимої). Внесення гною і соломи забезпечило тенденцію росту урожайності коренеплодів порівняно з мінеральною системою удобрення, підвищило цукристість – на 0,7% та збільшило збір цукру – на 0,39 т/га; у третій ротації їх вплив вирівнювався. У ланці з вико-вівсом внесення соломи пшениці озимої і гною поступалось ефективністю мінеральній та органо-мінеральній системам удобрення, що пов'язано із значним падінням урожайності коренеплодів

Отже, органо-мінеральна система удобрення з елементами біологізації за вирощування буряків цукрових в умовах нестійкого зволо-

ження на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому забезпечила лише тенденцію зростання продуктивності порівняно з мінеральною системою удобрення.

Дослідження проведені на чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому показали, що внесення під буряки цукрові мінеральних добрив $N_{80}P_{100}K_{100}$ забезпечило врожайність коренеплодів у ланці з редькою олійною – 35,4, горохом – 29,0, кукурудзою на зелений корм – 30,6; $N_{100}P_{100}K_{100}$ у ланці з вико-вівсом – 36,7 т/га. За мінеральної системи удобрення збір цукру порівняно з контролем без добрив збільшився відповідно на 3,92, 3,16, 3,74 та 3,41 т/га (табл. 4.2).

У більшості ланок зерно-бурякової сівозміни під буряки цукрові визначено ефективним внесення мінеральних добрив і соломи пшениці озимої. Порівняно з мінеральною системою удобрення збір цукру у ланці з горохом тут підвищився на 0,43; кукурудзою на зелений корм – на 0,61; вико-вівсом – на 0,36 т/га.

Підвищення продуктивності досягалось за рахунок росту врожайності коренеплодів на фоні стабілізації вмісту цукрів. У ланці з редькою олійною введення елементів біологізації в системи удобрення порівняно з внесенням мінеральних добрив не супроводжувалась збільшенням продуктивності буряків цукрових.

Найбільшу продуктивність буряків цукрових в усіх ланках зерно-бурякової сівозміни досягнуто за поєднання мінеральних добрив і гною. Застосування $N_{80}P_{100}K_{100} + 30$ т/га гною збільшило порівняно з мінеральною системою удобрення збір цукру в ланці з редькою олійною – на 0,58, горохом – на 0,54, кукурудзою на зелений корм – на 0,88, за дози $N_{100}P_{100}K_{100} + 50$ т/га гною в ланці з вико-вівсом – на 0,57 т/га.

Отже, внесення мінеральних добрив і соломи пшениці озимої збільшило продуктивність буряків цукрових у ланках сівозміни порівняно з мінеральною системою удобрення на 6,1-13,0%, мінеральних добрив і гною – на 8,6-18,7%. Введення елементів біологізації в системи удобрення, що не потребувало значних фінансових витрат, визначено досить ефективним заходом підвищення продуктивності буряків цукрових. Подібний ефект встановлено за вирощування буряків цукрових після передпопередників гороху, кукурудзи на зелений корм та вико-вівса.

Таблиця 4.2 Продуктивність буряків цукрових на чорноземі типовому вилугуваному за різних систем удобрення, БЦДСС, 1998-2010 рр.

№ вар.	Внесено добрив, кг/га	Рельса олійна, пшениця озима, буряки цукрові, 1998-2000 рр.			Горох, пшениця озима, буряки цукрові, 2001-2003 рр.			Кукурудза на зеленій корм, пшениця озима, буряки цукрові, 2004-2006 рр.			Вико-овес, пшениця озима, буряки цукрові, 2008-2010 рр.		
		урожай-ність, т/га	цукрис-тість, %	збір цукру, т/га	урожай-ність, т/га	цукрис-тість, %	збір цукру, т/га	урожай-ність, т/га	цукрис-тість, %	збір цукру, т/га	урожай-ність, т/га	цукрис-тість, %	збір цукру, т/га
11	Без добрив (контроль)	13,9	18,6	2,59	9,4	15,1	1,42	6,5	14,9	0,97	15,3	16,6	2,54
2	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	35,4	18,4	6,51	29,0	15,8	4,58	30,6	15,4	4,71	36,7	16,2	5,95
4	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + солома пшениці озимої	35,1	18,5	6,49	31,7	15,8	5,01	34,1	15,6	5,32	38,5	16,4	6,31
13	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + 30 т/га гною	38,4	18,4	7,07	32,6	15,7	5,12	35,4	15,8	5,59	40,5	16,1	6,52
	НР ₀₅	2,8	0,4	-	2,6	0,3	-	2,7	0,4	-	2,9	0,4	-
	P, %	2,1	2,8	-	2,9	1,8	-	3,2	2,7	-	3,0	2,4	-

Примітка. У ланці з вико-вівсом під буряки цукрові внесено мінеральні добрива у дозі – N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀, гною – 50 т/га.

В умовах достатнього зволоження на чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому застосування реномендованих доз мінеральних добрив ($N_{90}P_{60}K_{90}$) забезпечило врожайність коренеплодів буряків цукрових – 45,6, збір цукру – 6,79 т/га (табл. 4.3).

Дослідження ефективності різних співвідношень елементів живлення у складі повного мінерального добрива показало, що оптимальним співвідношенням N:P:K за вирощування буряків цукрових на чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому є 1:0,7:1. Будь-які варіації із зміною співвідношення елементів живлення не сприяли росту продуктивності буряків цукрових. Зі збільшенням дози азоту в 1,5 рази ($N_{130}P_{60}K_{90}$ співвідношення 1:0,5:0,7) збір цукру становив 6,74; фосфору ($N_{90}P_{90}K_{90}$ співвідношення 1:1:1) – 6,62; калію ($N_{90}P_{60}K_{130}$ співвідношення 1:0,7:1,4) – 6,71, що порівняно з рекомендованою дозою добрив ($N_{90}P_{60}K_{90}$) було меншим відповідно на 0,05, 0,17 та 0,08 т/га.

Підвищення дози мінеральних добрив у 1,3 рази ($N_{120}P_{80}K_{120}$) і збереження співвідношення елементів живлення 1:0,7:1 забезпечило подальше підвищення продуктивності буряків цукрових. Збір цукру в зазначеному варіанті становив 7,20, що порівняно з дозою $N_{90}P_{60}K_{90}$ було більше на 0,21 т/га. Тенденція зниження вмісту цукру на 0,3% за збільшення в 1,3 рази дози мінеральних добрив не впливала істотно на показники продуктивності.

Буряки цукрові позитивно реагували на внесення гною. За дози гною 40 т/га збір цукру становив 6,91, що порівняно з варіантом без добрив було більшим на 1,60 т/га, рекомендованою дозою мінеральних добрив – на 0,12 т/га.

Внесення зеленої маси гірчиці білої визначено найменш ефективним заходом на посівах буряків цукрових. Урожайність коренеплодів спостерігали на рівні контролю без добрив, зростання збору цукру було досить незначним – 0,13 т/га. Низька ефективність зеленого добрива могла бути зумовлена незбалансованістю мінерального живлення буряків цукрових за азотом і фосфором, оскільки ці елементи інтенсивно залучаються до процесів гумусоутворення за розкладання органічної речовини сидерату.

Ефективним заходом біологізації системи удобрення буряків цукрових визначено внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції ($N_{90}P_{60}K_{90}$ + сидерат + солома пшениці озимої): урожайність коренеплодів – 47,7, збір цукру – 7,35 т/га. Порівняно з рекомендованою дозою мінеральних добрив

**Таблиця 4.3 Продуктивність буряків цукрових в ланці з горохом на чорноземі типовому
вилугуваному за різних систем удобрення, УЛДСС**

№ вар.	Внесено добрив, кг/га	Урожайність, т/га		Середнє за 2008-2010 рр.	Цукристість, %		Середнє за 2008-2010 рр.	Збір цукру, т/га
		2008 р.	2009 р.		2008 р.	2009 р.		
1	Без добрив (контроль)	40,1	30,4	34,2	14,5	17,6	15,2	5,31
3	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	53,8	39,7	43,2	14,1	17,3	14,9	6,79
15	N ₁₃₀ P ₆₀ K ₉₀	57,6	40,7	45,2	13,0	16,5	14,1	6,74
18	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	52,8	39,2	41,3	13,6	17,5	14,9	6,62
20	N ₉₀ P ₆₀ K ₁₃₀	53,2	38,5	43,3	12,9	18,2	14,9	6,71
4	N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₂₀	56,7	43,3	47,3	13,4	17,2	14,6	7,17
5	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + 40 т/га гною	62,2	46,8	51,8	13,5	17,3	14,8	7,93
6	40 т/га гною	51,7	40,2	42,8	14,9	17,8	15,4	6,91
10	Сидерат (гірчичя біла)	45,1	31,0	33,4	14,6	17,2	14,9	5,44
11	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат	58,9	34,2	42,3	14,7	18,0	15,2	6,86
12	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат + солома пшениці озимої	61,1	36,8	45,1	14,6	19,0	15,4	7,35
	НР ₀₅	3,2	2,4	2,7	0,5	0,4	0,4	-
	P, %	3,4	2,6	2,0	2,7	2,5	2,6	-

введення елементів біологізації в системи удобрення обумовило тенденцію до зростання врожайності коренеплодів на 2,1 т/га, збільшило вміст та збір цукру – відповідно на 0,5% та 0,56 т/га.

Найбільшої продуктивності буряків цукрових досягнуто за внесення мінеральних добрив і гною ($N_{90}P_{60}K_{90} + 40$ т/га гною): урожайність коренеплодів – 53,6 т/га, збір цукру – 7,93 т/га, що порівняно з рекомендованою нормою мінеральних добрив було більшим відповідно на 8,0 та 1,14 т/га.

Отже, в умовах достатнього зволоження найефективнішим заходом біологізації є внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції. Максимальної продуктивності буряків цукрових досягнуто за традиційної органо-мінеральної системи удобрення.

4.1.1 Технологічна якість коренеплодів

Технологічна якість буряків цукрових визначається комплексом фізіологічних, хімічних і фізичних особливостей, які впливають на хід технологічних процесів цукроваріння, характер та розміри втрат цукру під час його виробництва [312]. Заводський вихід цукру залежить від вмісту цукру в коренеплодах, доброякісності нормально очищеного соку, мелясоутворюючого коефіцієнту, вмісту в коренеплодах кондуктометричної золи, альфа-амінного азоту, калію та натрію [273].

За даними П.М. Силіна [273] формування технологічних якостей коренеплодів буряків цукрових значно залежить від погодних умов. Найсприятливіші умови для накопичення цукру в коренеплодах створюються за теплої і вологої погоди у червні-липні, помірно сухої у серпні та сухої погоди у вересні-жовтні. Суха осінь сприяє накопиченню цукру та забезпечує високу технологічну якість коренеплодів.

З агротехнічних заходів, найефективніше на технологічні якості коренеплодів впливають мінеральні добрива. Застосування високих норм мінеральних добрив веде до зменшення вмісту цукру, знижує доброякісність нормально очищеного соку, підвищує вміст кондуктометричної золи в коренеплодах, що супроводжується підвищеними втратами цукру в процесі його виробництва.

Дослідження Ю.А. Тонкаля, Н.К. Шиманської [300] свідчать, що застосування збалансованих за елементами живлення доз мінеральних

добрив сприяє покращенню технологічних якостей коренеплодів. Внесення фосфорних і калійних добрив посилює синтез цукрів в листках, збільшує накопичення їх в коренеплодах, зменшує вміст альфа амінного азоту, підвищує доброякісність нормально очищеного соку [403, 411, 448].

За даними Б.С. Носка [218] позитивний вплив фосфорних добрив на цукристість коренеплодів проявляється переважно на ґрунтах з істотним дефіцитом цього елемента. Внесення калійних добрив є ефективним у підвищенні технологічних якостей коренеплодів на ґрунтах з різним рівнем забезпечення рухомим калієм [300, 448]. Дослідження А.С. Оконенка, Л.А. Барштейна [235] свідчать, що підвищення вмісту калію в поживному середовищі активізує діяльність ферменту цукросинтетази, посилює синтез цукрози в рослинах та сприяє його акумуляції в коренеплодах.

Зниження вмісту цукрів у коренеплодах, підвищення вмісту альфаамінного азоту, збільшення втрат цукру в мелясі відбувається за застосування азотних добрив. Дослідження І.Ф. Бузанова, Ю.А. Тонкаля, А.І. Остроушка [31] свідчать, що азот у складі оптимальної дози мінеральних добрив ($N_{120}P_{120}K_{120}$) знижував цукристість коренеплодів на 0,3-0,7%. Збільшення дози азоту в 1,5 рази (до N_{180}) призводило до подальшого зниження цукристості коренеплодів на 0,4%; удвічі (до N_{240}) – на 0,8-1,0%.

За орґано-мінеральної з елементами біологізації системи удобрення на фоні загального зростання продуктивності можуть підвищуватись втрати цукру в мелясі. Внесення гною посилює живлення буряків цукрових азотом в кінці вегетації, який утворювався в процесі мінералізації гною та вивільнення іммобілізованого азоту ґрунту, що веде до збільшення вмісту альфа амінного азоту в коренеплодах та підвищує втрати цукру в процесі переробки [31].

Отже, оптимізація доз і співвідношення елементів живлення у складі добрив з урахуванням рівня забезпеченості ґрунту елементами живлення є вагомим чинником на шляху підвищення технологічних якостей коренеплодів буряків цукрових.

Вирощування буряків цукрових без внесення добрив на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому за середнього рівня забезпечення фосфором та підвищеного калієм створило умови високої технологічної якості коренеплодів – доброякісність нормально очищеного соку 92,0-93,9%, втрати цукру в мелясі 1,82-2,20%, розрахунковий вихід цукру 12,3-14,2%. У ланці з конюшиною

технологічні якості коренеплодів виявлено гіршими, ніж у ланці з вико-вівсом: доброякісність нормально очищеного соку знизилась на 1,1-1,9%, втрати цукру в мелясі зросли на 0,09-0,38%, що обумовлено більшими обсягами накопичення біологічного азоту в ґрунті та посиленням азотним живленням рослин (табл. 4.4).

За мінеральної системи удобрення ($N_{120}P_{100}K_{140}$) спостерігали погіршення технологічних якостей буряків цукрових в обох ланках сівозміни. Доброякісність нормально очищеного соку порівняно з варіантом без добрив зменшилась на 0,4-1,3%, втрати цукру в мелясі збільшились на 0,19-0,36%, розрахунковий вихід цукру зменшився на 0,4-0,8%. Виробництво цукру на заводі залишалось при цьому вищим порівняно з варіантом без добрив на 0,44-1,75 т/га, що досягалось за рахунок більшої врожайності коренеплодів в удобреному варіанті.

Встановлено погіршення технологічні якості коренеплодів за збільшення дози азоту у 1,5 рази: втрати цукру в мелясі підвищились на 0,40-0,54%, виробництво цукру на заводі зменшилось на 0,46-0,57 т/га.

Буряки цукрові позитивно реагували на посилене фосфорне живлення. На чорноземі опідзоленому з середнім рівнем забезпечення рухомим фосфором збільшення дози фосфору у 1,5 рази підвищило доброякісність нормально очищеного соку на 0,3-0,6% та зменшило втрати цукру в мелясі на 0,08-0,23%.

Введення елементів біологізації в системи удобрення шляхом внесення мінеральних добрив і соломи пшениці озимої ($N_{120}P_{100}K_{140}$ + солома) не знижувало технологічні якості коренеплодів. Порівняно з рекомендованою дозою мінеральних добрив ($N_{120}P_{100}K_{140}$) доброякісність нормально очищеного соку і втрати цукру в мелясі змінювались не значно – відповідно на 0,3-0,8% та 0,07-0,09%. При цьому виробництво цукру на заводі визначено одним з найвищих: у ланці з конюшиною – 4,86-6,26, вико-вівсом – 5,85 т/га. Підвищення родючості ґрунту в ланці з конюшиною у третій ротації порівняно з другою забезпечило зростання виходу цукру на заводі на 4,4 т/га.

Внесення мінеральних добрив і гною ($N_{120}P_{100}K_{140}$ + 40 т/га гною) порівняно з мінеральною системою удобрення збільшило вміст альфа амінного азоту в коренеплодах та підвищило втрати цукру в мелясі – на 0,22-0,40%. Виробництво цукру на заводі при цьому зменшилось і становило в ланці з конюшиною – 4,52-6,12, вико-вівсом – 5,73 т/га.

Таблиця 4.4 Технологічна якість буряків цукрових в ланках сівозміни за різних систем удобрення, ВДСС, 1999-2013 рр.

№ вар.	Внесено добрив, кг/га	Доброякісність нормального очищеного соку, %			Втрати цукру в меясі, %			Розрахунковий вихід цукру, %			Вироблено цукру на заводі, т/га		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	Без добрив (контроль)	92,8	93,9	92,0	2,20	1,82	1,91	12,3	13,8	14,2	4,33	4,46	4,42
2	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀	92,2	92,6	91,6	2,52	2,18	2,10	11,5	13,4	13,7	4,77	5,86	6,17
23	N ₁₈₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀	90,4	91,5	90,5	2,97	2,58	2,64	10,4	12,5	12,8	4,25	5,40	5,70
19	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₄₀	92,8	92,9	92,1	2,38	1,95	2,02	11,3	13,7	13,4	4,66	5,89	6,16
25	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₂₁₀	89,8	92,0	91,8	2,81	2,43	2,56	11,5	13,2	13,5	4,80	5,64	5,85
3	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀ + солома пшениці озимої	91,8	91,8	91,3	2,59	2,27	2,19	11,4	13,0	13,3	4,86	5,85	6,26
5	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀ + 40 т/га гною	90,7	91,3	91,2	2,76	2,58	2,32	10,6	12,4	13,3	4,52	5,73	6,12
12	40 т/га гною + солома пшениці озимої	90,6	91,5	91,8	3,15	2,64	2,15	11,6	13,0	14,1	4,88	5,42	6,26
	НІР ₀₅	3,9	4,1	4,0	0,08	0,07	0,07	0,6	0,6	0,7	-	-	-
	Р, %	2,2	2,4	2,4	1,9	1,7	1,9	2,5	2,0	2,3	-	-	-

Примітка. I – ланка з конношиною, 1999-2004 рр.; II – ланка з вико-вівсом, 2005-2010 рр.; III – ланка з конношиною, 2009-2013 рр.

За органічної системи удобрення (40 т/га гною + солома пшениці озимої) технологічні якості коренеплодів виявились близькими до варіанту з внесенням мінеральних добрив і гною. При цьому вирощування буряків цукрових у ланці з конюшиною у другій ротатії підвищило втрати цукру в мелясі на 0,39%. Це можна пояснити інтенсивним азотним живленням рослин у кінці періоду вегетації, що стало наслідком повільнішої мінералізації органічної речовини добрив.

На чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинко-вому з середнім рівнем забезпечення фосфором та калієм застосування мінеральних добрив в дозі $N_{80}P_{100}K_{100}$ знижувало доброякісність нормально очищеного соку по ланках сівозміни порівняно з варіантом без добрив на 0,3-1,1% та збільшувало втрати цукру в мелясі на 0,08-0,33% (табл. 4.5).

Внесення мінеральних добрив і соломи пшениці озимої ($N_{80}P_{100}K_{100}$ + солома пшениці озимої) стабілізувало технологічні якості коренеплодів на рівні мінеральної системи удобрення. При цьому виробництво цукру на заводі порівняно з внесенням мінеральних добрив збільшувалось у ланці з горохом на 0,37 т/га, кукурудзою на зелений корм – на 0,56, вико-вівсом – на 0,37 т/га.

За традиційної органо-мінеральної системи удобрення ($N_{80}P_{100}K_{100}$ + 30 т/га гною) порівняно з мінеральною системою удобрення доброякісність нормально очищеного соку знизилась на 0,7-0,9%, а втрати цукру в мелясі підвищились на 0,06-0,15%. При цьому виробництво цукру на заводі порівняно з мінеральною системою удобрення виросло у ланці з редькою олійною на 0,41 т/га, горохом – на 0,43, кукурудзою на зелений корм – на 0,74, вико-вівсом – на 0,49 т/га.

За достатнього зволоження на чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому з підвищеним рівнем забезпечення рухомим фосфором та середнім калієм застосування рекомендованої дози мінеральних добрив ($N_{90}P_{60}K_{90}$) підвищило порівняно з контролем без добрив вміст зольних елементів у складі сирової маси коренеплодів: калію – на 0,28, натрію – на 0,37, альфа амінного азоту – на 1,19 мг-екв./100 г сирової маси. Це обумовило тенденцію зниження доброякісності нормально очищеного соку порівняно з варіантом без добрив на 1,7% та підвищило втрати цукру в мелясі на 0,22% (табл. 4.6).

Таблиця 4.5 Технологічна якість буряків цукрових в ланках сівозміни за різних систем удобрення, БЦДСС, 1998-2010 рр.

№ вар.	Внесено добрив, кг/га	Доброякісність нормально очищеного соку, %				Втрати цукру в мелясі, %				Розрахунковий вихід цукру, %				Вироблено цукру на заводі, т/га			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
11	Без добрив (контроль)	95,1	94,6	95,5	94,4	1,12	1,21	1,08	1,27	16,6	13,0	12,9	14,4	2,31	1,22	0,84	2,20
2	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	94,8	94,1	95,0	93,3	1,23	1,33	1,27	1,46	16,3	13,6	13,2	13,8	5,77	3,94	4,04	5,06
4	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + солома пшениці	94,9	93,9	95,2	93,3	1,20	1,34	1,22	1,42	16,4	13,6	13,5	14,1	5,76	4,31	4,60	5,43
13	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + 30 т/га гною	94,1	93,2	94,2	92,4	1,38	1,48	1,41	1,52	16,1	13,4	13,5	13,7	6,18	4,37	4,78	5,55
	НР ₀₅	4,4	4,6	4,6	4,5	0,11	0,12	0,10	0,11	0,7	0,6	0,6	0,7	-	-	-	-
	P, %	2,6	2,1	2,4	1,8	1,7	2,0	1,9	2,2	2,0	1,9	2,1	2,5	-	-	-	-

Примітка. I – ланка з редькою олійною, 1998-2000 рр.; II – ланка з горохом, 2001-2003 рр.; III – ланка з кукурудзою на зеленій корм, 2004-2006 рр.; IV – ланка з вико-вівсом, 2008-2010 рр. (в четвертій ланці під буряки цукрові вносили мінеральних добрив – N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀, гною – 50 т/га).

Таблиця 4.6 Технологічна якість буряків цукрових у ланці сівозміни з горохом за різних систем удобрення, УЛДСС, 2008-2010 рр.

№ вар.	Внесено добрив, кг/га	K, мг-екв на 100 г сирової маси	Na, г-екв на 100 г сирової маси	α -N, мг-екв на 100 г сирової маси	Втрати цукру в мелясі, %	Доброякісність нормально очищеного соку, %	Розрахунковий вихід цукру, %	Вироблено цукру на заводі, т/га
1	Без добрив (контроль)	4,64	1,02	3,21	1,98	92,2	12,3	4,29
3	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	4,92	1,39	4,40	2,20	90,5	11,8	5,38
15	N ₁₃₀ P ₆₀ K ₉₀	4,93	1,52	4,70	2,28	90,0	10,9	5,21
18	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	4,72	1,31	4,34	2,16	91,0	11,8	5,24
20	N ₉₀ P ₆₀ K ₁₃₀	5,13	1,34	4,46	2,08	91,6	11,9	5,36
4	N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₂₀	5,09	1,39	4,69	2,26	90,1	11,4	5,60
5	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + 40 т/га гною	4,95	1,23	4,43	2,16	90,2	11,7	6,27
6	40 т/га гною	4,70	0,87	3,33	1,95	92,2	12,5	5,61
10	Сидерат (гірчиця біла)	4,66	1,00	3,07	1,98	92,2	12,0	4,38
11	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат	4,72	0,99	3,65	2,05	91,6	12,2	5,50
12	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат + солома	4,68	1,12	3,86	2,02	92,1	12,5	5,96
	НР ₀₅	0,20	0,05	0,14	0,07	4,4	0,5	-
	P, %	2,4	1,8	2,2	1,7	2,1	2,0	-

Збільшення дози мінеральних добрив у 1,3 рази (N₁₂₀P₈₀K₁₂₀) обумовило подальше незначне підвищення зольності коренеплідів та погіршення технологічних якостей. При цьому вихід цукру на заводі підвищився і становив 5,60 т/га, що порівняно з рекомендованою дозою добрив було більше на 0,22, контролем без добрив – на 1,31 т/га.

Непродуктивні втрати цукру в мелясі залежали від збалансованості добрив за елементами живлення. Збільшення дози азоту у 1,5 рази підвищило вміст альфа амінного азоту у складі золи на 0,3 мг-екв на 100 г сирової маси та збільшило втрати цукру в мелясі на 0,08%. Підвищення дози калію у 1,5 рази обумовило тенденцію покращання

доброякісності нормально очищеного соку на 1,1% порівняно з рекомендованою дозою добрив та зменшило втрати цукру в мелясі на 0,12%. Збільшення у 1,5 рази дози фосфору у складі добрив не впливало істотно на технологічні якості коренеплодів.

Покращання технологічних якостей коренеплодів виявлено за органічної системи удобрення буряків цукрових. Внесення 40 т/га гною або застосування на добриво зеленої маси гірчиці білої стабілізувало вміст зольних елементів і альфа амінного азоту у складі сирі зли коренеплодів на рівні контролю без добрив.

Вихід цукру на заводі за внесення гною був на 1,12 т/га вищим порівняно з зеленим добривом внаслідок підвищення врожайності коренеплодів.

За традиційної органо-мінеральної системи удобрення на чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому одержано найвищий ефект. Внесення мінеральних добрив і гною ($N_{90}P_{60}K_{90} + 40$ т/га гною) забезпечило технологічні якості коренеплодів на рівні варіанту з мінеральною системою удобрення: втрати цукру в мелясі становили 2,16%, доброякісність нормально очищеного соку – 90,2%. При цьому за рахунок істотного підвищення врожайності коренеплодів досягався найвищий вихід цукру на заводі – 6,27 т/га.

На технологічні якості коренеплодів мало позитивний вплив впровадження елементів біологізації в системах удобрення. Внесення мінеральних добрив і зеленої маси гірчиці білої ($N_{90}P_{60}K_{90} +$ сидерат), а також їх поєднання з заорюванням на добриво соломи пшениці озимої ($N_{90}P_{60}K_{90} +$ сидерат + солома) зменшувало вміст зольних елементів і альфа амінного азоту у складі сирі зли порівняно з мінеральною системою удобрення. При цьому доброякісність нормально очищеного соку мала тенденцію до підвищення – відповідно на 1,1% та 1,6%, а втрати цукру в мелясі зменшувались на 0,15% та 0,18%. Вихід цукру на заводі за поєднаного внесення мінеральних добрив і зеленої маси гірчиці білої становив 5,50, мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та соломи пшениці озимої – 5,96 т/га.

Отже, запровадження заходів біологізації в системах удобрення буряків цукрових за їх вирощування на чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому визначено ефективним, таким що сприяє покращенню технологічні якості коренеплодів і підвищенню їх продуктивності.

4.2 Динаміка врожайності та якості зерна пшениці озимої за 20-35 річного застосування добрив

Система удобрення є одним із найефективніших заходів підвищення врожайності та покращання якості зерна пшениці озимої [60, 102, 161, 170].

Ефективність добрив помітно залежить від рівня забезпечення ґрунту поживними речовинами, попередника та особливостей сорту. За даними географічної мережі дослідів на чорноземі вилугуваному ефективними дозами мінеральних добрив під пшеницю озиму в ланці сівозміни з вико-вівсом на зелений корм є $N_{30-40}P_{40-60}K_{40}$, кукурудзою на силос – $N_{60}P_{40}K_{40}$; на чорноземах опідзолених – відповідно $N_{40-60}P_{60}K_{60}$ та $N_{80-90}P_{45-60}K_{60-80}$ [161].

Підвищення врожайності та покращання якості зерна пшениці озимої помітно залежить від азотного живлення. Високі дози азотних добрив в основне удобрення обумовлюють інтенсивний розвиток пшениці озимої в осінній період, пригнічують синтез цукрів та погіршують її перезимівлю. Тому В.М. Макаренко [190] вважає, що в основне удобрення цієї культури необхідно вносити невелику кількість азотних добрив, переважно на ґрунтах з низьким рівнем родючості та за вирощування її після небобових попередників. Ефективнішим на посівах пшениці озимої є застосування азоту весною у 2-3 позакореневі підживлення. Про необхідність зменшення дози азотних добрив за вирощування пшениці озимої після конюшини відмічалось в дослідженнях А.Я. Буки, Л.Г. Гамова [32], В.Ф. Сайка [265].

Азотне живлення має істотний вплив на якість та харчову цінність зерна пшениці озимої, зокрема підвищення в ньому вмісту білка, сирієї клейковини та крохмалю. Дослідження Г.М. Господаренка [61] свідчать, що білковість зерна пшениці залежить, передусім, від оптимального забезпечення її азотом, фізіологічно обґрунтованих доз фосфорних та калійних добрив, післядії органічних добрив та сівозмінного чинника.

На Драбівській дослідній станції внесення під пшеницю озиму $N_{40}P_{45}K_{45}$ підвищило вміст клейковини в зерні порівняно з контролем без добрив у ланці з вико-вівсом на 6,9%, кукурудзою – на 4,2%, люцерною – на 1,1% [284].

Таблиця 4.7 Урожайність та якість зерна пшениці озимої у ланках сівозміни за різних систем удобрення, ВДСС, 1998-2013 рр.

№ вар.	Удобрення буряків цукрових	Удобрення пшениці озимої	Буряки цукрові, ячмінь, конюшина, пшениця озима, 1998-2003 рр.		Буряки цукрові, горох, пшениця озима, 2001-2006 рр.		Буряки цукрові, ячмінь, конюшина, пшениця озима, 2008-2013 рр.	
			урожайність, т/га	вміст білка, %	урожайність, т/га	вміст білка, %	урожайність, т/га	вміст білка, %
1	Без добрив (контроль)	Без добрив (контроль)	4,37	11,2	4,76	10,5	6,07	12,4
2	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀	N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	5,00	13,8	5,95	12,7	6,93	14,1
23	N ₁₈₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀	N ₉₀ P ₅₀ K ₆₀	5,03	14,4	6,12	13,0	7,14	14,5
19	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₄₀	N ₆₀ P ₇₅ K ₆₀	5,11	13,8	6,15	12,8	6,94	14,1
25	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₂₁₀	N ₆₀ P ₅₀ K ₉₀	5,01	13,9	6,07	12,7	6,80	13,9
3	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀ + солома пшениці	N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	5,10	13,8	5,76	12,5	6,76	14,2
5	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀ + 40 т/га гною	N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	5,19	14,1	5,81	12,6	6,72	14,4
12	40 т/га гною + солома пшениці	-	4,99	13,0	5,76	11,1	6,85	13,6
	НР ₀₅		0,27	0,5	0,31	0,4	0,25	0,5
	Р, %		2,5	2,0	2,7	2,4	1,9	2,2

Примітка. У ланці з горохом під озиму пшеницю заорювали солому гороху (варіант 12).

Висока врожайність та якість зерна пшениці озимої забезпечується у польовій сівозміні за органо-мінеральної системи удобрення [108]. За даними досліджень Л.А. Барштейна, І.С. Шкаредного, В.М. Якименка [8] внесення органічних добрив під просапні культури супроводжується у сівозміні тривалою післядією, здатною підвищувати продуктивність культур впродовж 6-8 і навіть більше 10 років. Ефективність післядії органічних добрив при цьому значно залежить від фізіологічних особливостей культур, типу ґрунту та умов зволоження.

За вирощування пшениці озимої в умовах нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому кращим попередником під цю культуру у другій ротації був вико-овес. Врожайність її зерна після вико-вівса у варіанті без добрив становила 5,12 т/га, що більше, ніж після попередників конюшини і гороху відповідно на 0,75 та 0,36 т/га, або на 17,2% та 7,6%. У третій ротації врожайність зерна у ланці з конюшиною підвищилась порівняно з другою ротацією на 1,7 і становила 6,07 т/га. Це може бути наслідком покращення умов азотного живлення за тривалого її вирощування в сівозміні з часткою бобових культур 30% (табл. 4.7; 4.8).

Внесення у ланці сівозміні з вико-вівсом $N_{80}P_{50}K_{60}$ забезпечило врожайність зерна пшениці озимої у другій ротації – 6,59 т/га, тоді як в ланці з горохом та конюшиною за дози добрив $N_{60}P_{50}K_{60}$ урожайність зерна виявилась нижчою – відповідно 5,95 та 5,00 т/га. Підвищення врожайності зерна по відношенню до контролю без добрив у ланці з вико-вівсом становило 1,47 т/га, з горохом – 1,19, з конюшиною – 0,63 т/га. У третій ротації в ланці з конюшиною врожайність зерна підвищилась до контролю без добрив – на 0,86 т/га. Низька ефективність мінеральних добрив у ланці сівозміні з конюшиною могла бути спричинена погіршенням водного режиму. За даними окремих досліджень, конюшина здатна висушувати ґрунт до глибини 1,5 м, що за нестійкого та недостатнього зволоження може спричинити зниження врожайності наступних після неї культур [254].

Якість зерна пшениці озимої за мінеральної системи удобрення покращувалась порівняно з контролем без добрив: вміст білка в зерні у ланці сівозміні з вико-вівсом підвищився на 2,3%, з конюшиною – на 1,7-2,6%, з горохом – на 2,2%

Таблиця 4.8 Урожайність та якість зерна пшениці озимої у ланці сівозміни з вико-вівсом за різних систем удобрення, ВДСС, 2004-2009 рр.

№ вар.	Удобрення кукурудзи на зерно	Удобрення пшениці озимої	Кукурудза на зерно, вико-вівс, пшениця озима	
			урожайність, т/га	вміст білка, %
1	Без добрив (контроль)	Без добрив (контроль)	5,12	10,8
2	N ₆₀ P ₇₅ K ₄₀	N ₈₀ P ₅₀ K ₆₀	6,59	13,1
23	N ₉₀ P ₇₅ K ₄₀	N ₁₂₀ P ₅₀ K ₆₀	6,33	13,5
19	N ₆₀ P ₁₁₀ K ₄₀	N ₈₀ P ₇₅ K ₆₀	6,68	13,1
25	N ₆₀ P ₇₅ K ₆₀	N ₈₀ P ₅₀ K ₉₀	6,56	13,2
3	N ₆₀ P ₇₅ K ₄₀ + солома пшениці озимої	N ₈₀ P ₅₀ K ₆₀	6,49	13,0
5	N ₆₀ P ₇₅ K ₄₀ + 40 т/га гною	N ₈₀ P ₅₀ K ₆₀	6,36	13,2
12	40 т/га гною + солома пшениці озимої	-	6,12	12,4
НІР ₀₅			0,28	0,6
Р, %			2,9	3,1

Вирощування пшениці озимої на чорноземі опідзоленому з середнім рівнем забезпечення рухомим фосфором позитивно відгукувалось у другій ротації на збільшення у 1,5 рази дози фосфорних добрив. У ланках з конюшиною та горохом N₆₀P₇₅K₆₀ забезпечило врожайність зерна відповідно 5,11 та 6,15 т/га, вико-вівсом N₈₀P₇₅K₆₀ – 6,68 т/га, що порівняно з рекомендованою дозою добрив обумовило тенденцію підвищення врожайності відповідно на 0,11, 0,20 та 0,09 т/га. Це свідчить про доцільність збільшення дози фосфору у складі повного мінерального добрива на 20-30%.

Оптимальною дозою добрив за вирощування пшениці озимої на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому після конюшини та гороху визначено N₆₀P₆₀K₆₀ зі співвідношенням N:P:K = 1:1:1; вико-вівса – N₈₀P₆₀K₆₀ зі співвідношенням N:P:K = 1:0,8:0,8.

Застосування під пшеницю озиму мінеральних добрив на фоні післядії соломи чи 40 т/га гною внесених під передпопередник буряки цукрові було мало ефективним. Лише у другій ротації в ланці з конюшиною післядії органічних добрив забезпечила тенденцію підвищення врожайності зерна пшениці озимої – відповідно на 0,10

та 0,19 т/га. У ланках з горохом та вико-вівсом визначено тенденцію до зниження врожайності, що вказує на певний дефіцит азотного живлення. Показники якості зерна, при цьому, залишались стабільними.

Неефективним визначено вирощування пшениці озимої по післядії гною і соломи внесених під буряки цукрові (40 т/га гною + солома пшениці озимої). Порівняно з внесенням рекомендованої дози добрив під пшеницю озиму в усіх ланках сівозміни істотно погіршувалась якість зерна: у ланці з конюшиною вміст білка в зерні пшениці озимої зменшився на 0,5-0,8%, горохом – 1,6%, вико-вівсом – 0,7%. При цьому у ланці з вико-вівсом післядія органічних добрив помітно знижувала врожайність зерна пшениці озимої – на 0,47 т/га.

На чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому (умови нестійкого зволоження) кращими попередниками під пшеницю озиму визначено горох і вико-овес. Врожайність зерна пшениці озимої вирощеної після гороху у варіанті без добрив становила 4,51 т/га, вико-вівса – 4,01, тоді як після конюшини – 2,85, редьки олійної – 3,57, кукурудзи на зелений корм – 3,87 т/га (табл. 4.9; 4.10).

Внесення рекомендованої дози мінеральних добрив (ланка з редькою олійною, горохом, кукурудзою на зелений корм, вико-вівсом – $N_{40}P_{60}K_{60}$; конюшиною – $N_{60}P_{60}K_{60}$) забезпечило підвищення врожайності пшениці озимої порівняно з контролем без добрив у ланці з редькою олійною – на 1,24 т/га, горохом – на 0,90, кукурудзою на зелений корм – на 2,01, вико-вівсом – на 1,20, конюшиною – на 1,04 т/га, або відповідно на 34,7%, 20,0%, 55,1%, 29,9% та 36,5%.

Мінеральні добрива істотно підвищили вміст білка в зерні пшениці озимої порівняно з варіантом без добрив: ланці з редькою олійною – на 1,8%, горохом – на 1,7%, кукурудзою на зелений корм – на 2,1%, вико-вівсом – на 1,9%, конюшиною – на 1,7%.

Внесення мінеральних добрив під пшеницю озиму на фоні післядії соломи виявилось ефективним лише у ланці з кукурудзою на зелений корм. За рахунок післядії соломи, внесеної під передпопередник, врожайність зерна пшениці озимої підвищилась на 0,32 т/га. В ланках з редькою олійною, горохом, вико-вівсом та конюшиною ефективність післядії соломи внесеної під передпопередник буряки цукрові була неістотною. Післядія соломи помітно не впливала на якість зерна пшениці озимої.

Таблиця 4.9 Урожайність та якість зерна пшениці озимої у ланках сівозміни за різних систем удобрення, БЦДСС, 1997-2009 рр.

№ вар.	Удобрення буряків цукрових	Удобрення пшениці озимої	Цукрові буряки, ячмінь, редька олійна, пшениця озима, 1997-1999 рр.		Цукрові буряки, горох, пшениця озима, 2000-2002 рр.		Цукрові буряки, кукурудза на зеленій корм, пшениця озима, 2003-2005 рр.		Цукрові буряки, ячмінь, вико-овес, пшениця озима, 2007-2009 рр.	
			урожай-ність, т/га	вміст білка, %	урожай-ність, т/га	вміст білка, %	урожай-ність, т/га	вміст білка, %	урожай-ність, т/га	вміст білка, %
11	Без добрив (контроль)	Без добрив (контроль)	3,57	11,6	4,51	12,0	3,87	10,8	4,01	12,2
2	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	4,81	13,4	5,41	13,7	5,88	12,9	5,21	14,1
4	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + солома пшениці	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	4,77	13,4	5,45	13,4	6,20	13,0	5,27	13,9
13	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + 30 т/га ГНОУ	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	4,98	13,5	5,69	13,8	6,28	13,0	5,31	14,0
	НП ₀₅		0,21	0,5	0,27	0,6	0,23	0,5	0,28	0,5
	P, %		2,7	2,2	2,4	2,6	3,2	2,7	3,0	2,3

Примітка. У ланці сівозміни з горохом під озимом пшеницю заорювали соломою гороху (варіант 4); ланці з вико-вівсом в усіх варіантах мінеральні добрива вносили в нормі N₆₀P₆₀K₆₀.

Таблиця 4.10 Урожайність та якість зерна пшениці озимої у ланці сівозміни з конюшиною за різних систем удобрення, БЦДСС, 2011-2013 рр.

№ вар.	Удобрення буряків цукрових	Удобрення пшениці озимої	Буряки цукрові, ячмінь ярий, конюшина, пшениця озима	
			урожайність, т/га	вміст білка, %
11	Без добрив (контроль)	Без добрив (контроль)	2,85	12,3
2	N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,89	14,0
4	N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + солома пшениці озимої	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,04	14,2
13	N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + 50 т/га гною	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,23	14,4
НІР ₀₅			0,21	0,6
Р, %			2,7	2,9

Позитивний вплив на врожайність зерна пшениці озимої мала післядія гною, внесеного під передпопередник буряки цукрові. Застосування 30 т/га гною під передпопередник забезпечило підвищення врожайності зерна пшениці озимої за рахунок його післядії у ланці з редькою олійною, горохом, кукурудзою на зелений корм, вико-вівсом – відповідно на 0,17, 0,28, 0,40 та 0,10 т/га. Доза гною 30 т/га у післядії не мала помітного впливу на якість зерна пшениці озимої за її вирощування після зазначених попередників.

Внесення у ланці сівозміни з конюшиною під передпопередник 50 т/га гною помітніше впливало у післядії на врожайність та якість зерна пшениці озимої. За рахунок післядії гною врожайність пшениці озимої підвищилась на 0,34 т/га, вміст білка в зерні мав тенденцію до зростання – на 0,4%.

На чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому (умови достатнього зволоження) з підвищеним рівнем забезпечення фосфором та середнім калієм внесення під пшеницю озиму дози азоту N₆₀ підвищило врожайність зерна порівняно з контролем без добрив на 0,44 т/га, вміст білка – на 1,1% (табл. 4.11).

Подальше підвищення продуктивності пшениці озимої спостерігали за збільшення дози азоту у 1,5 рази (N₉₀) і внесення рекомендованої дози азоту та соломи гороху (N₆₀ + солома гороху). Порівняно з дозою азоту N₆₀ врожайність зерна пшениці озимої в

зазначених варіантах підвищилась на 0,25-0,42 та 0,26 т/га відповідно. Вміст білка в зерні пшениці озимої при цьому мав лише тенденцію до зростання – на 0,1-0,3%.

Таблиця 4.11 Урожайність та якість зерна пшениці озимої у ланці сівозміни з горохом за різних систем удобрення, УЛДСС, 2007-2009 рр.

№ вар.	Удобрення буряків цукрових	Удобрення пшениці озимої	Буряки цукрові, горох, пшениця озима		
			урожайність, т/га	вміст білка, %	маса 1000 зерен, г
1	Без добрив (контроль)	Без добрив (контроль)	5,55	13,1	53,9
3	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	N ₆₀	5,99	14,2	56,0
15	N ₁₃₀ P ₆₀ K ₉₀	N ₉₀	6,41	14,4	58,0
18	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	N ₆₀	5,96	14,2	55,6
20	N ₉₀ P ₆₀ K ₁₃₀	N ₆₀	5,94	14,3	56,4
4	N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₂₀	N ₈₀	6,24	14,5	57,3
5	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + 40 т/га гною	N ₆₀	6,05	14,4	56,2
6	40 т/га гною	-	5,58	13,8	54,6
10	Сидерат (гірчиця біла)	-	5,57	13,6	53,4
11	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат	N ₆₀	6,03	14,4	56,0
12	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерат + солома пшениці	N ₆₀ + солома гороху	6,25	14,3	57,5
НР ₀₅			0,32	0,5	2,9
Р, %			2,9	2,1	3,5

Простежити вплив післядії гною, сидерату та поєднаного внесення соломи і сидерату під буряки цукрові, не має можливості, оскільки стаціонарний дослід щойно заклали і ланка сівозміни з горохом є її першою ланкою.

Отже, вирощування пшениці озимої у ланці сівозміни з горохом на чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому позитивно реагувало на підвищення дози азотних добрив та їх внесення з соломою гороху.

4.3 Урожайність та якість зерна кукурудзи

Урожайність кукурудзи на зерно залежить від кліматичних умов, генетичного потенціалу гібриду, місця в сівозміні та системи удобрення [166, 173, 219].

За даними В.І. Золотова [119] застосування добрив підвищило врожайність зерна кукурудзи за різних гідротермічних умов її вирощування на 11-50%.

Узагальнення В.І. Золотовим [119] даних досліджень з вивчення впливу добрив на продуктивність кукурудзи на зерно показало, що оптимальною дозою мінеральних добрив за вирощування кукурудзи за нестійкого зволоження є $N_{60-45}P_{60-45}K_{60-30}$. Її підвищення до $N_{90}P_{90}K_{90-45}$ не мало помітного впливу на врожайність зерна кукурудзи.

На чорноземі опідзоленому важкосуглинковому застосування під кукурудзу на зерно $N_{60}P_{75}K_{40}$ у ланці з горохом забезпечило врожайність зерна – 6,54 т/га, масу одного качана – 55 г, кількість качанів – 185 тис. шт./га, що порівняно з контролем без добрив було більшим відповідно на 0,80 т/га, 18 г та 2,7 тис. шт./га (табл. 4.12).

Кукурудза на зерно позитивно реагувала на посилене фосфорне живлення. Збільшення дози фосфору у 1,5 рази обумовило тенденцію зростання врожайності зерна на 0,17 т/га. Внесення підвищеної у 1,5 рази дози азоту і калію у складі рекомендованої дози добрив не впливало істотно на врожайність зерна кукурудзи.

Отже, на чорноземних ґрунтах з середнім рівнем забезпечення рухомих фосфором і підвищеним вмістом рухомого калію дозу внесення фосфорних добрив доцільно підвищити на 20%. Оптимальною дозою мінеральних добрив за вирощування кукурудзи на зерно у ланці сівозміни з горохом визначено $N_{60}P_{90}K_{40}$ зі співвідношенням елементів живлення (N:P:K) рівним 1:1,5:0,7.

Внесення рекомендованої дози мінеральних добрив із застосуванням на добриво соломи пшениці озимої або внесенням 40 т/га гною не забезпечило підвищення врожайності зерна кукурудзи порівняно з мінеральною системою удобрення. Урожайність зерна кукурудзи в зазначених варіантах становила 6,57-6,59 т/га, кількість качанів – 55,6-56,1 тис. шт./га, маса одного качана – 187 г, що було на рівні варіанту з рекомендованою дозою мінеральних добрив.

Таблиця 4.12 Урожайність кукурудзи на зерно за різних систем удобрення, ВДСС, 2002-2007 рр.

№ вар.	Внесено добрив	Урожайність, т/га	Кількість початків, тис. шт./га	Маса одного початку, г
1	Без добрив (контроль)	5,74	52,3	167
2	N ₆₀ P ₇₅ K ₄₀	6,54	55,0	185
23	N ₉₀ P ₇₅ K ₄₀	6,55	55,2	184
19	N ₆₀ P ₁₁₀ K ₄₀	6,71	56,9	189
25	N ₆₀ P ₇₅ K ₆₀	6,59	55,4	184
3	N ₆₀ P ₇₅ K ₄₀ + солома пшениці озимої	6,57	55,6	187
5	N ₆₀ P ₇₅ K ₄₀ + 40 т/га гною	6,59	56,1	187
12	40 т/га гною + солома пшениці озимої	6,40	54,7	181
	НІР ₀₅	0,32	2,4	7,8
	Р, %	3,0	2,5	3,7

За органічної з елементами біологізації системи удобрення (40 т/га гною + солома пшениці озимої) виявлено тенденцію до зниження врожайності зерна кукурудзи порівняно з внесенням рекомендованої дози добрив (N₆₀P₇₅K₄₀) на 0,14 т/га.

Отже, внесення мінеральних добрив і гною під кукурудзу на зерно в умовах нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому порівняно з мінеральною системою удобрення не забезпечило підвищення врожайності зерна та з економічної точки зору було неефективним. Поєднання мінеральних добрив і соломи пшениці озимої не потребувало додаткових фінансових витрат, а тому було економічно та екологічно виправданим, оскільки сприяло покращанню балансу органічної речовини ґрунту.

4.4 Урожайність культур за післядії добрив

Вивчення післядії органічних і мінеральних добрив є важливим етапом в оптимізації середньорічної дози внесення добрив та її розподілу між культурами зерно-бурякової сівості [8, 60, 96].

На думку Ю.А. Тонкаля [294] мінеральні і органічні добрива у зерно-буряковій сівості слід вносити під культури, які забезпечують найвищу економічну віддачу: буряки цукрові, пшениця озима,

кукурудза на зерно. Інші культури сівозміни, як ячмінь ярий, конюшина, горох, слабкіше реагують на пряме внесення добрив, а тому вони ефективні у післядії.

Дослідження Г.М. Господаренка [61], Ю.А. Тонкаля [294] свідчать, що в Лісостепу найефективнішою є система удобрення, яка поєднує внесення органічних і мінеральних добрив під просапні культури (буряки цукрові, кукурудзу на силос) та мінеральних добрив під пшеницю озиму. Такий розподіл добрив у сівозміні забезпечує високу продуктивність культур, які краще реагують на пряму дію добрив, і створюють у післядії достатнє мінеральне живлення для гороху, ячменю та багаторічних трав.

На чорноземі опідзоленому важкосуглинковому ячмінь ярий, конюшину та горох у зерно-буряковій сівозміні вирощували у післядії добрив, внесених під буряки цукрові. Найкраще на післядію добрив реагував ячмінь ярий. За дози $N_{120}P_{100}K_{140}$ під попередник буряки цукрові врожайність ячменю ярого порівняно з контролем без добрив підвищилась на 1,15 т/га (табл. 4.13). Конюшина, яка використовувала другий рік післядії мінеральних добрив, підвищувала врожайність зеленої маси на 1,0 т/га. Горох помітно менше реагував на післядію добрив, підвищивши врожайність до контролю без добрив лише на 0,19 т/га.

Збільшення дози азоту або фосфору у 1,5 рази у складі мінеральних добрив внесених під попередник буряки цукрові підвищувало їх ефективність у післядії. Урожайність ячменю ярого порівняно з контролем без добрив за підвищення дози азоту зросла на 1,40 т/га, фосфору – на 1,27; конюшини – відповідно на 1,6 та 2,2; гороху – на 0,19 та 0,30 т/га.

Вагомою виявилась післядія добрив за застосування під буряки цукрові мінеральних добрив і гною за органо-мінеральної системи удобрення.

Внесення мінеральних добрив і соломи ($N_{120}P_{100}K_{140}$ + солома пшениці озимої) під попередник мало такий же вплив на врожайність ячменю ярого, конюшини та гороху, як і внесення мінеральних добрив і гною ($N_{120}P_{100}K_{140}$ + 40 т/га гною). Урожайність ячменю ярого в зазначених варіантах підвищилась порівняно з контролем без добрив на 1,82-1,91 т/га, конюшини – на 2,2-2,7, гороху – на 0,33-0,38 т/га.

Таблиця 4.13 Урожайність культур зерно-бурякової сівозміни у післядії добрив, ВДСС, 1996-2005 рр., т/га

№ вар.	Внесено добрив під попередник буряки цукрові	Ячмінь з підсівом конюшини, 1996-2001 рр.	Конюшина, 1997-2002 рр.	Горох, 2000-2005 рр.
1	Без добрив (контроль)	2,75	21,1	2,76
2	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀	3,90	22,1	2,95
23	N ₁₈₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀	4,15	22,7	2,95
19	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₄₀	4,02	23,3	3,06
25	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₂₁₀	3,77	22,9	3,02
3	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀ + солома пшениці озимої	4,66	23,3	3,09
5	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀ + 40 т/га гною	4,57	23,8	3,14
12	40 т/га гною + солома пшениці озимої	4,37	22,7	3,22
	НІР ₀₅	0,19	1,1	0,17
	Р, %	2,7	2,1	2,5

Внесення гною і соломи (40 т/га гною + солома пшениці озимої) поступалося у післядії за ефективністю традиційній органо-мінеральній та системам удобрення з введенням елементів біологізації на посівах ячменю ярого і конюшини та мало лише тенденцію до підвищення врожайності на посівах гороху.

На післядію добрив краще реагували вико-овес, який вирощували після кукурудзи на зерно. Внесення під неї мінеральних добрив у дозі N₆₀P₇₅K₄₀ забезпечило у післядії приріст урожайності зеленої маси вико-вівса до контролю без добрив – 4,0 т/га. Збільшення під кукурудзу на зерно дози азоту у 1,5 рази підвищило ефективність мінеральних добрив у післядії. Приріст урожайності вико-вівса підвищився порівняно з контролем без добрив на 5,3 т/га.

За внесення гною і соломи та введення елементів біологізації до органо-мінеральної системи удобрення під попередник кукурудзу на зерно спостерігали подальше підвищення врожайності вико-вівса у післядії добрив. Післядія N₆₀P₇₅K₄₀ + солома пшениці озимої забезпечила приріст зеленої маси вико-вівса порівняно з контролем без добрив на 4,9, мінеральних добрив і гною (N₆₀P₇₅K₄₀ + 40 т/га гною) – на 6,3 т/га.

Найвищу ефективність післядії добрив виявлено за поєднання

гною і соломи (40 т/га гною + солома пшениці озимої). Приріст урожайності зеленої маси вико-вівса порівняно з контролем без добрив становив 7,4 т/га.

На чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому внесення під попередник буряки цукрові $N_{100}P_{100}K_{100}$ забезпечило у післядії врожайність ячменю ярого – 3,03, приріст до контролю без добрив – 1,2 т/га. Післядія мінеральних добрив і соломи ($N_{100}P_{100}K_{100}$ + солома пшениці озимої) забезпечили приріст урожайності зерна ячменю ярого порівняно з контролем без добрив на 1,62, мінеральних добрив і гною ($N_{100}P_{100}K_{100}$ + 50 т/га гною) – на 1,80 т/га.

Отже, у зерно-буряковій сівозміні значний приріст урожайності культур можна досягти за рахунок післядії добрив. Вирощування ячменю ярого на чорноземних ґрунтах по післядії добрив забезпечило приріст урожайності зерна порівняно з контролем без добрив – 1,15-1,91 т/га, гороху – 0,19-0,38, зеленої маси конюшини – 1,6-2,7, вико-вівса – 4,0-7,4 т/га.

4.5 Урожайність культур у сівозмінах за 50 річного застосування добрив

4.5.1 Буряки цукрові

Довготривале упродовж 50 років вирощування культур у зерно-бурякових сівозмінах різної структури показало різку диференціацію врожайності буряків цукрових, яка залежала від системи удобрення та структури сівозмін. На контролі де 50 років не вносили добрива врожайність коренеплодів була надто низькою: у плодозмінній сівозміні – 18,8 т/га, зерно-просапній – 18,6, просапній – 17,1 т/га. Збільшення частки просапних культур у сівозмінах супроводжувалось зниженням врожайності буряків цукрових на 0,2-1,7 т/га, що засвідчує зниження природної родючості ґрунту (рис. 4.1).

Внесення мінеральних добрив в дозі $N_{53}P_{43}K_{43}$ на 1 га сівозміні підвищувало вміст елементів живлення у ґрунті, формувало більш високий рівень ефективної його родючості та супроводжувалось підвищенням врожайності буряків цукрових. Порівняно з контролем без добрив врожайність буряків цукрових за мінеральної системи удобрення підвищилась у плодозмінній сівозміні на 20,5 т/га, зерно-просапній – на 17,3 за абсолютних показників 39,3 та 35,9 т/га. Наявність у плодозмінній сівозміні багаторічних бобових трав формувало вищий фон забезпечення ґрунту азотом, покращувало

азотне живлення і супроводжувалось підвищенням врожайності буряків цукрових порівняно з зерно-просапною сівозміною на 3,4 т/га.

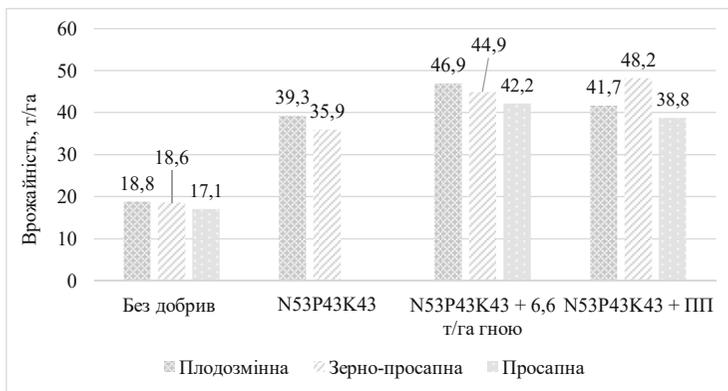


Рис. 4.1 Врожайність буряків цукрових залежно від структури сівозмін та удобрення, БЦДСС, т/га, 2020-2022 рр.

Найвищі показники врожайності буряків цукрових досягали за традиційної на основі гною системи удобрення сівозмін. За внесення на 1 га ріллі $N_{53}P_{43}K_{43}$ та 6,6 т гною урожайність буряків цукрових у плодозмінній сівозміні становила 46,9 т/га, зерно-просапній – 44,9, просапній – 42,2 т/га, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим на 28,1, 26,3 та 25,1 т/га, відповідно. У плодозмінній сівозміні врожайність була найвищою і перевищувала врожайність буряків цукрових у зерно-просапній сівозміні – на 2,0, просапній – на 4,7 т/га.

Високий рівень ефективної і природної родючості формувався за довготривалого застосування у сівозмінах альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. За внесення на 1 га ріллі $N_{53}P_{43}K_{43}$ та побічної продукції урожайність буряків цукрових у плодозмінній сівозміні становила 41,7 т/га, зерно-просапній – 48,2, просапній – 38,8 т/га, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим на 22,9, 29,6 та 21,7 т/га, відповідно. У зерно-просапній сівозміні альтернативне удобрення забезпечило найвищу врожайність буряків цукрових з перевагою до плодозмінної сівозміни на 6,5 т/га, просапної – на 9,4 т/га. Очевидно кількість надходження органічної речовини побічної продукції у ґрунт у зерно-просапній сівозміні та рециркуляція елементів живлення були найбільш сприятливі за

альтернативного удобрення, що формувало вищу ефективну родючість ґрунту у цьому варіанті.

Застосування добрив у сівозмінах мало зворотній вплив на цукристість коренеплодів буряків цукрових порівняно з їх впливом на врожайність. На контролі без добрив цукристість коренеплодів була найвищою: у плодозмінній сівозміні – 17,0%, зерно-просапній – 17,2%, просапній – 17,4%. У плодозмінній сівозміні цукристість коренеплодів була на 0,2% нижча, ніж у зерно-просапній сівозміні та на 0,4% нижча, ніж у просапній. Причиною цього може бути посилене азотне живлення рослин буряків цукрових у плодозмінній сівозміні, оскільки азот завжди знижує цукристість коренеплодів, спричиняючи відростання молодих листків і подовжуючи період вегетації рослин (рис. 4.2).

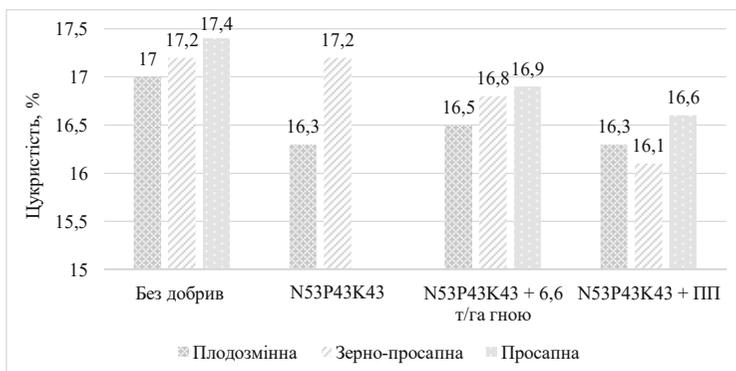


Рис. 4.2 Цукристість буряків цукрових залежно від структури сівозмін та удобрення, БЦДСС, т/га, 2020-2022 рр.

Значне зниження цукристості коренеплодів спостерігали за мінеральної системи удобрення зерно-бурякових сівозмін. Внесення мінеральних добрив на 1 га ріллі в дозі N_{53,2}P_{41,7}K_{41,7} забезпечило вміст цукру в коренеплодах у плодозмінній сівозміні – 16,3%, зерно-просапній – 17,2%. Порівняно з контролем без добрив цукристість коренеплодів за мінеральної системи удобрення знизилась у плодозмінній сівозміні на 0,7%, зерно-просапній – зберігалась на рівні контролю.

Подальше зниження цукристості коренеплодів спостерігали за традиційної на основі гною системи удобрення сівозмін. За внесення $N_{53}P_{43}K_{43} + 6,6$ т гною на 1 га сівозміни цукристість коренеплодів у плодозмінній сівозміні становила 16,5%, зерно-просапній – 16,8%, просапній – 16,9%, що порівняно з контролем без добрив визначено меншим на 0,5%, 0,4% та 0,5%, відповідно. У плодозмінній сівозміні цукристість коренеплодів була нижчою, ніж у зерно-просапній сівозміні – на 0,3%, просапній – на 0,4%.

Значне зниження цукристості коренеплодів обумовило застосування альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. За внесення $N_{53}P_{43}K_{43} +$ побічна продукція на 1 га сівозміни цукристість коренеплодів у плодозмінній сівозміні становила 16,3%, зерно-просапній – 16,1%, просапній – 16,6%, що порівняно з контролем без добрив визначено нижчим на 0,7%, 1,1% та 0,8%, відповідно. У плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах цукристість коренеплодів була нижчою, ніж просапній – на 0,3% та 0,5%.

Біологічну продуктивність буряків цукрових найкраще відображає показник збору цукру. На контролі без добрив збір цукру був досить низьким і становив у плодозмінній сівозміні – 3,17 т/га, зерно-просапній – 3,19, просапній – 2,94 т/га. Тривале упродовж 50 років вирощування сільськогосподарських культур у зерно-бурякових сівозмінах без внесення добрив негативно позначилось на ефективній родючості чорнозему вилугуваному. При цьому у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах збір цукру визначено на 0,23 та 0,25 т/га вищим, ніж у просапній сівозміні (рис. 4.3).

Застосування дози мінеральних добрив $N_{53}P_{43}K_{43}$ на 1 га сівозміни істотно підвищило біологічну продуктивність буряків цукрових. За мінеральної системи удобрення збір цукру у плодозмінній сівозміні становив 6,39 т/га, зерно-просапній – 6,14 т/га, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим – на 3,22 та 2,95 т/га. Мінеральні добрива удвічі підвищили біологічну продуктивність буряків цукрових до контролю без добрив, при цьому збір цукру у плодозмінній сівозміні був на 0,25 т/га вищим, ніж у зерно-просапній сівозміні.

Найвищу біологічну продуктивність буряків цукрових отримали за традиційної на основі гною системи удобрення сівозмін. За внесення на 1 га ріллі $N_{53}P_{43}K_{43} + 6,6$ т гною збір цукру у плодозмінній сівозміні становив 7,73 т/га, зерно-просапній – 7,52, просапній – 7,10 т/га, що порівняно з контролем без добрив визначено

вищим на 4,56, 4,33 та 4,16 т/га, відповідно. У плодозмінній сівозміні збір цукру був вищим порівняно із зерно-просапною сівозміною – на 0,21, просапною – на 0,63 т/га.

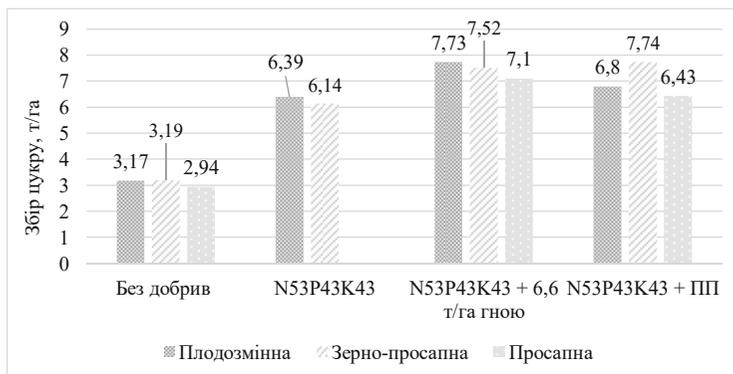


Рис. 4.3 Збір цукру залежно від структури сівозмін та удобрення, БЦДСС, т/га, 2020-2022 рр.

Застосування альтернативної органо-мінеральної системи удобрення дещо поступалось традиційній на основі гною проте формувало досить високу біологічну продуктивність буряків цукрових. За застосування на 1 га ріллі N₅₃P₄₃K₄₃ + побічна продукція збір цукру у плодозмінній сівозміні становив 6,80 т/га, зерно-просапній – 7,74, просапній – 6,43 т/га, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим на 3,63, 4,55 та 3,49 т/га, відповідно. За альтернативного удобрення найвища продуктивність буряків цукрових формувалась у зерно-просапній сівозміні з перевагою до плодозмінної сівозміни за збором цукру – на 0,94 т/га, просапної – на 1,31 т/га. Очевидно кількість та характер трансформації органічної речовини, що надходила у ґрунт у зерно-просапній сівозміні формувала найбільш сприятливі умови поживного режиму для буряків цукрових.

Отже, найвищу біологічну продуктивність буряків цукрових отримали у плодозмінній сівозміні за традиційного на основі гною удобрення: врожайність – 46,9 т/га, цукристість – 16,5%, збір цукру – 7,73 т/га. Ефективним визначено довготривале застосування альтернативного удобрення з внесенням на 1 га ріллі N₅₃P₄₃K₄₃ та

побічної продукції у зерно-просапній сівозміні: врожайність – 48,2 т/га, цукристість – 16,1%, збір цукру – 7,74 т/га.

4.5.2 Пшениця озима

Отримання сталих врожаїв пшениці озимої, досягнення її високої продуктивності є пріоритетним напрямом державної політики у вирішенні проблеми продовольства. Ця культура входить у топ трьох найбільш вирощуваних культур в Україні з площею посіву близько 7 млн. га, врожайністю понад 4 т/га [208].

Система удобрення та попередники є найбільш дієвими факторами впливу на врожайність і якість зерна пшениці озимої [345, 443, 463]. Мінеральні добрива, дози, форми та способи їх застосування – це найбільш швидкий і ефективний шлях у досягненні високої біологічної продуктивності пшениці озимої [426, 439]. Натомість стабільність отримання високих врожаїв пшениці озимої досягається її місцем у структурі сівозмін та за умови застосування органо-мінеральних систем удобрення. Сталість ведення землеробства і технологій вирощування сільськогосподарських культур не можлива без досягнення сталості ґрунтового комплексу, збереження родючості ґрунтів, покращення їх агрофізичних та агрохімічних характеристик [381, 444].

У період глобального потепління, дефіциту гною та трансформації аграрного виробництва з його переходом до короткоротаційних сівозмін питання удобрення та оптимізації структури сівозмін набувають особливого значення. Загострюються питання щодо ширшого застосування альтернативних джерел органічних добрив, вибору оптимальних попередників та оптимізації системи застосування добрив [266, 420].

Дослідження проведені на БЦДСС у двох ланках зерно-бурякових сівозмін показали, що врожайність пшениці озимої значно залежала від системи удобрення та структури сівозмін. У ланці вико-овес-пшениця озима-буряки цукрові найвища врожайність пшениці озимої спостерігалась у плодозмінній сівозміні. На контролі без добрив врожайність зерна у плодозмінній сівозміні була вища ніж у зерно-просапній – на 0,60 т/га, просапній – на 0,33 т/га за абсолютних величин 4,01, 3,41 та 3,68 т/га. Зростання врожайності пшениці озимої спостерігали у ланках з бобовими травами конюшиною та викою ярою. У ланці плодозмінної сівозміни (ячмінь+конюшина-конюшина-

пшениця озима) врожайність зерна становила 5,18 т/га, зерно-просапної (ячмінь-вика яра-пшениця озима) – 4,63 т/га, що порівняно з ланкою де пшеницю вирощували після вико-вівса було вищим – відповідно на 1,17 та 1,22 т/га. Врожайність соломи перевищила врожайність зерна у розрізі сівозмін у 1,28-1,30 рази і варіювала в межах 4,39-6,68 т/га (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 Врожайність пшениці озимої залежно від структури сівозміни та удобрення, БЦДСС, т/га

№ вар.	Добрив на 1 га сівозміни (фактор В)	Складові врожаю	Сівозміна (фактор А)				
			плодозмінна		зерно-просапна		просапна
			І	ІІ	І	*ІІ	І
11,51, 31	Без добрив (контроль)	зерно	4,01	5,18	3,41	4,63	3,68
		солома	5,14	6,68	4,52	5,30	4,39
2, 55	N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃	зерно	5,09	6,84	4,75	6,78	-
		солома	8,21	9,30	7,39	8,87	-
13,53, 33	N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + 6,6 т гною	зерно	5,74	7,67	5,26	7,28	5,51
		солома	9,22	11,30	8,27	10,36	8,79
4, 49, 26	N ₅₃ P ₄₃ K ₄₃ + ІІІ	зерно	5,46	7,17	5,25	7,04	5,37
		солома	8,54	10,46	8,51	10,22	8,50
НІР ₀₅ (фактор А)			0,14	0,21	0,10	0,11	0,12
НІР ₀₅ (фактор В)			0,29	0,42	0,27	0,44	0,30
НІР ₀₅ (фактор А+В)			0,43	0,64	0,38	0,55	0,41

Примітка: І – врожайність пшениці озимої у ланці вико-овес-пшениця озима-буряки цукрові (2019-2021 рр.); ІІ – у ланці ячмінь ярий-конюшина (*вика яра)-пшениця озима (2023-2024 рр.)

Значне зростання врожайності пшениці озимої досягали за застосування мінеральних добрив у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах. За дози добрив N₅₃P₄₃K₄₃ на 1 га сівозміни у ланці вико-овес-пшениця озима-буряки цукрові врожайність зерна у плодозмінній сівозміні становила 5,09 т/га, зерно-просапній – 4,75 т/га, що порівняно з контролем без добрив було вищим – на 1,08 та 1,34 т/га. У ланках з бобовими травами конюшиною та викою ярою врожайність пшениці озимої мала значно вищі показники – 6,84 та 6,78 т/га, що порівняно з ланкою де пшеницю вирощували після вико-вівса було вищим – відповідно на 1,75 та 2,03 т/га. Врожайність

соломи за внесення мінеральних добрив зростає у розрізі сівозмін до 7,39-9,30 т/га.

Найвищої врожайності пшениці озимої досягали за застосування органо-мінерального удобрення. Внесення на 1 га ріллі $N_{53}P_{43}K_{43}$ та 6,6 т гною формувало врожайність зерна у ланці вико-овес-пшениця озима-буряки цукрові в умовах плодозмінної сівозміни 5,74 т/га, зерно-просапної – 5,26, просапної – 5,51 т/га. Порівняно з контролем без внесення добрив врожайність була вищою – на 1,73, 1,85 та 1,83 т/га, відповідно. У ланках з бобовими травами конюшиною та викою ярою врожайність пшениці озимої за органо-мінеральної системи удобрення досягла максимальних показників – відповідно 7,67 та 7,28 т/га, що порівняно з ланкою де пшеницю вирощували після вико-вівса було вищим – на 1,93 та 2,02 т/га. Врожайність соломи за органо-мінеральної системи удобрення у розрізі сівозмін становила 8,27-11,30 т/га.

Високу врожайність пшениці озимої забезпечило застосування у сівозмінах альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. За внесення на 1 га ріллі $N_{53}P_{43}K_{43}$ та побічну продукцію: врожайність зерна у ланці вико-овес-пшениця озима-буряки цукрові в умовах плодозмінної сівозміни становила 5,46 т/га, зерно-просапної – 5,25, просапної – 5,37. Порівняно з контролем без внесення добрив врожайність була вищою – на 1,45, 1,84 та 1,69 т/га, відповідно. У ланках з бобовими травами конюшиною та викою ярою врожайність пшениці озимої за альтернативного органо-мінерального удобрення була істотно вищою – 7,17 та 7,04 т/га, що порівняно з ланкою де пшеницю вирощували після вико-вівса було вищим – на 1,71 та 1,79 т/га. Врожайність соломи за альтернативного удобрення у розрізі сівозмін становила 8,50-10,46 т/га.

Отже, вирощування пшениці озимої у плодозмінній сівозміні було значно продуктивнішим, ніж у зерно-просапній та просапній. Найвищої врожайності зерна досягнуто за вирощування пшениці озимої у плодозмінній сівозміні після конюшини із застосуванням традиційної органо-мінеральної системи удобрення. Внесення на 1 га ріллі $N_{53}P_{43}K_{43}$ та 6,6 т гною формувало врожайність зерна 7,67 т/га, що було вищим порівняно з контролем без добрив на 2,43 т/га, порівняно з попередником вико-овес – на 1,93 т/га.

4.5.3 Ячмінь ярий

У зерно-бурякових сівозмiнах ячмінь ярий вирощують після буряків цукрових де він переважно використовує післядiю добрив, які вносять під основну культуру. Результати досліджень, що проводились в умовах короткоротаційних зерно-бурякових сівозмiн БЦДСС показали, що врожайність ячменю ярого залежала від структури сівозмiн та системи удобрення. На контролi де упродовж 50 років не вносили добрива врожайність ячменю ярого була досить низькою: у плодозміній сівозмiні – 2,10 т/га, зерно-просапній та просапній сівозмiнах – 2,27 т/га. Підсiв конюшини до ячменю ярого у плодозміній сівозмiні обумовив зменшення врожайності зерна порівняно сівозмiнами де ячмінь висiвали одноосiбно: зерно-просапною сівозмiною – на 0,07 т/га, просапною – на 0,18 т/га, що може бути наслідком погіршення мінерального живлення ячменю, оскільки підсiвна культура використовувала частину елементів живлення (рис. 4.4).

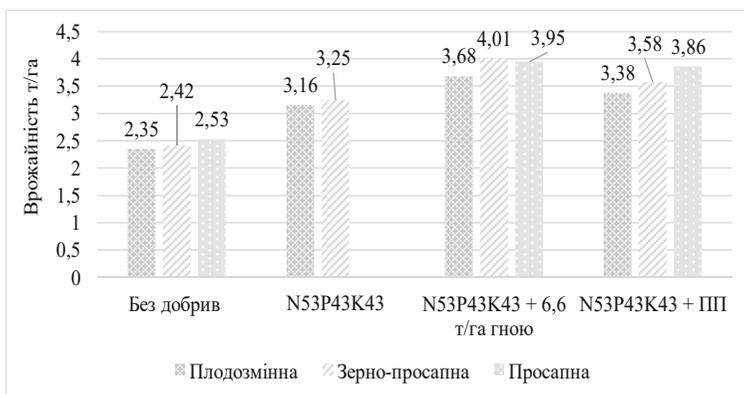


Рис. 4.4 Врожайність зерна ячменю ярого за післядiї добрив в сівозмiнах рiзної структури, БЦДСС, т/га, 2021-2023 рр.

Внесення на 1 га сівозмiни мінеральних добрив N₅₃P₄₃K₄₃ iстотно підвищило врожайність ячменю ярого за післядiї добрив. За системи мінерального удобрення сівозмiни врожайність ячменю ярого у порівнянні з контролем без внесення добрив підвищилась у плодозміній сівозмiні на 0,81 т/га, зерно-просапній – на 0,83 за абсолютних показників 3,16 та 3,25 т/га. При цьому врожайність

ячменю за післядії добрив у плодозмінній сівозміні була на 0,09 т/га нижчою, ніж у зерно-просапній, що може бути наслідком погіршення поживного та водного режимів ґрунту, а відповідно і умов живлення, в результаті підсіву конюшини до ячменю.

Найвищої врожайності ячменю ярого у післядії добрив досягали за традиційної на основі гною системи удобрення сівозмін. За застосування на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43}$ та 6,6 т гною врожайність ячменю ярого у післядії добрив у плодозмінній сівозміні становила 3,68 т/га, зерно-просапній – 4,01, просапній – 3,95 т/га, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим на 1,33, 1,59 та 1,42 т/га, відповідно. В умовах зерно-просапної сівозміни врожайність ячменю ярого перевищила його врожайність у плодозмінній сівозміні – на 0,33, просапній – на 0,06 т/га. У зерно-просапній сівозміні де ячмінь ярий висівали одноосібно і де частка просапних культур була невисокою створювались найкращі умови для вирощування цієї культури у післядії внесення добрив.

Досить сприятливі умови для формування врожаю ячменем ярим за післядії внесення добрив створювались за застосування альтернативної органо-мінеральної системи удобрення у зерно-бурякових сівозмінах. За внесення на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43}$ та побічної продукції врожайність ячменю ярого за післядії добрив у плодозмінній сівозміні становила 3,38 т/га, зерно-просапній – 3,58, просапній – 3,86 т/га, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим на 1,03, 1,16 та 1,15 т/га, відповідно. У просапній сівозміні за альтернативного удобрення врожайність ячменю ярого перевищила його врожайність у плодозмінній сівозміні на 0,20 т/га, зерно-просапній – на 0,48 т/га. Очевидно у просапній сівозміні створювались найкращі умови для швидкої мінералізації рослинних решток, що формувало найбільш сприятливий режим мінерального живлення ячменю ярого у післядії альтернативного удобрення сівозмін.

Отже, найвищої врожайності зерна ячменю ярого досягали у післядії застосування $N_{53}P_{43}K_{43}$ + 6,6 т гною на 1 га ріллі у зерно-просапній сівозміні – 4,01 т/га та за внесення $N_{53}P_{42}K_{42}$ + побічна продукція у просапній сівозміні – 3,86 т/га, що було вищим у порівнянні з контролем без внесення добрив на 1,66 та 1,33 т/га. У зазначених варіантах ячмінь ярий формував найвищу врожайність соломи, яка була вища, ніж у контролі без добрив у 1,89-1,93 рази.

4.5.4 Соняшник

В умовах зерно-бурякових сівозмін позитивно на внесення добрив відгукувався соняшник. За вирощування соняшнику в умовах просапної сівозміни врожайність насіння на контролі без добрив була найнижчою – 2,09 т/га, стебел – 3,44 т/га (рис. 4.5). Довготривале упродовж 50 років ведення сівозміни без застосування добрив не позначилось надто негативно на врожайності цієї культури. Соняшник мав середній рівень врожайності, що вказує на високу спроможність кореневої системи забезпечувати елементами живлення цю культуру за її вирощування на ґрунтах, що зазнали виснаження і деградації та втратили частину природної родючості.

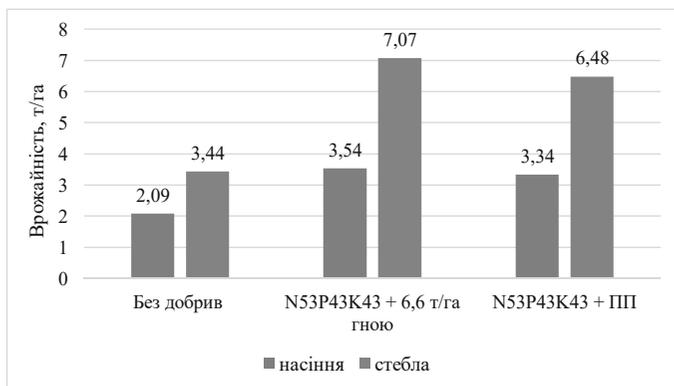


Рис. 4.5 Врожайність соняшника в просапній сівозміні залежно від удобрення, БЦДСС, т/га, 2023-2024 рр.; дози добрив з розрахунку на 1 га сівозміни (під соняшник вносили N₅₀P₆₀K₆₀), ПП – побічна продукція

Найвищу врожайність насіння і стебел соняшнику отримали за застосування традиційної на основі гною системи удобрення у просапній сівозміні. За застосування на 1 га сівозміни N₅₃P₄₃K₄₃ та 6,6 т гною з внесенням під соняшник N₅₀P₆₀K₆₀ врожайність насіння становила 3,54, стебел – 7,07 т/га, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим – на 1,45 та 3,63 т/га, відповідно. Традиційна органо-мінеральна система удобрення сівозмін за невисоких доз внесення мінеральних добрив під соняшник формувала досить сприятливі умови поживного режиму у чорноземі вилугуваному, що за надто посушливих погодних умов, які спостерігаються в останні

роки, створювало сприятливі умови для вирощування соняшника і забезпечувало високу його біологічну продуктивність.

Досить ефективним для вирощування соняшнику в умовах просапної сівозміни визначено застосування альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. За внесення на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43}$ та побічної продукції врожайність насіння соняшнику становила 3,34 т/га, стебел – 6,48 т/га, що було вищим порівняно з контролем без добрив на 1,25 та 3,04 т/га, відповідно. Зазначена система удобрення незначно поступалась традиційній органо-мінеральній з внесенням $N_{53}P_{43}K_{43} + 6,6$ т/га гною на 1 га ріллі і супроводжувалась зниженням врожайності насіння на 0,20 т/га.

Застосування добрив в умовах просапної сівозміни сприяло більш інтенсивному наростанню маси стебел соняшнику порівняно з підвищенням врожайності насіння. За органо-мінеральних систем удобрення співвідношення стебла:насіння становило 1,94-2,0, тоді як на контролі без добрив – 1,65.

Отже, довготривале застосування органо-мінеральних систем удобрення у просапній сівозміні підвищило врожайність насіння соняшнику порівняно з контролем без добрив на 1,25-1,45 т/га. Застосування $N_{53}P_{43}K_{43} + 6,6$ т/га гною на 1 га сівозміни мало перевагу над альтернативною системою удобрення, коли вносили на 1 га ріллі $N_{53}P_{43}K_{43}$ та побічну продукцію і супроводжувалось підвищенням врожайності насіння на 0,20 т/га.

4.5.5 Зерно-бобові культури, бобові трави та суміші

Бобові, зерно-бобові культури та трав'яні сумішки є важливою складовою сучасних сівозмін. Вирощування бобових культур збагачує ґрунт біологічним азотом, зменшує внесення азотних добрив. Багаторічні трави і трав'яні сумішки збільшують обсяги надходження органічної речовини у ґрунт за рахунок краще розвиненої кореневої системи, що покращує гумусоутворення, підвищує родючість ґрунту та сприяє отриманню високих врожаїв основних культур сівозміни.

Вирощування конюшини у плодозмінній сівозміні показало, що вона здатна формувати високу врожайність біологічної маси без застосування добрив. Так, на контролі без добрив врожайність зеленої маси конюшини в середньому за 2022-2024 роки становила 13,9 т/га. Застосування добрив у сівозміні значно покращило умови мінерального живлення цієї культури і збільшило врожайність зеленої

маси удвічі. За внесення на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43}$ і безпосередньо під конюшину $N_{40}P_{40}K_{40}$ врожайність зеленої маси становила 27,3 т/га, що порівняно з контролем без добрив було більшим на 13,4 т/га або у 2,0 рази (рис. 4.6).

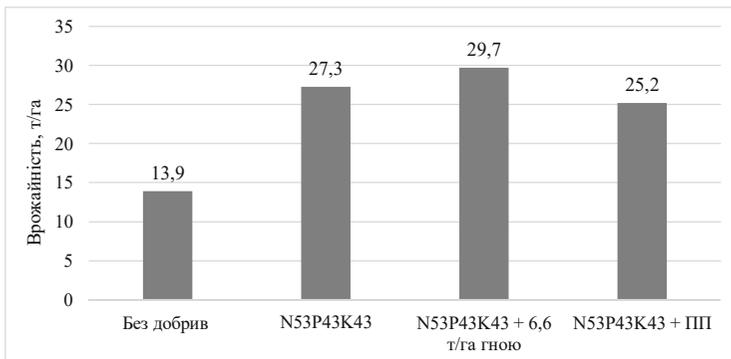


Рис. 4.6 Врожайність зеленої маси конюшини у плодозмінній сівозміні залежно від удобрення, БЦДСС, т/га, 2022-2024 рр.; ПП – побічна продукція

Незначно ефективнішим визначено застосування традиційної на основі гною системи удобрення культур у сівозміні. За внесення $N_{53}P_{43}K_{43} + 6,6$ т/га гною на 1 га ріллі і безпосередньо під конюшину $N_{40}P_{40}K_{40}$ врожайність зеленої маси становила 29,7 т/га, що порівняно з контролем без добрив було вищим на 15,8 т/га або у 2,1 рази. Якщо порівнювати з мінеральною системою удобрення сівозміни, то зазначена органо-мінеральна система удобрення не мала істотних переваг.

Застосування альтернативної органо-мінеральної системи удобрення у плодозмінній сівозміні за впливом на врожайність зеленої маси конюшини незначно поступалось мінеральній системі удобрення і було менш ефективним, ніж традиційна органо-мінеральна система. За внесення на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43}$ та побічну продукцію врожайність зеленої маси конюшини становила 25,2 т/га, що порівняно з внесенням лише мінеральних добрив було меншим на 2,1 т/га, поєднано мінеральних добрив і гною – на 4,5 т/га. Порівняно з контролем без добрив поєднане внесення побічної продукції і мінеральних добрив підвищило врожайність зеленої маси на 11,3 т/га або у 1,8 рази.

Отже, застосування добрив у плодозмінній сівозміні підвищило врожайність зеленої маси конюшини порівняно з контролем без добрив у 1,8-2,1 рази. Традиційна на основі гною система удобрення була найефективнішою і забезпечила найвищу врожайність зеленої маси конюшини – 29,7 т/га.

У зерно-просапній сівозміні як попередник пшениці озимої вирощували бобову культуру вику яру. Врожайність вики ярої незначно залежала від застосування добрив. Так, на контролі без добрив врожайність насіння вики ярої становила 1,35 т/га, соломи – 2,64 т/га, за внесення добрив врожайність насіння підвищилась на 5,9-14,0%, соломи – на 1,9-6,8% (рис. 4.7).

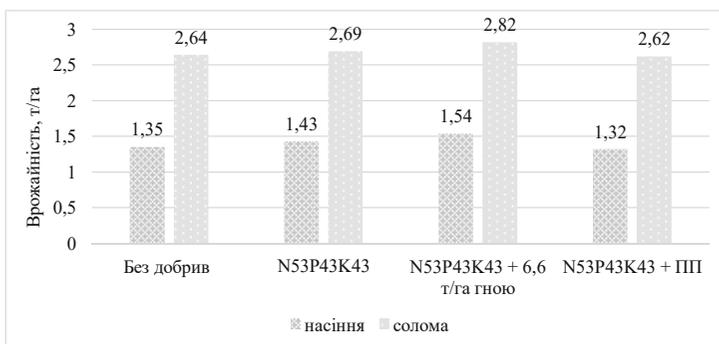


Рис. 4.7 Врожайність вики ярої у зерно-просапній сівозміні залежно від удобрення, БЦДСС, т/га, 2022-2024 рр.; дози добрив з розрахунку на 1 га сівозміни (під вику яру вносили N₄₀P₄₀K₄₀), ПП – побічна продукція

За внесення мінеральних добрив N₅₃P₄₃K₄₃ на 1 га ріллі і безпосередньо під вику яру N₄₀P₄₀K₄₀ врожайність насіння становила 1,43 т/га, соломи – 2,64, що порівняно з контролем без добрив було вищим на 0,08 та 0,05 т/га, відповідно, що було в межах одного значення.

Незначне зростання врожайності насіння вики ярої, яке можна окреслити як тенденцію спостерігали за традиційної на основі гною системи удобрення зерно-просапної сівозміни. За внесення на 1 га сівозміни N₅₃P₄₃K₄₃ та 6,6 т/га гною врожайність насіння становила 1,54, соломи – 2,82 т/га, що порівняно з контролем без добрив було вищим на 0,19 та 0,18 т/га, відповідно.

Застосування на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43}$ та побічну продукцію не позначилося на врожайності вики ярої. Врожайність насіння і соломи зберігалась на рівні контролю без добрив.

Отже, лише внесення на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43}$ та 6,6 т/га гною забезпечило тенденцію до підвищення врожайності насіння вики ярої, яка у порівнянні з контролем без внесення добрив на 0,19 т/га за абсолютного показника 1,54 т/га. Мінеральна та альтернативна органо-мінеральна системи удобрення не впливали на врожайність вики ярої.

У просапній сівозміні як попередник соняшнику вирощували зерно-бобову культуру сою. Соя позитивно відгукувалась на застосування органо-мінеральних систем удобрення, що супроводжувалось зростанням як врожайності насіння, так і соломи. Врожайність насіння сої у контролі без внесення добрив становила 2,38 т/га, соломи – 3,21 т/га, за внесення $N_{53}P_{43}K_{43}$ + 6,6 т/га гною на 1 га ріллі і безпосередньо під сою $N_{40}P_{40}K_{40}$ врожайність насіння зроста на 1,07 т/га, соломи – на 2,88 за абсолютних величин 3,45 та 6,09 т/га, відповідно (рис. 4.8).

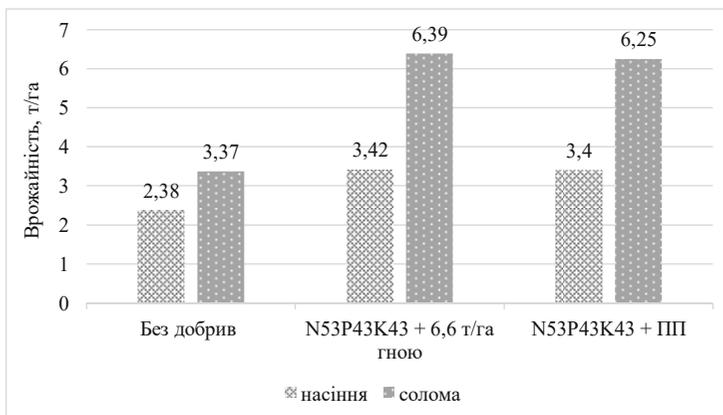


Рис. 4.8 Врожайність сої у просапній сівозміні залежно від удобрення, БЦДСС, т/га, 2022-2024 рр.; дози добрив з розрахунку на 1 га сівозміни (під сою вносили $N_{40}P_{40}K_{40}$), ПП – побічна продукція

Досить ефективною визначено альтернативну органо-мінеральну систему удобрення за вирощування сої у просапній сівозміні. За внесення на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43}$ та побічну

продукцію врожайність насіння становила 3,39 т/га, соломи – 5,81, що порівняно з контролем без внесення добрив було вищим на 1,01 та 2,60 т/га, відповідно.

Слід зазначити, що застосування добрив у просапній сівозміні інтенсивніше впливало на ріст і розвиток вегетативної маси сої, ніж насіння. За внесення добрив врожайність соломи до контролю без добрив підвищилась у 1,85-1,90 разів, тоді як врожайність насіння – 1,43-1,44 рази.

Отже, застосування традиційного та альтернативного органо-мінерального удобрення сівозміни істотно підвищило врожайність насіння сої у просапній сівозміні, яка у порівнянні з контролем без удобрення підвищилась – на 1,07 та 1,01 т/га, відповідно. При цьому вплив систем удобрення на врожайність був співставним.

Широко у короткоротаційних зерно-буракових сівозмінах вирощують вико-вівсяну сумішку за післядії застосування добрив. Результати досліджень показали, що врожайність зеленої маси вико-вівса залежала від структури сівозмін та системи удобрення сівозмін. На контролі без добрив врожайність зеленої маси вико-вівса у плодозмінній сівозміні становила 20,9 т/га, зерно-просапній – 19,6, просапній – 16,9 т/га. У сівозмінах без удобрення упродовж 50 років вико-овес показав високу адаптивність до вирощування на ґрунтах, які зазнали деградації і формував середній рівень врожайності (рис. 4.9).

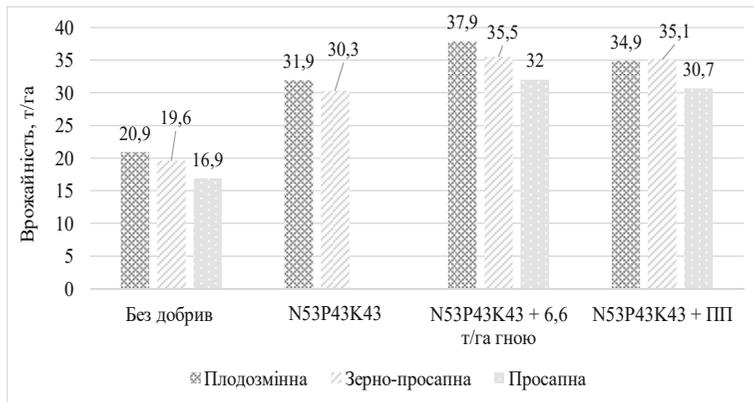


Рис. 4.9 Врожайність зеленої маси вико-вівса за післядії добрив у сівозмінах, БЦДСС, т/га, 2018-2020 рр.; ПП – побічна продукція

Застосування мінеральних добрив в дозі $N_{53}P_{43}K_{43}$ на 1 га сівозміні істотно підвищило врожайність вико-вівса за післядії добрив. Порівняно з контролем без добрив врожайність зеленої маси вико-вівса за мінеральної системи удобрення у плодозмінній сівозміні зросла на 11,0 т/га, зерно-просапній – на 10,7 за абсолютних показників 31,9 та 30,3 т/га. За післядії застосування добрив врожайність вико-вівса у плодозмінній сівозміні порівняно із зерно-просапною була вища на 1,6 т/га, що можливо є наслідком опосередкованої післядії біологічного азоту, який накопичують у ґрунті бобові трави.

Найвищої врожайності зеленої маси вико-вівса у післядії добрив досягали за традиційної на основі гною системи удобрення сівозмін. За внесення на 1 га сівозміні $N_{53}P_{43}K_{43}$ та 6,6 т гною врожайність вико-вівса за післядії добрив становила у плодозмінній сівозміні – 37,9 т/га, зерно-просапній – 35,5, просапній – 32,0 т/га, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим на 17,0, 15,9 та 15,1 т/га, відповідно. В умовах плодозмінної сівозміні врожайність вико-вівса перевищила його врожайність у зерно-просапній сівозміні – на 2,4, просапній – на 5,9 т/га. У плодозмінній сівозміні де вирощували конюшину врожайність зеленої маси вико-вівса була найвищою, що є результатом післядії гною, мінеральних добрив та біологічного азоту, який накопичували багаторічні бобові трави.

Досить сприятливі умови для формування врожаю зеленої маси вико-вівса за післядії добрив створювались за альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. За внесення на 1 га сівозміні $N_{53}P_{43}K_{43}$ та побічної продукції врожайність вико-вівса за післядії добрив у плодозмінній сівозміні становила 34,9 т/га, зерно-просапній – 35,1, просапній – 30,7 т/га, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим на 14,0, 15,5 та 13,8 т/га, відповідно. За альтернативного удобрення співставно висока врожайність вико-вівса формувалась у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах, яка перевищила його врожайність у просапній сівозміні – на 4,2-4,4 т/га. Очевидно у зерно-просапній сівозміні ефективність альтернативного удобрення обумовлена поєднанням впливом біологічного азоту та посиленою мінералізацією решток побічної продукції рослин.

Отже, найвищої врожайності зеленої маси вико-вівса досягали у плодозмінній сівозміні за післядії $N_{53}P_{43}K_{43}$ + 6,6 т гною на 1 га ріллі – 37,9 т/га, плодозмінній і зерно-просапній сівозмінах за післядії

$N_{53}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція – 34,9-35,1 т/га, що було вищим порівняно з контролем без добрив на 17,0 та 14,0-14,2 т/га, відповідно.

Після проведення досліджень з вивчення впливу добрив на врожайність та якість продукції культур зерно-буракової сівозміни можна зробити такі висновки:

1. За 20-35 річного застосування мінеральних добрив у сівозмінах врожайність коренеплодів буряків цукрових на чорноземі опідзоленому становила 41,5-43,7 т/га, на чорноземі вилугуваному середньосуглинковому – 29,0-36,7, на чорноземі вилугуваному легкосуглинковому – 45,6 т/га; збір цукру – відповідно становив 6,18-7,21, 4,58-6,51 та 6,79 т/га. Кращим попередником під буряки цукрові за нестійкого зволоження визначено вико-овес.

Застосування традиційної та з елементами біологізації органо-мінеральних систем удобрення підвищило збір цукру порівняно з внесенням мінеральних добрив на чорноземі опідзоленому – на 0,08-0,17 т/га, чорноземі вилугуваному середньосуглинковому – на 0,36-0,88, чорноземі вилугуваному легкосуглинковому – на 0,56-1,14 т/га. З підвищенням вологозабезпечення ефективність застосування гною порівняно з соломою помітно зростала. За нестійкого зволоження збір цукру за традиційної органо-мінеральної системи удобрення у ланках сівозміни рівнявся або був вищим на 2,2-5,1% порівняно з дією соломи; за достатнього зволоження – вищим на 7,9%. Введення елементів біологізації в системи удобрення стабілізувало технологічні якості коренеплодів на рівні мінеральної системи удобрення, застосування гною підвищило втрати цукру в мелясі на 0,06-0,40%.

2. За рекомендованої дози мінеральних добрив урожайність пшениці озимої на чорноземі опідзоленому ($N_{60-80}P_{50}K_{60}$) становила – 5,00-6,59 т/га, чорноземі вилугуваному середньосуглинковому ($N_{40-60}P_{60}K_{60}$) – 4,39-5,88 т/га, чорноземі вилугуваному легкосуглинковому (N_{60}) – 5,99 т/га. Вміст білка за мінеральної системи удобрення підвищився порівняно з контролем без добрив на 1,7-2,1%. Кращими попередниками під пшеницю озиму за нестійкого зволоження визначено вико-овес та кукурудзу на зелений корм. На ґрунтах з середнім рівнем забезпечення рухомим фосфором пшениця озима добре реагувала на посилене фосфорне, високим – посилене азотне живлення. Внесення рекомендованої дози добрив по післядії гною забезпечило приріст урожайності зерна пшениці озимої по ланках сівозміни на 0,17-0,40, у післядії соломи лише у ланці з кукурудзою на зелений корм – на 0,32 т/га.

Найвищої продуктивності пшениці озимої на чорноземі опідзоленому досягнуто у ланці сівозміни з вико-вівсом за дози $N_{80}P_{75}K_{60}$ – 6,68 т/га, чорноземі вилугуваному середньосуглинковому у ланці з кукурудзою на зелений корм за внесення $N_{40}P_{60}K_{60}$ у післядії гною – 6,28, чорноземі вилугуваному легкосуглинковому за N_{90} – 6,41 т/га.

3. За 20-35 річного удобрення сівозмін основою підвищення врожайності кукурудзи на зерно за нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому визначено внесення мінеральних добрив. За дози $N_{60}P_{75}K_{40}$ досягнуто врожайності зерна 6,54 т/га, за підвищеної у 1,5 рази за фосфором ($N_{60}P_{110}K_{40}$) – 6,71, приріст порівняно з контролем без добрив – відповідно 0,80 та 0,97 т/га. За внесення гною і соломи та введення елементів біологізації до органо-мінеральної системи удобрення підвищення продуктивності кукурудзи на зерно не виявлено.

4. Значне підвищення врожайності культур у зерно-бурякових сівозмінах досягалось за рахунок післядії добрив. Вирощування ячменю ярого на чорноземних ґрунтах по післядії добрив забезпечило приріст урожайності зерна порівняно з контролем без добрив – 1,15-1,91 т/га, гороху – 0,19-0,38, зеленої маси конюшини – 1,6-2,7, вико-вівса – 4,0-7,4 т/га.

5. За 50 річного застосування добрив у сівозмінах найвищу біологічну продуктивність буряків цукрових досягали у плодозмінній сівозміні за застосування на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43}$ та 6,6 т гною: врожайність – 46,9 т/га, цукристість – 16,5%, збір цукру – 7,73 т/га. Ефективним визначено внесення на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43}$ та побічної продукції у зерно-просапній сівозміні: врожайність – 48,2 т/га, цукристість – 16,1%, збір цукру – 7,74 т/га.

6. Вирощування пшениці озимої у плодозмінній сівозміні було значно продуктивнішим, ніж у зерно-просапній та просапній. За 50 річного застосування добрив найвищої врожайності зерна у плодозмінній сівозміні досягнуто за попередника конюшини з внесенням $N_{53}P_{43}K_{43}$ + 6,6 т гною на 1 га ріллі – 7,67 т/га, що було вищим у порівнянні з контролем без внесення добрив на 2,43 т/га, порівняно з попередником вико-вівсом – на 1,93 т/га.

7. Високої продуктивності ячменю ярого та вико-вівса, які вирощували за післядії добрив, досягнуто за традиційної на основі гною органо-мінеральної системи удобрення. За післядії $N_{53}P_{43}K_{43}$ + 6,6 т гною на 1 га ріллі врожайність ячменю ярого найвищою була у

зерно-просапній сівозміні – 4,01 т/га, зеленої маси вико-вівса у плодозмінній сівозміні – 37,9 т/га, що було вищим порівняно з контролем без добрив – на 1,66 та 17,0 т/га. Ефективним визначено вирощування вико-вівса за післядії внесення $N_{53}P_{43}K_{43}$ та побічної продукції в умовах плодозмінної та зерно-просапної сівозмін-врожайність насіння 34,9 та 35,1 т/га, що було вищим порівняно з контролем без добрив на 14,0 та 14,2 т/га.

8. У шостій ротації просапної сівозміні високої врожайності соняшнику досягнуто за післядії внесення на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43}$ + 6,6 т/га гною: врожайність насіння – 3,54 т/га, що було вищим у порівнянні з контролем без добрив – на 1,45 т/га, порівняно з альтернативним удобренням ($N_{53}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція) – на 0,20 т/га. Найвищу врожайність конюшини у плодозмінній сівозміні отримали за післядії традиційної на основі гною системи удобрення: врожайність зеленої маси – 29,7 т/га, що було вищим у порівнянні з контролем без добрив – на 15,8 т/га або 2,1 рази.

9. За 50 річного застосування добрив у просапній сівозміні традиційне та альтернативне органо-мінеральне удобрення мали співставний вплив на врожайність сої – 3,45 та 3,39 т/га, підвищивши врожайність насіння у порівнянні з контролем без добрив на 1,07 та 1,01 т/га. Застосування добрив у зерно-просапній сівозміні не вплинуло істотно на врожайність вики ярої. Тенденцію до підвищення врожайності насіння забезпечило лише внесення на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43}$ та 6,6 т/га гною: врожайність насіння – 1,54 т/га, що було вищим у порівнянні з контролем без добрив на 0,19 т/га.

5.1 Продуктивність сівозмін

Науково-обґрунтовані системи удобрення, з урахуванням особливостей ґрунту, кліматичних умов та біологічних особливостей культур істотно підвищують продуктивність зерно-буракової сівозміни [197, 322, 367]. Дослідження Л.І. Мартинович, М.М. Мартиновича [196], Я.П. Цвея, А.М. Горобця [322] свідчать, що збалансована за елементами живлення система удобрення здатна підвищити продуктивність зерно-буракової сівозміни – на 17-33%, а за даними В.М. Якименка, В.Л. Теселько, Н.Н. Кожуховського [367] – навіть на 36-46%.

Підвищення продуктивності зерно-буракової сівозміни відбувається переважно за органо-мінеральної системи удобрення [8, 99, 129, 314]. За даними М.М. Мартиновича, Л.І. Мартинович [198] внесення $N_{18}P_{22}K_{20} + 7,7$ т гною на 1 га ріллі підвищило продуктивність зерно-буракової сівозміни в середньому за п'ять ротаций на 24%, тоді як мінеральні добрива – на 17%.

Дослідження ряду зарубіжних та вітчизняних вчених свідчать, що ефективним засобом підвищення продуктивності культур сівозміни є введення елементів біологізації у системи удобрення шляхом поєданого застосування мінеральних добрив і побічної продукції та поживних сидеральних культур [109, 248, 267, 293, 329, 397, 441]. Запровадження заходів біологізації створює ряд переваг перед мінеральною системою удобрення: дозволяє поповнити ґрунт органічною речовиною, залучає значний ресурс біогенних елементів для покращання мінерального живлення культур за рахунок процесів рециркуляції, не потребує додаткових фінансових витрат [8, 339].

Вивчення упродовж двох ротаций продуктивності плодозмінної зерно-буракової сівозміни за різних систем добрив (30% просапних, 30% бобових) на чорноземі опідзоленому показало, що за мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозмінної площі)

продуктивність сівозміни підвищилась у середньому за дві ротації порівняно з контролем без добрив на 1,34 т к.од./га. Продуктивність сівозміни у другій ротації мала тенденцію до зростання порівняно з першою на 0,19 т к.од./га, або 2,4% (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 Продуктивність сівозміни на чорноземі опідзоленому за різних систем удобрення, ВДСС, 1986-2010 рр., т/га сівозмінної площі

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Кормових одиниць		Збір зерна		Збір цукру	
		I	II	I	II	I	II
1	Без добрив (контроль)	6,87	6,71	2,45	2,55	1,35	1,07
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	8,03	8,22	2,72	3,09	1,57	1,33
23	N ₇₅ P _{42,5} K ₅₀	8,16	8,31	2,72	3,11	1,57	1,28
19	N ₅₀ P _{63,7} K ₅₀	8,14	8,35	2,75	3,17	1,59	1,31
25	N ₅₀ P _{42,5} K ₇₅	8,04	8,29	2,69	3,10	1,58	1,34
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	8,20	8,50	2,76	3,17	1,61	1,35
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	8,48	8,63	2,82	3,17	1,62	1,33
12	12 т/га гною + ПП побічна продукція	7,63	8,15	2,62	3,09	1,56	1,34

Примітка. I – перша ротація, 1986-2000 рр., II – друга ротація, 1996-2010 рр.

На думку А.С. Заришняка, В.В. Іваніни [111] за екологічно ощадливих і економічно обґрунтованих доз мінеральних добрив важливим заходом підвищення продуктивності сівозміни є оптимізація співвідношення елементів живлення.

Підвищення дози одного з елементів живлення у складі мінеральних добрив в 1,5 рази підвищило продуктивність в середньому за дві ротації на 0,04-0,12 т к.од./га. Незначне зростання кормової продуктивності дозволяє стверджувати, що рекомендована доза мінеральних добрив N₅₀P_{42,5}K₅₀ на 1 га сівозмінної площі (N:P:K = 1:0,9:1) була близькою до оптимальної (рис. 5.1).

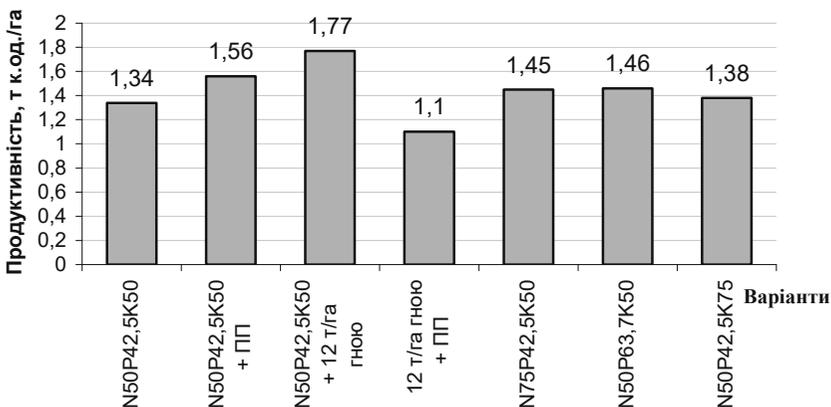


Рис. 5.1 Підвищення продуктивності сівозміни до контролю без добрив за різних систем удобрення, ВДСС, 1986-2010 рр.
 ПП – побічна продукція культур.

Оцінка зерно-бурякової сівозміни за показниками товарної продуктивності (збором зерна та цукру) показала, що максимальний збір цукру в середньому за дві ротації досягався за дози N₅₀P_{42,5}K₅₀ на 1 га сівозмінної площі – 1,45 т/га сівозмінної площі. Збільшення дози одного з елементів живлення в 1,5 рази не забезпечило підвищення збору цукру, а за збільшення дози азотних добрив відбулось його зниження внаслідок зниження цукристості коренеплідів.

Продуктивність сівозміни за групою зернових культур підвищувалась за збільшення дози фосфору у 1,5 рази у складі рекомендованої дози добрив. За дози N₅₀P_{63,7}K₅₀ на 1 га сівозмінної площі збір зерна в середньому за дві ротації сівозміни збільшився порівняно з рекомендованою дозою на 0,05 т/га сівозмінної площі, або на 12,2%. Це свідчить про доцільність підвищення дози фосфорних добрив у складі повного мінерального добрива на 20-30% для оптимізації мінерального живлення зернових культур.

Застосування органо-мінеральної системи удобрення підвищувало продуктивність зерно-бурякової сівозміни. За внесення мінеральних добрив і побічної продукції (N₅₀P_{42,5}K₅₀ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) в середньому за дві ротації сівозміни продуктивність становила – 8,35 к.од./га, мінеральних добрив і гною (N₅₀P_{42,5}K₅₀ + 12 т гною на 1 га сівозмінної площі) – 8,56 к.од./га, що порівняно з контролем без добрив було більшим

відповідно на 1,56 та 1,77, із мінеральною системою удобрення – 0,22 та 0,43 т к.од./га. Темпи зростання продуктивності сівозміни у другій ротації за внесення мінеральних добрив і побічної продукції були вищими, ніж мінеральних добрив і гною. Так, продуктивність сівозміни за внесення мінеральних добрив і побічної продукції зросла на 0,30 к.од./га (3,7%), а мінеральних добрив і гною – на 0,15 к.од./га (1,8%).

Біологізація системи удобрення шляхом внесення мінеральних добрив і побічної продукції зменшувала порівняно з традиційною органо-мінеральною системою удобрення збір зерна в середньому за дві ротації на 3 т/га сівозмінної площі. Збір цукру за обох систем удобрення залишався на одному рівні і становив в середньому за дві ротації 1,48 т/га сівозмінної площі.

За органічної системи удобрення (побічна продукція + 12 т гною на 1 га сівозмінної площі) в умовах нестійкого зволоження зони Лісостепу продуктивність сівозміни в середньому за дві ротації становила 7,89 т к.од./га, що поступалось внесенню мінеральних добрив – на 0,24, мінеральних добрив і побічної продукції – на 0,46, мінеральних добрив і гною – на 0,67 т к.од./га. Низька ефективність гною за органічної системи удобрення могла бути обумовлена недостатнім вологозабезпеченням та слабкою мінералізацією органічних добрив у ґрунті.

Отже, внесення мінеральних добрив і побічної продукції в умовах нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому важко-суглинковому забезпечило підвищення продуктивності зерно-бурякової сівозміни порівняно з мінеральною системою удобрення в середньому за дві ротації на 0,22, мінеральних добрив і гною – на 0,43 т к.од./га сівозмінної площі.

На чорноземі вилугуваному середньосуглинковому (умови нестійкого зволоження) упродовж 3 та 4 ротацій ефективність традиційної з елементами біологізації системи удобрення вивчали у сівозмінах з різним насиченням просапними та бобовими культурами: зерно-просапній (просапних 40%, бобових 10%) та плодозмінній (просапних 16,7%, бобових 33%).

За мінеральної системи удобрення у зерно-просапній сівозміні ($N_{50}P_{66}K_{66}$ на 1 га сівозмінної площі) її продуктивність до контролю без добрив підвищилась на 3,36, у плодозмінній ($N_{43}P_{43}K_{43}$ на 1 га сівозмінної площі) – на 2,54, забезпечивши середньорічну продуктивність – відповідно 7,71 та 6,96 т к.од./га (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 Продуктивність сівозміни на чорноземі типовому вилугуваному залежно від її структури та систем удобрення, БЦДСС, 1996-2013 рр., т/га сівозмінної площі

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Кормових одиниць	Збір зерна	Збір цукру
III ротація (1996-2007 рр.)				
11	Без добрив (контроль)	4,35	1,66	0,50
2	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆	7,71	2,30	1,58
4	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + побічна продукція	8,04	2,36	1,68
13	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га гною	8,42	2,45	1,78
IV ротація (2006-2013 рр.)				
11	Без добрив (контроль)	4,42	1,45	0,42
2	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃	6,96	2,02	0,99
4	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	7,30	2,13	1,05
13	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + 8,3 т/га гною	7,68	2,19	1,09

Найвищим зростання продуктивності зерно-бурякової сівозміни виявлено за органо-мінеральної системи удобрення. Біологізація системи удобрення шляхом внесення мінеральних добрив і побічної продукції у зерно-просапній сівозміні (N₅₀P₆₆K₆₆ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) підвищила її продуктивність порівняно з внесенням мінеральних добрив на 0,33, у плодозмінній (N₄₃P₄₃K₄₃ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) – на 0,34 т к.од./га сівозмінної площі.

Середньорічне зростання збору зерна за біологізації системи удобрення порівняно з мінеральною системою удобрення у зерно-просапній сівозміні становило 0,06, збору цукру – 0,10; плодозмінній – відповідно 0,11 та 0,06 т/га сівозмінної площі. Зниження темпів збору цукру у плодозмінній сівозміні порівняно з зерно-просапною обумовлено зменшенням частки цукрових буряків з 30% до 16,7% (рис. 5.2).

Найнефективнішою в обох сівозмінах визначено традиційну органо-мінеральну систему удобрення. Продуктивність зерно-просапної сівозміни за дози N₅₀P₆₆K₆₆ + 9 т гною на 1 га сівозмінної площі становила 8,42 т к.од./га, плодозмінної (N₄₃P₄₃K₄₃ + 8,3 т/га гною на 1 га сівозмінної площі) – 7,68, що перевищувало мінеральну систему удобрення – відповідно на 0,68 та 0,72 т к.од./га сівозмінної

площі. Внесення мінеральних добрив і гною забезпечило середньорічне зростання збору зерна порівняно з мінеральною системою удобрення у зерно-просапній сівозміні – на 0,15 т/га, збору цукру – на 0,20; плодозмінній – відповідно на 0,17 та 0,10 т/га сівозмінної площі.

Отже, за внесення мінеральних добрив і побічної продукції в умовах нестійкого зволоження на чорноземі вилугуваному середньосуглинковому відбулось підвищення продуктивності зерно-буракової сівозміни різної структури порівняно з мінеральною системою удобрення на 0,30-0,33 т к.од./га; мінеральних добрив і гною – на 0,68-0,73 т к.од./га сівозмінної площі.

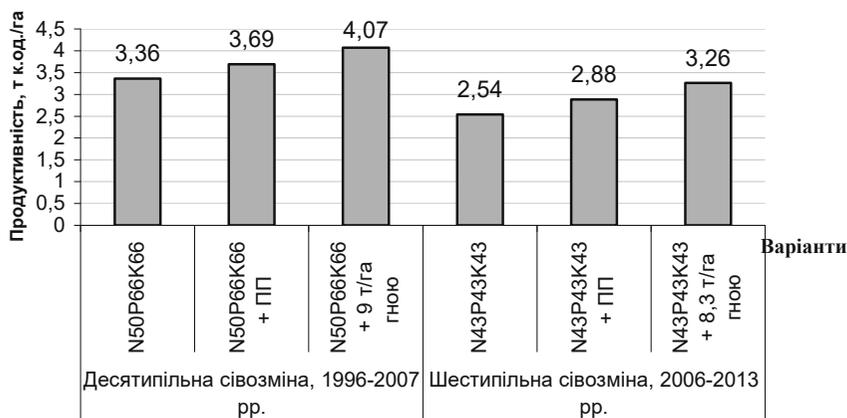


Рис. 5.2 Підвищення продуктивності сівозміни до контролю без добрив залежно від її структури та систем удобрення, БЦДСС, 1996-2013 рр.; ПП – побічна продукція культур.

На БЦДСС середню кормову продуктивність сівозмін визначали у шостій ротації за 50 річного застосування добрив. Результати досліджень показали, що найвища продуктивність без внесення добрив та їх застосування була у плодозмінній сівозміні, нижча – у зерно-просапній, найнижча – у просапній. Так, на контролі без добрив середня продуктивність плодозмінної сівозміни становила – 5,4 т к.од./га, зерно-просапної – 4,9, просапної – 4,5 т к.од./га сівозмінної площі. Кормова продуктивність плодозмінної сівозміни

перевищила зерно-просапну – на 0,5, просапну – на 0,9 т к.од./га сівозмінної площі (рис. 5.3).

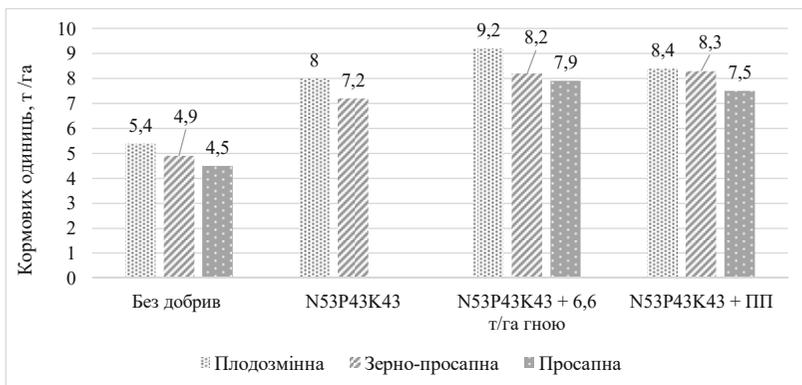


Рис. 5.3 Продуктивність сівозмін залежно від їх структури та удобрення, БЦДСС, т к.од. на 1 га сівозміни, 2018-2024 рр.; ПП – побічна продукція

Довготривале застосування добрив значно підвищило кормову продуктивність усіх плодозмін. За мінеральної системи удобрення (N₅₃P₄₃K₄₃ на 1 га сівозміни) продуктивність плодозмінної сівозміни порівняно з контролем без добрив підвищилась на 2,4 т к.од./га, зерно-просапної – на 2,3 за абсолютних показників 8,0 та 7,2 т к.од. на 1 га сівозмінної площі. При цьому кормова продуктивність плодозмінної сівозміни була вища порівняно із зерно-просапною на 0,8 т к.од. на 1 га сівозміни.

Значно ефективнішими у короткоротаційних сівозмінах було органо-мінеральне удобрення. За внесення на 1 га сівозміни N₅₃P₄₃K₄₃ та 6,6 т/га гною продуктивність плодозмінної сівозміни становила 9,2 т к.од./га, зерно-просапної – 8,2, просапної – 7,9, що у порівнянні з контролем без удобрення було вищим – на 3,8, 3,3 та 3,4 т к.од. на 1 га сівозміни. За традиційного на основі гною органо-мінерального удобрення продуктивність плодозмінної сівозміни порівняно із зерно-просапною була вищою на 1,0 т к.од./га, просапною – на 1,3 т к.од. на 1 га сівозмінної площі.

Досить ефективним у короткоротаційних сівозмінах визначено застосування альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. За внесення на 1 га сівозміни N₅₃P₄₃K₄₃ та побічної продукції продуктивність плодозмінної сівозміни становила 8,4 т к.од./га, зерно-

просапної – 8,3, просапної – 7,5, що у порівнянні з контролем без удобрення було вищим – на 3,0, 3,4 та 3,0 т к.од. на 1 га сівозміни. При цьому продуктивність плодозмінної сівозміни порівняно із зерно-просапною була вищою на 0,1 т к.од./га, просапною – на 0,9 т к.од. на 1 га сівозмінної площі.

Найвищої кормової продуктивності досягали у плодозмінній сівозміні за застосування традиційної органо-мінеральної системи удобрення – 9,2 т к.од. на 1 га сівозмінної площі. Ефективним визначено застосування у просапній сівозміні традиційного та альтернативного органо-мінерального удобрення. За внесення на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43}$ та 6,6 т/га гною продуктивність просапної сівозміни становила 8,4 т к.од./га, $N_{53}P_{43}K_{43}$ та побічної продукції – 8,3 т к.од. на 1 га сівозміни.

Оцінка продуктивності сівозміни за середньою врожайністю зерна показала, що на контролі без добрив врожайність зерна на один гектар сівозмінної площі у плодозмінній сівозміні становила – 1,92 т/га, зерно-просапній – 1,95, просапній – 1,43 т/га сівозмінної площі. Зернова продуктивність плодозмінної та зерно-просапної сівозмін була вища на 0,49 та 0,52 т/га сівозмінної площі, ніж просапної сівозміни, що спричинено наявністю двох полів пшениці озимої, тоді як у просапній сівозміні було одне поле (рис. 5.4).

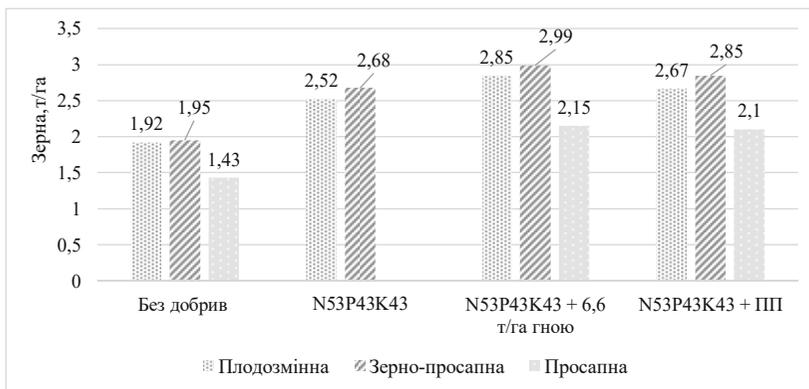


Рис. 5.4 Середня врожайність зерна в сівозмінах залежно від їх структури та удобрення, БЦДСС, т на 1 га сівозміни, 2018-2024 рр.; ПП – побічна продукція

Застосування добрив значно збільшило середню врожайність зерна у короткоротаційних сівозмінах. За мінерального удобрення з внесенням на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43}$ врожайність зерна у плодозмінній сівозміні у порівнянні з контролем без удобрення зроста на 0,6 т/га, зерно-просапній – на 0,73 за абсолютних показників 2,52 та 2,68 т/га сівозмінної площі. У зерно-просапній сівозміні середня врожайність зерна була вища порівняно із плодозмінною на 0,16 т/га сівозмінної площі.

Максимальних показників врожайності зерна у сівозмінах досягнуто за традиційної на основі гною органо-мінеральної системи удобрення. За внесення $N_{53}P_{43}K_{43}$ + 6,6 т/га гною на 1 га сівозміни середня врожайність зерна у плодозмінній сівозміні становила 2,85 т/га, зерно-просапній – 2,99, просапній – 2,15, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим – на 0,93, 1,04 та 0,72 т/га сівозмінної площі. Зернова продуктивність зерно-просапної сівозміни була вищою, ніж плодозмінної на 0,11 т/га, просапної – на 0,32 т/га сівозмінної площі.

Істотне зростання врожайності зерна у короткоротаційних сівозмінах визначено за застосування альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. За внесення $N_{53}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га сівозміни середня врожайність зерна у плодозмінній сівозміні становила 2,67 т/га, зерно-просапній – 2,85, просапній – 2,10, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим – на 0,75, 0,90 та 0,67 т/га сівозмінної площі. При цьому зернова продуктивність зерно-просапної сівозміни була вищою, ніж плодозмінної на 0,18 т/га, просапної – на 0,75 т/га сівозмінної площі.

Найвищої зернової продуктивності досягали у зерно-просапній сівозміні за застосування традиційної органо-мінеральної системи удобрення – 2,99 т/га сівозмінної площі. Ефективним визначено застосування у плодозмінній сівозміні традиційного та альтернативного органо-мінерального удобрення. За застосування на 1 га сівозміни $N_{53}P_{43}K_{43}$ та 6,6 т/га гною продуктивність плодозмінної сівозміни становила 2,85 т/га, $N_{53}P_{43}K_{43}$ та побічної продукції – 2,67 т/га сівозміни.

Оцінка продуктивності сівозміни за збором цукру показала, що на контролі без добрив збір цукру на один гектар сівозмінної площі у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах становив – 0,53, просапній – 0,49 т/га сівозмінної площі. Обсяги збору цукру у

плодозмінній та зерно-просапній сівозмiнах були вищі на 0,04 т/га сівозмiнної площi, нiж у просапнiй сівозмiнi (рис. 5.5).

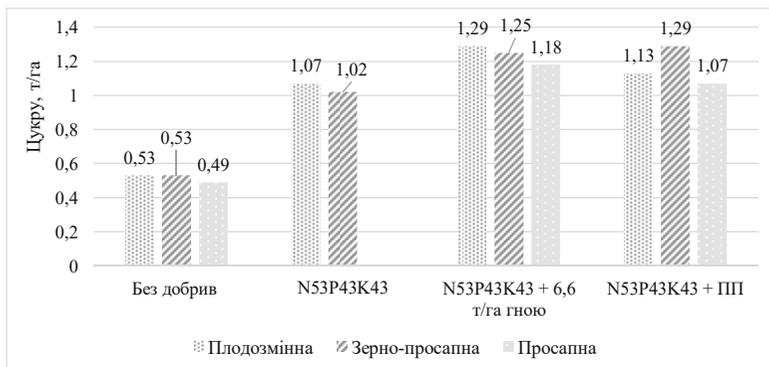


Рис. 5.5 Збiр цукру в сівозмiнах залежно вiд їх структури та удобрення, БЦДСС, т на 1 га сівозмiни, 2018-2024 рр.; ПП – побiчна продукцiя

Застосування мiнеральних добрив значно збiльшило збiр цукру у короткоротацiйних сівозмiнах удвiчі. За застосування на 1 га сівозмiни $N_{53}P_{43}K_{43}$ збiр цукру у плодозмiннiй сівозмiнi порiвняно з контролем без добрив пiдвищився на 0,54 т/га, зерно-просапнiй – на 0,49 за абсолютних показникiв 1,07 та 1,02 т/га сівозмiнної площi. Плодозмiнна сівозмiна за збором цукру була дещо продуктивнiшою, нiж зерно-просапна i супроводжувалась зростанням цього показника на 0,05 т/га сівозмiнної площi.

Максимального збору цукру у сівозмiнах досягнуто за традицiйної на основi гною органо-мiнеральної системи удобрення. За внесення $N_{53}P_{43}K_{43} + 6,6$ т/га гною на 1 га сівозмiни збiр цукру у плодозмiннiй сівозмiнi становив 1,29 т/га, зерно-просапнiй – 1,25, просапнiй – 1,18, що порiвняно з контролем без добрив визначено вищим – на 0,76, 0,72 та 0,69 т/га сівозмiнної площi. Збiр цукру у плодозмiннiй сівозмiнi був вищим, нiж у зерно-просапнiй на 0,04 т/га, просапнiй – на 0,11 т/га сівозмiнної площi.

Високi обсяги збору цукру у сівозмiнах визначено за альтернативної органо-мiнеральної системи удобрення. За внесення

$N_{53}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га сівозміни збір цукру у плодозмінній сівозміні становив 1,13 т/га, зерно-просапній – 1,29, просапній – 1,07, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим – на 0,60, 0,76 та 0,58 т/га сівозмінної площі. При цьому збір цукру у зерно-просапній сівозміні був вищим, ніж у плодозмінній на 0,16 т/га, просапній – на 0,22 т/га сівозмінної площі.

Найвищого збору цукру досягали у плодозмінній сівозміні за традиційної органо-мінеральної системи удобрення та зерно-просапній сівозміні за альтернативного удобрення з показником збору цукру в обох сівозмінах – 1,29 т/га, що було вищим, ніж на контролі без добрив – на 0,76 т/га сівозмінної площі.

Отже, застосування традиційної на основі гною органо-мінеральної системи удобрення забезпечило у плодозмінній сівозміні найвищу кормову продуктивність – 9,2 т к.од./га, зерно-просапній – збір зерна – 2,99 т/га, в обох сівозмінах – найвищий збір цукру – 1,29 т/га сівозмінної площі. Ефективним визначено застосування альтернативного органо-мінерального удобрення. За внесення $N_{53}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція: кормову продуктивність зазначених сівозмін – 8,4 та 8,3 т к.од./га, збір зерна – 2,67 та 2,85 т/га, збір цукру – 1,13 та 1,29 т/га сівозмінної площі.

В умовах достатнього зволоження визначали кормову продуктивність ланок зерно-бурякової сівозміни за різних систем удобрення. Результати досліджень показали, що на чорноземі вилугуваному легкосуглинковому культури сівозміни добре реагували на внесення мінеральних добрив. Застосування рекомендованої ($N_{50}P_{20}K_{30}$ на 1 га ланки сівозміни) та підвищеної ($N_{66,7}P_{26,7}K_{40}$ на 1 га ланки сівозміни) доз мінеральних добрив у ланці з горохом забезпечило її продуктивність – відповідно 8,05 та 8,56, що порівняно з контролем без добрив було більшим на 1,28 та 1,79 т к.од./га у рік. Підвищенню продуктивності сприяло посилене азотне живлення. Збільшення у складі рекомендованої дози азоту у 1,5 рази ($N_{73,3}P_{20}K_{30}$ на 1 га ланки сівозміни) підвищило продуктивність ланки сівозміни порівняно з контролем без добрив на 1,70 т к.од./га у рік (табл. 5.3).

Таблиця 5.3. Продуктивність ланки сівозміни з горохом на чорноземі типовому вилугуваному за різних систем удобрення, УЛДСС, 2006-2010 рр., т/га ланки сівозміни

№ вар.	Внесено добрив на 1 га ланки сівозміни	Кормових одиниць	Збір зерна	Збір цукру
1	Без добрив (контроль)	6,77	2,67	1,77
3	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	8,05	2,82	2,26
15	N _{73,3} P ₂₀ K ₃₀	8,47	2,99	2,25
18	N ₅₀ P ₃₀ K ₃₀	7,97	2,84	2,21
20	N ₅₀ P ₂₀ K _{43,3}	7,99	2,83	2,24
4	N _{66,7} P _{26,7} K ₄₀	8,56	2,90	2,40
5	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га гною	8,94	2,87	2,64
6	13,3 т/га гною	7,81	2,68	2,30
10	Сидерат (гірчиця біла)	7,02	2,69	1,83
11	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	8,15	2,86	2,29
12	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + побічна продукція	8,49	2,95	2,45

У ланці з горохом визначено малоефективним застосування на добриво зеленої маси гірчиці білої. Підвищення середньорічної продуктивності ланки порівняно з контролем без добрив становило 0,25 т к.од./га у рік. Це свідчить про те, що елементи живлення у складі сидерату переважно були задіяні в процесах гумусоутворення і не забезпечили достатньо сприятливого для росту і розвитку рослин поживного середовища у ґрунті. Поєднання внесення мінеральних добрив і зеленої маси гірчиці білої (N₅₀P₂₀K₃₀ + сидерат на 1 га ланки сівозміни) значно підвищувало ефективність зеленого добрива. Продуктивність ланки сівозміни порівняно з контролем без добрив зросла на 1,38 і становила 8,15 т к.од./га у рік (рис. 5.6).

Найефективнішою за достатнього зволоження виявлено традиційну органо-мінеральну систему удобрення та з елементами біологізації за внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції. Поєднане застосування мінеральних добрив і гною (N₅₀P₂₀K₃₀ + 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни) забезпечило продуктивність ланки – 8,94; мінеральних добрив, зеленої

маси гірчиці білої та побічної продукції ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція) – 8,49, що порівняно з мінеральною системою удобрення було вищим – відповідно на 0,89 та 0,51 т к.од./га у рік.

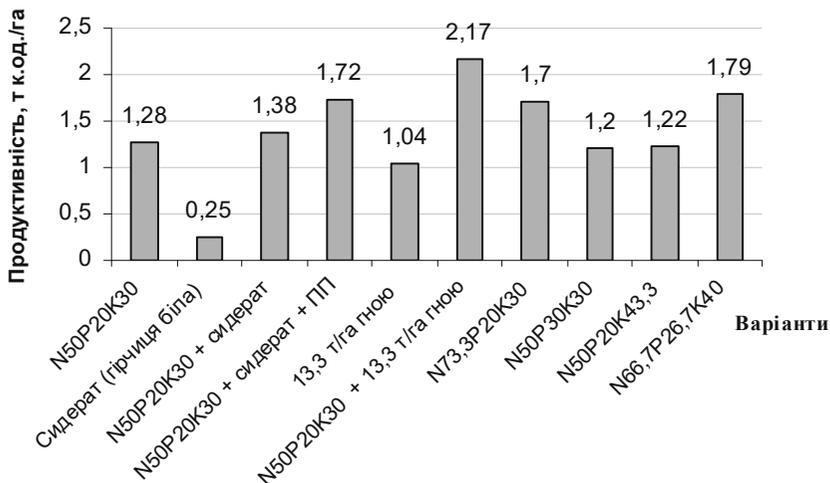


Рис. 5.6 Підвищення продуктивності ланки сівозміни до контролю без добрив за різних систем удобрення, УЛДСС, 2006-2010 рр.; ПП – побічна продукція культур

У середньому по ланці сівозміни найбільшим збір цукру визначено за традиційної органо-мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни) – 2,64; зерна – за внесення мінеральних добрив ($N_{73,3}P_{20}K_{30}$ на 1 га ланки сівозміни) та за внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни) – відповідно 2,99 та 2,95 т/га у рік.

Отже, введення елементів біологізації в системи удобрення за внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої і побічної продукції в умовах достатнього зволоження на чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому забезпечило підвищення продуктивності ланки сівозміни з горохом порівняно з мінеральною системою удобрення на 0,51, мінеральних добрив і гною – на 0,89 т к.од./га у рік.

5.2 Баланс елементів живлення

Баланс елементів живлення є теоретичною і практичною основою регулювання кругообігу речовин у системі ґрунт-добриво-рослина [61, 118, 176, 331]. Дослідження балансу поживних речовин дозволяє установити територіальні параметри допустимого насичення сівозміни добривами, оптимізувати дози та забезпечити раціональне екологічно-збалансоване їх застосування [8, 96, 125, 340, 376].

Кругообіг азоту в агроекосистемах супроводжується широким спектром джерел його надходження у ґрунт. Крім органічних та мінеральних добрив в ґрунт азот надходить в процесі симбіотичної і асимбіотичної фіксації мікроорганізмами. Згідно досліджень Я.П. Цвея, Н.К. Шиманської [343] горох за рахунок симбіотичної азотфіксації накопичує у ґрунті до 40% азоту від величини виносу його врожаєм, конюшина – 70%. Основними джерелами втрат азоту є винос його рослинами, газоподібні та інфільтраційні втрати. Трансформація сполук азоту в нітратну форму супроводжується процесами його вимивання з ґрунту, а величина втрат в умовах достатнього зволоження становить понад 10 кг/га в рік [306]. Дослідження з використанням стабільного ізотопу ^{15}N показали, що значна частина азоту втрачається в процесі денітрифікації: на культурах суцільної сівби газоподібні втрати азоту становлять 10-15% від дози внесення азотних добрив, на просапних культурах – 20% і вище [361].

Дослідженнями П.М. Шияна, В.М.Бондаренко з ^{15}N [362] встановлено, що усередненою кількістю газоподібних втрат на посівах буряків цукрових є 20%. У наших дослідженнях газоподібні втрати азоту в сівозміні визначено у 15%, що пов'язано з високою часткою (50% і вище) зернових культур у її структурі.

Застосування азотних добрив в сівозмінах повинно супроводжуватись нульовим, або близьким до нього балансом азоту. Вносити надлишок азотних добрив в розрахунок на післядію недоцільно із-за високої його мобільності у ґрунті [61]. Дослідження D.S. Jenkinson [430] показали, що за різних рівнів удобрення надходження і втрати цього елемента в процесі тривалого застосування зрівноважуються і вміст його у ґрунті стабілізується.

Калій у ґрунті є менш мобільним елементом, ніж азот. Основним джерелом поповнення його запасів у ґрунті є добрива, втрат – винос рослинами та вимивання в незначних кількостях у підґрунтові води. Валові запаси калію у ґрунті значно перевищують

запаси азоту і фосфору, а тому, на думку Б.С. Носка, М.В. Лісового, В.М. Столяра [223], баланс калію у сівозміні може підтримуватись на рівні 75-80% від величини його виносу, не спричиняючи при цьому дефіциту калійного живлення для рослин. На думку Г.М. Господаренка [61] в умовах інтенсивного землеробства виникає необхідність створення резерву рухомого калію у ґрунті за рахунок внесення добрив. Інтенсифікація виносу елементів живлення потребує забезпечення нульового, або додатного балансу калію у ґрунті.

Кругообіг фосфору у землеробстві є відносно простим. Серед біогенних елементів фосфор найменше зазнає водних міграцій. На ґрунтах з низьким рівнем забезпечення посилюються процеси фізичної та хімічної адсорбції фосфору, знижується його рухомість. Основним джерелом поповнення фосфору у ґрунті є внесення мінеральних та органічних добрив. Дослідження Б.С. Носка [227], В.П. Черепанова, В.М. Якименка [344] свідчать, що чорноземні ґрунти добре піддаються регулюванню і за додатного балансу поступово нарощують запаси рухомого фосфору у ґрунті.

Високий рівень кореляції між системою удобрення і фондом рухомого фосфору чорноземних ґрунтів є важливим елементом у досягненні максимальної продуктивності культур. Найвища віддача від внесення добрив за вирощування більшості сільськогосподарських культур досягається на ґрунтах з рівнем забезпечення рухомих фосфором понад 15-16 мг/100 г ґрунту [225]. Тому, вважає Б.С. Носко [218], на ґрунтах з низьким, середнім та підвищеним вмістом рухомого фосфору система удобрення має забезпечувати додатний баланс, а за досягнення високого вмісту – підтримувати нульовий баланс фосфору у ґрунті.

Розрахунок балансу елементів живлення в ґрунті показав, що вирощування культур у зерно-бураковій сівозміні (просапних 30%, бобових 30%) впродовж ротації в умовах нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому без внесення добрив формувало від'ємний середньорічний баланс азоту у ґрунті в кількості (-65,6) кг/га, за інтенсивності балансу 45,2% (табл. 5.4).

Мінеральна система удобрення не забезпечила стабілізацію показників балансу азоту у ґрунті. Внесення $N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозмінної площі збільшило середньорічне надходження азоту у ґрунт порівняно з варіантом без добрив на 52,6 кг/га, відчуження – на 32,8 кг/га. Середньорічний баланс азоту у ґрунті при цьому залишався від'ємним – (-45,8) кг/га, за інтенсивності балансу 70%.

Таблиця 5.4 Баланс азоту в чорноземі опідзоленому за різних систем удобрення, ВДСС, 1997-2009 рр., кг/га сівозмінної площі

Статті балансу	Варіант				
	1	2	3	5	12
	Без добрив	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	12 т/га гною + побічна продукція
I. Надходження	54	107	141	169	146
мінеральні добрива		50	50	50	
органічні добрива				60	60
побічна продукція			32		28
насіння	3	3	3	3	3
опади	9	9	9	9	9
симбіотичний азот	32	35	36	37	36
несимбіотичний азот	10	10	10	10	10
II. Відчуження	120	154	158	162	144
з урожаєм	115	141	145	149	139
газоподібні втрати		8	8	8	
внаслідок вимивання	5	5	5	5	5
III. Баланс за ротацію на 1 га	-66	-47	-17	7	2
IV. Інтенсивність балансу, %	45	70	89	105	102

Екологічно стабільнішою визначено органо-мінеральну систему удобрення. Внесення мінеральних добрив і побічної продукції (N₅₀P_{42,5}K₅₀ на 1 га сівозмінної площі), за рахунок зменшення виносу азоту із ґрунту у складі побічної продукції на 32,2 кг/га в рік, формувало середньорічний баланс азоту у ґрунті – (-16,9) кг/га, за інтенсивності балансу 89,3%. Додатній середньорічний баланс азоту створювався за поєднання внесення N₅₀P_{42,5}K₅₀ та 12 т гною на 1 га сівозмінної площі – (+8,6) кг/га, за інтенсивності балансу 105,4%, що супроводжувалось зростанням фінансових витрат на виробництво і внесення органічних добрив.

Стабілізацію азотного фонду чорнозему опідзоленого спостежували за органічної системи удобрення. Внесення 12 т гною та побічної продукції на 1 га сівозмінної площі забезпечило

середньорічний баланс азоту у ґрунті – (+2,5) кг/га, за інтенсивності балансу 101,7%.

Баланс фосфору в чорноземі опідзоленому за вирощування культур без внесення добрив залишався стабільнішим порівняно з азотом. Невисокі обсяги виносу фосфору культурами обумовили середньорічний дефіцит фосфору в ґрунті в кількості -35,9 кг/га (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 Баланс фосфору в чорноземі опідзоленому за різних систем удобрення, ВДСС, 1997-2009 рр., кг/га сівозмінної площі

Статті балансу	Варіант				
	1	2	3	5	12
	Без добрив	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	12 т/га гною + побічна продукція
I. Надходження	1	44	53	74	39
мінеральні добрива		43	43	43	
органічні добрива				30	30
побічна продукція			9		8
насіння	1	1	1	1	1
II. Відчуження	37	45	47	48	45
з урожаєм	37	45	47	48	45
III. Баланс за ротацию на 1 га	-36	-1	6	26	-6
IV. Інтенсивність балансу, %	3	96	112	154	87

За мінеральної системи удобрення з середньорічною дозою внесення фосфору 42,5 кг/га P₂O₅ сформовано практично бездефіцитний баланс фосфору у ґрунті – (-1,7) кг/га, за інтенсивності балансу 96,2%.

Розширене відтворення фонду фосфору в чорноземі опідзоленому визначено за орґано-мінеральної системи удобрення. Внесення мінеральних добрив і побічної продукції рослинництва (N₅₀P_{42,5}K₅₀ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) забезпечило додатній середньорічний баланс фосфору у ґрунті – (+5,7) кг/га, за інтенсивності балансу 112,2%; мінеральних добрив і гною (N₅₀P_{42,5}K₅₀ + 12 т/га гною на 1 га сівозмінної площі) – відповідно (+25,9) кг/га та 154,4%. Із-за низького вмісту фосфору у складі побічної продукції біологізація

систем удобрення поступалась гноєві за стабілізаційним впливом на фосфатний режим ґрунту.

Від'ємний баланс фосфору в ґрунті виявлено за органічної системи удобрення (12 т/га гною + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі). Невисокі обсяги надходження фосфору у ґрунт у складі гною та побічної продукції (37,8 кг/га сівозмінної площі) формували від'ємний середньорічний баланс фосфору у ґрунті в кількості – (-6 кг/га), за інтенсивності балансу 86,6%.

Винос калію культурами сівозміни наближався до виносу азоту, однак із-за відсутності додаткових джерел надходжень, якими для азоту є симбіотична та асимбіотична фіксація, в ґрунті створювався переважно від'ємний баланс калію. За вирощування культур без внесення добрив формувалася середньорічний дефіцит балансу калію у кількості – -95,1, за внесення $N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозмінної площі – -67,2, за внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) – -19,7, мінеральних добрив і гною ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + 12 т/га гною на 1 га сівозмінної площі) – -4,4 кг/га; за інтенсивності балансу – відповідно 6,9%, 45,9%, 84,7% та 96,7% (табл. 5.6).

Незважаючи на те, що за жодної із зазначених систем удобрення не одержано додатного балансу калію у ґрунті, за органо-мінеральної системи удобрення виявлено більшу ощадливість. Так, внесення мінеральних добрив і побічної продукції порівняно з мінеральною системою удобрення зменшило середньорічний винос калію з ґрунту на 47,5, мінеральних добрив і гною – відповідно на 62,8 кг/га.

Додатний середньорічний баланс калію в чорноземі опідзоленому формувалася за органічної системи удобрення (12 т/га гною + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) – +3,0 кг/га, за інтенсивності балансу 102,5%. Цьому сприяло достатнє надходження калію в ґрунт у складі гною та побічної продукції.

Отже, внесення мінеральних добрив і побічної продукції в умовах нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому зменшило середньорічний дефіцит азоту у ґрунті порівняно з мінеральною системою удобрення на 28,9, калію – на 47,5; мінеральних добрив і гною – відповідно на 37,2 та 62,8 кг/га. При цьому за обох систем удобрення забезпечено розширене відтворення фонду фосфору у ґрунті.

Таблиця 5.6 Баланс калію в чорноземі опідзоленому за різних систем удобрення, ВДСС, 1997-2009 рр., кг/га сівозмінної площі

Стаття балансу	Варіант				
	1	2	3	5	12
	Без добрив	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	12 т/га гною + побічна продукція
I. Надходження	7	57	109	129	125
мінеральні добрива		50	50	50	
органічні добрива				72	72
побічна продукція			52		46
насіння	1	6	6	6	6
опади	6	6	6	6	6
II. Відчуження	102	124	129	133	122
з урожаєм	95	117	122	126	115
внаслідок вимивання	7	7	7	7	7
III. Баланс за ротацію на 1 га	-95	-67	-20	-4	3
IV. Інтенсивність балансу, %	7	46	85	97	103

На чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому баланс елементів живлення у ґрунті вивчали в сівозмінах різної структури: третя ротація – зерно-просапна (просапних 40%, бобових 10%), четверта – плодозмінна (просапних 16,7%, бобових 33%).

У зерно-просапній сівозміні з часткою просапних 40%, бобових 10% за мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення формувався від’ємний баланс азоту у ґрунті. Внесення мінеральних добрив (N₅₀P₆₆K₆₆ на 1 га сівозмінної площі) також формувало від’ємний середньорічний баланс азоту у кількості (-68,7), внесення мінеральних добрив і побічної продукції (N₅₀P₆₆K₆₆ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) – (-38,2), мінеральних добрив і гною (N₅₀P₆₆K₆₆ + 9 т/га гною на 1 га сівозмінної площі) – (-35,3) кг/га, за інтенсивності балансу – відповідно 52,8%, 74,7% та 77,6%. Органо-мінеральна система удобрення виявилась екологічно ошадливішою. Середньорічний дефіцит балансу азоту у ґрунті тут порівняно з мінеральною системою удобрення зменшувався на 30,5-33,4 кг/га (табл. 5.7).

Таблиця 5.7 Баланс азоту в чорноземі типовому вилугуваному залежно від систем удобрення та структури сівозміни, БЦДСС, 1996-2012 рр., кг/га сівозміної площі

Статті балансу	III ротация (1996-2007 рр.)				IV ротация (2006-2012 рр.)			
	варіант							
	11	2	4	13	11	2	4	13
	Без добрив	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + побічна продукція	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га гною	Без добрив	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + 8,3 т/га гною
I. Надходження	25	77	113	122	52	108	140	155
мінеральні добрива		50	50	50		43	43	43
органічні добрива				45				42
побічна продукція			36				30	
насіння	3	3	3	3	3	3	3	3
опади	9	9	9	9	9	9	9	9
симбіотичний азот	3	5	5	5	30	43	45	48
несимбіотичний азот	10	10	10	10	10	10	10	10
II. Відчуження	85	147	152	158	83	131	141	145
з урожаєм	80	134	139	145	78	119	129	133
газоподібні втрати		8	8	8		7	7	7
внаслідок вимивання	5	5	5	5	5	5	5	5
III. Баланс за ротацию на 1 га сівозміни	-60	-70	-39	-36	-31	-23	-1	10
IV. Інтенсивність балансу, %	30	53	75	78	63	83	99	107

Зменшення у плодозмінній сівозміні (четверта ротация) частки просапних культур до 16,7% та збільшення бобових до 33% сприяло стабілізації балансу азоту у ґрунті. Збільшення частки бобових культур у плодозмінній сівозміні підвищило середньорічне надходження азоту у ґрунт за рахунок симбіотичної азотфіксації порівняно з зерно-просапною сівозмінною у варіанті без добрив на 26,7, за внесення мінеральних добрив – на 38,5, мінеральних добрив і побічної продукції – на 40,0, мінеральних добрив і гною – на 43,2 кг/га. Частка симбіотичного азоту у плодозмінній сівозміні від загальних обсягів його надходження у ґрунт становила у варіантах з добривами – 31,2-40,0%, на контролі без добрив – 57,6%.

Від’ємний середньорічний баланс азоту у ґрунті у плодозмінній сівозміні виявлено лише за мінеральної системи удобрення ($N_{43}P_{43}K_{43}$ на 1 га сівозмінної площі) – (-21,8) кг/га, за інтенсивності балансу 83,2%. Внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) формувало нульовий середньорічний баланс азоту – (-0,3), мінеральних добрив і гною ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + 8,3 т гною на 1 га сівозмінної площі) – додатній в кількості (+10,9) кг/га, за інтенсивності балансу – відповідно 99,8% та 107,6%. Отже, у сівозміні з низькою часткою просапних (16,7%) і високою бобових (33%) застосування побічної продукції на фоні внесення мінеральних добрив стабілізувало баланс азоту в ґрунті на нульовому рівні; внесення 8,3 т гною на 1 га сівозмінної площі – забезпечило розширене відтворення азотного фонду ґрунту.

Баланс фосфору в чорноземі типовому вилугуваному середньо-суглинковому формувався різко додатнім в обох сівозмінах. У зерно-просапній сівозміні за дози мінеральних добрив $N_{50}P_{66}K_{66}$ на 1 га сівозмінної площі середньорічний баланс фосфору становив +23,7, у плодозмінній за дози $N_{43}P_{43}K_{43}$ на 1 га сівозмінної площі – +4,9 кг/га, за інтенсивності балансу відповідно 154,7% та 112,5%. Зменшення інтенсивності балансу фосфору у плодозмінній сівозміні порівняно із зерно-просапною обумовлено, перш за все, зменшенням середньорічної дози внесення фосфорних добрив на 23 кг/га P_2O_5 (табл. 5.8).

Стабілізацію фонду фосфору чорнозему типового вилугуваного виявлено за органо-мінеральної системи удобрення. Внесення мінеральних добрив і побічної продукції у зерно-просапній сівозміні ($N_{50}P_{66}K_{66}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) збільшило додатній середньорічний баланс фосфору порівняно з мінеральною системою удобрення на 7,9 кг/га (33,4%); у плодозмінній ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) – відповідно на 6,6 кг/га (34,7%). Інтенсивність балансу фосфору у сівозмінах за введення елементів біологізації в системи удобрення становила відповідно 170,2% та 127,7%.

Найвищу стабільність фосфатного режиму ґрунту сформовано за традиційної органо-мінеральної системи удобрення. Внесення мінеральних добрив і гною у зерно-просапній сівозміні ($N_{50}P_{66}K_{66}$ + 9 т гною на 1 га сівозмінної площі) формувало додатній середньорічний баланс фосфору в кількості 42,4 кг/га; у плодозмінній ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + 8,3 т гною на 1 га сівозмінної площі) – 22,4, що порівняно з мінеральною системою удобрення було більшим – відповідно на 18,7 та 17,5 кг/га. Інтенсивність

балансу фосфору в сівозмінах за поєданого внесення мінеральних добрив і гною становила відповідно 190% та 152,8%.

Таблиця 5.8 Баланс фосфору в чорноземі типовому вилугуваному залежно від систем удобрення та структури сівозміни, БЦДСС, 1996-2012 рр., кг/га сівозміної площі

Статті балансу	III ротація (1996-2007 рр.)				IV ротація (2006-2012 рр.)			
	варіант							
	11	2	4	13	11	2	4	13
	Без добрив	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + побічна продукція	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га гною	Без добрив	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + 8,3 т/га гною
I. Надходження	1	67	77	90	1	44	53	65
мінеральні добрива		66	66	66		43	43	43
органічні добрива				23				21
побічна продукція			10				9	
насіння	1	1	1	1	1	1	1	1
II. Відчуження	26	43	45	47	25	39	42	42
з урожаєм	26	43	45	47	25	39	42	42
III. Баланс за ротацією на 1 га	-25	24	32	43	-24	5	11	23
IV. Інтенсивність балансу, %	4	155	170	190	4	113	128	153

Баланс калію за мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення в обох сівозмінах залишався від'ємним. У зерно-просапній сівозміні за внесення мінеральних добрив N₅₀P₆₆K₆₆ на 1 га сівозміної площі середньорічний баланс калію становив – 48,4 кг/га, внесення мінеральних добрив і побічної продукції (N₅₀P₆₆K₆₆ + побічна продукція на 1 га сівозміної площі) – -0,9, мінеральних добрив і гною (N₅₀P₆₆K₆₆ + 9 т гною на 1 га сівозміної площі) – -4,0 кг/га, за інтенсивності балансу – відповідно 60,1%, 99,3% та 97,0% (табл. 5.9).

У плодозмінній сівозміні дефіцит балансу калію збільшувався порівняно з зерно-просапною сівозміною, що обумовлено, перш за все, зменшенням на 35% дози калію у складі мінеральних добрив. За мінеральної системи удобрення (N₄₃P₄₃K₄₃ на 1 га сівозміної площі) середньорічний баланс калію становив – 62,5, мінеральних добрив і

побічної продукції ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) – -25,0, мінеральних добрив і гною ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + 8,3 т гною на 1 га сівозмінної площі) – -26,0 кг/га, за інтенсивності балансу – відповідно 44,4%, 79,7% та 79,4%.

Таблиця 5.9 Баланс калію в чорноземі типовому вилугуваному залежно від систем удобрення та структури сівозміни, БЦДСС, 1996-2012 рр., кг/га сівозмінної площі

Стаття балансу	III ротація (1996-2007 рр.)				IV ротація (2006-2012 рр.)			
	варіант							
	11	2	4	13	11	2	4	13
	Без добрив	$N_{50}P_{66}K_{66}$	$N_{50}P_{66}K_{66}$ + побічна продукція	$N_{50}P_{66}K_{66}$ + 9 т/га гною	Без добрив	$N_{43}P_{43}K_{43}$	$N_{43}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція	$N_{43}P_{43}K_{43}$ + 8,3 т/га гною
I. Надходження	7	73	126	127	7	50	98	100
мінеральні добрива		66	66	66		43	43	43
органічні добрива				54				50
побічна продукція			53				48	
насіння	1	1	1	1	1	1	1	1
опади	6	6	6	6	6	6	6	6
II. Відчуження	69	121	127	131	74	113	123	126
з урожаєм	62	114	120	124	67	106	116	119
внаслідок вимивання	7	7	7	7	7	7	7	7
III. Баланс за ротацією на 1 га	-62	-48	-1	-4	-67	-63	-25	-26
IV. Інтенсивність балансу, %	10	60	99	97	10	44	80	79

За органо-мінеральної системи удобрення порівняно з мінеральною системою середньорічний дефіцит калію у зерно-просапній сівозміні зменшився на 44,4-47,5, у плодозмінній – на 36,5-36,6 кг/га. При цьому біологізація системи удобрення за стабілізаційним впливом на калійний режим чорнозему типового вилугуваного середньосуглинкового прирівнювалась до внесення 8,3-9 т гною на 1 га сівозмінної площі.

На чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому (умови достатнього зволоження) баланс елементів живлення за різних систем удобрення вивчали у ланці зерно-буракової сівозміни з горохом.

За мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{20}K_{30}$ та $N_{66,7}P_{26,7}K_{40}$ на 1 га ланки сівозміни) визначено від'ємний середньорічний баланс азоту у ґрунті, який становив відповідно -48,9 та -41,5 кг/га, за інтенсивності балансу 63,0% та 70,7% (табл. 5.10).

Таблиця 5.10 Баланс азоту в чорноземі типовому вилугуваному за різних систем удобрення, УЛДСС, 2006-2010 рр., кг/га ланки сівозміни

Статті балансу	Варіант							
	1	3	4	5	6	10	11	12
	Без добрив	$N_{50}P_{20}K_{30}$	$N_{66,7}P_{26,7}K_{40}$	$N_{50}P_{20}K_{30} + 13,3$ т/га гною	$13,3$ т/га гною	Сидерат (гірчиця біла)	$N_{50}P_{20}K_{30} +$ сидерат	$N_{50}P_{20}K_{30} +$ сидерат + побічна
I. Надходження	33	83	100	151	100	34	84	123
мінеральні добрива		50	67	50			50	50
органічні добрива				67	67			
сидерат*						42	42	42
побічна продукція								38
насіння	2	2	2	2	2	2	2	2
опади	9	9	9	9	9	9	9	9
симбіотичний азот	12	13	13	13	13	13	13	13
несимбіотичний азот	10	10	10	10	10	10	10	10
II. Відчуження	101	133	141	147	117	107	137	141
з урожаєм	98	122	128	136	114	104	126	130
газоподібні втрати		8	10	8			8	8
внаслідок вимивання	3	3	3	3	3	3	3	3
III. Баланс за ротацию на 1 га	-68	-50	-41	4	-17	-73	-53	-18
IV. Інтенсивність балансу, %	33	63	71	102	85	31	61	87

*Надходження азоту у складі сидерату є джерелом мобілізації азоту ґрунту, а тому не враховувалось в розрахунках балансу

Високий від'ємний середньорічний баланс азоту у ґрунті формувался за внесення зеленої маси гірчиці білої та за поєднаного її застосування з мінеральними добривами ($N_{50}P_{20}K_{30} +$ сидерат на 1 га

ланки сівозміни) – відповідно -73,7 та -52,9 кг/га, за інтенсивності балансу 31,3% та 61,3%. Гірчиця біла, як сидерат, забезпечувала лише мобілізацію азоту ґрунту в органічну форму (до 42,0 кг/га в рік) і не впливала істотно на показники балансу азоту у ґрунті.

Стабілізації азотного фонду чорнозему типового вилугуваного легкосуглинкового сприяло внесення гною та мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої і побічної продукції. Порівняно з мінеральною системою удобрення за внесення 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни середньорічний дефіцит азоту в ґрунті зменшився на 31,5, поєднання внесення $N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни – на 30,9 і становив відповідно -17,4 та -18,0 кг/га, за інтенсивності балансу – 85,2% та 87,2%.

Найвищу стабільність фонду азоту ґрунту одержано за традиційної орґано-мінеральної системи удобрення. Внесення $N_{50}P_{20}K_{30}$ + 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни формувало додатній середньорічний баланс азоту у кількості +3,3 кг/га, за інтенсивності балансу – 102,2%. Порівняно з мінеральною системою удобрення дефіцит азоту у ґрунті зменшився на 52,2 кг/га за рік.

Баланс фосфору у чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому за більшості систем удобрення визначено як від’ємний. Внесення рекомендованої ($N_{50}P_{20}K_{30}$ на 1 га ланки сівозміни) та підвищеної ($N_{66,7}P_{26,7}K_{40}$ на 1 га ланки сівозміни) доз мінеральних добрив формувало від’ємний середньорічний баланс фосфору в ґрунті відповідно -17,0 та -11,0 кг/га. Різко від’ємний баланс фосфору в ґрунті склався за внесення зеленої маси гірчиці білої – -32,7 кг/га за рік. Не забезпечувало стабільності фосфатного режиму чорнозему типового вилугуваного поєднання внесення мінеральних добрив та зеленої маси гірчиці білої ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат на 1 га ланки сівозміни): середньорічний баланс фосфору в ґрунті становив -17,9 кг/га, за інтенсивності балансу – 53,6% (табл. 5.11).

Серед заходів введення елементів біологізації в системи удобрення екологічно ощадливим визначено внесення мінеральних добрив і зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни): баланс фосфору в ґрунті становив – -9,7 кг/га в рік, за інтенсивності балансу 75,9%. Порівняно з мінеральною системою удобрення елементи біологізації зменшили середньорічний дефіцит фосфору у ґрунті на 7,3 кг/га.

Таблиця 5.11 Баланс фосфору в чорноземі типовому вилугуваному за різних систем удобрення, УЛДСС, 2006-2010 рр., кг/га ланки сівозміни

Статті балансу	Варіант							
	1	3	4	5	6	10	11	12
	Без добрив	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	N _{66,7} P _{26,7} K ₄₀	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га	13,3 т/га гною	Сидерат (гірчиця)	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + побічна продукція
I. Надходження	1	21	27	54	34	1	21	31
мінеральні добрива		20	27	20			20	20
Органічні добрива				33	33			
сидерат*						10	10	10
побічна продукція								10
насіння	1	1		1	1	1	1	1
II. Відчуження	30	38	38	41	36	33	39	40
з урожаєм	30	38	38	41	36	33	39	40
III. Баланс за ротацією на 1 га	-29	-17	-11	13	-2	-32	-18	-9
IV. Інтенсивність балансу, %	2	55	71	133	95	2	54	76

*Надходження фосфору у складі сидерату є джерелом мобілізації фосфору ґрунту, а тому не враховувалось в розрахунках балансу

Стабільність фонду фосфору чорнозему типового вилугуваного досягнуто за традиційної органо-мінеральної системи удобрення. Внесення N₅₀P₂₀K₃₀ + 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни формувало середньорічний додатній баланс фосфору в ґрунті у кількості 13,3 кг/га, за інтенсивності балансу 132,7%. Порівняно з мінеральною системою удобрення внесення мінеральних добрив і гною зменшило середньорічний дефіцит фосфору у ґрунті на 30,3 кг/га.

Різко від'ємний баланс калію в чорноземі типовому вилугуваному склався за мінеральної системи удобрення, внесення зеленої маси гірчиці білої та за внесення мінеральних добрив і сидерату. За дози мінеральних добрив N₅₀P₂₀K₃₀ та N_{66,7}P_{26,7}K₄₀ на 1 га ланки сівозміни середньорічний баланс калію у ґрунті становив відповідно -68,5 та -62,6; за внесення зеленої маси гірчиці білої – -92,2; N₅₀P₂₀K₃₀ + сидерат на 1 га ланки сівозміни – -70,3 кг/га, за інтенсивності балансу відповідно – 34,8%, 42,6%, 6,6% та 34,2% (табл. 5.12).

Таблиця 5.12 Баланс калію в чорноземі типовому вилугуваному за різних систем удобрення, УЛДСС, 2006-2010 рр., кг/га ланки сівозміни

Статті балансу	Варіант							
	1	3	4	5	6	10	11	12
	Без добрив	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	N _{66,7} P _{26,7} K ₄₀	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га гною	13,3 т/га гною	Сидерат (гірчиця біла)	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + побічна продукція
I. Надходження	7	37	47	117	87	7	37	89
мінеральні добрива		30	40	30			30	30
органічні добрива				80	80			
сидерат*						18	18	18
побічна продукція								53
насіння	1	1	1	1	1	1	1	1
опади	6	6	6	6	6	6	6	6
II. Відчуження	81	105	109	114	105	99	107	112
з урожаєм	74	98	102	107	98	92	100	105
внаслідок вимивання	7	7		7	7	7	7	7
III. Баланс за ротацію на 1 га	-74	-68	-62	3	-18	-92	-70	-23
IV. Інтенсивність балансу, %	8	35	43	102	82	7	34	80

*Надходження калію у складі сидерату є результатом мобілізації калію ґрунту, а тому не враховувалось в розрахунках балансу

Стабілізації калійного фонду ґрунту сприяло внесення 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни та внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої і побічної продукції (N₅₀P₂₀K₃₀ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни). Баланс калію в ґрунті становив відповідно – 18,9 та -22,5 кг/га в рік, за інтенсивності балансу 82,1% та 79,8%. Порівняно з мінеральною системою удобрення внесення гною зменшило середньорічний дефіцит калію в ґрунті на 49,6, поєднання внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції – на 46,0 кг/га.

Стабільність фонду калію чорнозему типового вилугуваного досяглась за внесення N₅₀P₂₀K₃₀ + 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни. За

традиційної органо-мінеральної системи удобрення середньорічний додатний баланс калію у ґрунті становив 2,6 кг/га, за інтенсивності балансу 102,3%. Порівняно з мінеральною системою удобрення середньорічний дефіцит калію в ґрунті за поєднання внесення мінеральних добрив і гною зменшився на 71,1 кг/га.

Отже, за органо-мінеральної системи удобрення порівняно з мінеральною системою середньорічний дефіцит азоту у ґрунті зменшувався на 30,9-52,2, фосфору – 7,3-30,3, калію – 46,0-71,1 кг/га. При цьому елементи біологізації в системах удобрення шляхом внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції поступались традиційній органо-мінеральній системі удобрення за стабілізаційним впливом на баланс біогенних елементів в чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому.

Після проведення досліджень з вивчення впливу систем удобрення на продуктивність зерно-бурякової сівозміни та баланс елементів живлення у ґрунті можна зробити такі висновки:

1. За тривалого 20-35 років застосування добрив максимально високу продуктивність зерно-бурякової сівозміни досягнуто за органо-мінеральної системи удобрення та поєднання внесення мінеральних добрив і побічної продукції рослинництва – відповідно 7,86-8,56 та 7,43-8,35 т к.од./га сівозмінної площі. На чорноземі опідзоленому введення елементів біологізації в системи удобрення підвищило продуктивність сівозміни порівняно з мінеральною системою удобрення на 0,22, внесення мінеральних добрив і гною – на 0,43; на чорноземі вилугуваному середньосуглинковому – відповідно на 0,30-0,33 та 0,68-0,73 т к.од./га сівозмінної площі. За достатнього зволоження на чорноземі вилугуваному найефективнішими визначено традиційну органо-мінеральну систему удобрення та внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої і побічної продукції: продуктивність ланки сівозміни з горохом становила відповідно 8,94 та 8,49, зростання порівняно з мінеральною системою удобрення – 0,89 та 0,51 т к.од./га ланки сівозміни.

2. За 50-річного застосування добрив у короткоротаційних сівозмінах найефективнішою визначено традиційну на основі гною органо-мінеральну систему удобрення. Серед культур сівозмін найкраще відгукувались на внесення добрив буряки цукрові і пшениця озима, гірше бобові культури конюшина, вика яра та соя, а також соняшник, вико-овес і ячмінь ярий, які використовували післядію добрив і посередньо відгукувались на післядію добрив. Хорошу

ефективність у сівозмінах показало альтернативне органо-мінеральне удобрення сівозміни, яке незначно поступалась традиційному удобренню за продуктивністю культур.

3. Застосування традиційного на основі гною удобрення у плодозмінній сівозміні забезпечило найвищу кормову продуктивність – 9,2 т к.од./га з перевагою до контролю без добрив – 3,8 т к.од. на 1 га сівозмінної площі. У просапній сівозміні ефективним визначено застосування традиційного та альтернативного органо-мінерального удобрення: продуктивність сівозміни – 8,4 та 8,3 т к.од. на 1 га сівозміни. Найвищий збір зерна досягли у зерно-просапній сівозміні за традиційного органо-мінерального удобрення – 2,99 т зерна на 1 га сівозмінної площі. Ефективним визначено застосування у плодозмінній сівозміні традиційного та альтернативного органо-мінерального удобрення: збір зерна – 2,85 та 2,67 т на 1 га сівозмінної площі, відповідно. Найвищий збір цукру отримали у плодозмінній сівозміні за традиційного органо-мінерального удобрення та зерно-просапній сівозміні за альтернативного удобрення – 1,29 т/га, що було вищим, ніж на контролі без добрив – на 0,76 т на 1 га сівозміни.

4. За тривалого 20-35 років застосування добрив мінеральна система удобрення формувала різко від'ємний баланс азоту і калію в зерно-буряковій сівозміні: азоту від -21,8 до -68,7, калію – від -48,4 до -67,2 кг/га сівозмінної площі. Збільшення частки просапних культур у зерно-буряковій сівозміні збільшувало дефіцит балансу азоту в ґрунті, частки кормових – дефіцит балансу калію. Внесення фосфору у складі мінеральних добрив понад 40 кг/га P_2O_5 забезпечило додатній його баланс в чорноземних ґрунтах і мало залежало від структури сівозміни.

5. За органо-мінеральної системи удобрення виявлено стабілізацію біогенного балансу чорноземних ґрунтів. За введення елементів біологізації в системи удобрення шляхом внесення мінеральних добрив і побічної продукції дефіцит балансу азоту в ґрунті зменшився порівняно з мінеральною системою удобрення на 44-99%, калію – на 71-78%; за внесення мінеральних добрив і гною – відповідно на 54-151% та 75-94%. Стабільність фонду фосфору чорноземних ґрунтів за органо-мінеральної системи удобрення істотно зростала.

6 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ БІОЛОГІЗАЦІЇ В СИСТЕМІ УДОБРЕННЯ СІВОЗМІН (теоретичне і практичне обґрунтування)

Розділ

6.1 Біогенне навантаження на ґрунт за біологізації сівозмін

З апровадження в сучасному землеробстві високопродуктивних сортів і гібридів сільськогосподарських культур супроводжується високими обсягами виносу елементів живлення із ґрунту. За даними Ю.А. Тонкаля, В.С. Охмакевича [299], П.М. Шияна, О.М. Ляшенка, Б.Т. Прокопчука [357] з урожайністю коренеплодів 50 т/га і відповідною кількості гички буряки цукрові з ґрунту виносять близько 250-300 кг азоту, 75-100 кг фосфору (P_2O_5) та 300-350 кг калію (K_2O). Серед зернових і зернобобових культур найбільше елементів живлення виносить кукурудза на зерно, менше пшениця озима та ячмінь, ще менше горох. Згідно досліджень Г.М. Господаренка [61], А.П. Лісовала, В.М. Макаренка, С.М. Кравченка [177] кукурудза на зерно з урожайністю 7,0 т/га виносить з основним урожаєм і відповідною кількістю нетоварної продукції 220-230 кг азоту, 60-70 кг фосфору (P_2O_5) та 180-200 кг калію (K_2O), пшениця озима з урожайністю 5,0 т/га – відповідно 110-125, 55-65 та 65-75, горох з урожайністю 2,5 т/га – 90-100, 35-40 та 40-45 кг.

Винос елементів живлення рослинами залежить від рівня врожаю, ґрунтово-кліматичних умов, мінерального живлення та здатності рослин засвоювати їх із ґрунту [37, 188, 366, 394, 405].

За введення елементів біологізації в системи удобрення значна частина поживних речовин повертається в ґрунт у процесі використання на добриво побічної продукції, що істотно зменшує їх винос із ґрунту і робить таку систему удобрення більш екологічно ощадливою [159].

На думку В.Ф. Сайка [264] біологізація землеробства шляхом широкого застосування на добриво побічної продукції є одним з найдешевших, екологічно та економічно ощадливих методів оптимізації системи удобрення. Заорювання на добриво нетоварної частини врожаю не тільки зменшує обсяги виносу елементів

живлення з ґрунту, але й залучає значний ресурс біогенних елементів в процесі їх рециркуляції до удобрення культур сівозміни. При цьому удобрення культур вирішується у площині оптимізації кругообігу біогенних елементів, охорони навколишнього природного середовища, підвищення родючості ґрунту та екологічної стабілізації агроecosystem [158].

Про високу екологічну доцільність, економічну та енергетичну ефективність заходів біологізації в системі удобрення культур відмічалось в дослідженнях [279].

Рівень антропогенного навантаження на ґрунт за біологізації системи удобрення помітно залежить від виносу елементів живлення господарським врожаєм та особливостей їх розподілу в репродуктивних органах і нетоварній його частині. Зернові та зернобобові культури азот і фосфор із ґрунту виносять переважно товарною частиною врожаю, калій – з побічною продукцією. За даними К.Л. Загорча [96], А.С. Заришняка, В.В. Іваніни, Т.В. Колібабчук [109] внос зерновими культурами азоту і фосфору з товарною продукцією в 3,5-4 рази більші порівняно з побічною, горохом – в 4,5-5 разів. При цьому внос калію в товарній продукції пшениці озимої у 2-3 рази менший порівняно з його виносом побічною продукцією, гороху – на рівні з виносом побічною продукцією [61].

За даними польового стаціонарного досліді Верхняцької ДСС (умови нестійкого зволоження) вміст елементів живлення в основній та побічній продукції визначено як відносно сталу величину, яка залежала від фізіологічних особливостей та вибіркової здатності культур до їх засвоєння (табл. 6.1).

Зернові культури в основній продукції найбільше містили азоту: пшениця озима – 2,35%, ячмінь ярий – 2,35%, кукурудза на зерно – 1,81%, що перевищувало вміст фосфору відповідно у 2,8, 2,6 та 2,4 рази, калію – у 4,2, 3,6 та 3,5 рази. У побічній продукції зернові культури накопичували переважно калій – 1,16-1,73%, що порівняно з вмістом азоту було більшим у 2,0-2,1 рази, фосфору – у 6,1-6,6 рази.

Буряки цукрові більше елементів живлення містили у вегетативній масі: азоту – 2,37%, фосфору – 0,58%, калію – 3,00%, тоді як в коренеплодах їх вміст був меншим відповідно у 2,8, 1,9 та 3,3 рази. Коншина та вико-овес у вегетативній масі масі накопичували переважно азот і калій. Вміст азоту в конюшині становив 2,95%, вико-вівсу – 2,37%, калію – відповідно 2,55% та 2,46%.

За мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозмінної площі) відчуження елементів живлення із ґрунту у зерно-буряковій сівозміні (просапних 30%, бобових 30%) найбільшим спостерігали за вирощування буряків цукрових та кукурудзи на зерно. З господарським урожаєм буряки цукрові виносили азоту 152-157 кг/га, фосфору – 48-49, калію – 175-183; кукурудза на зерно – відповідно 147, 53 та 125 кг/га (рис. 6.1).

Таблиця 6.1 Вміст елементів живлення в складових урожаю культур зерно-бурякової сівозміни за біологізації системи удобрення, ВДСС, 1998-2009 рр.

№ п/п	Культура	Органи рослин	Суха речовина, %	Вміст в сухій речовині, %		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Пшениця озима	зерно	85,7	2,35	0,84	0,56
		солома	85,1	0,61	0,19	1,16
2	Буряки цукрові	коренеплоди	24,4	0,86	0,31	0,93
		гичка	14,7	2,37	0,58	3,00
3	Кукурудза на зерно	зерно	85,9	1,81	0,68	0,51
		стебла	81,8	0,85	0,26	1,73
4	Ячмінь ярий	зерно	85,8	2,35	0,97	0,68
		солома	85,3	0,78	0,27	1,71
5	Горох	зерно	85,6	3,91	0,98	1,62
		солома	85,2	1,17	0,27	1,64
6	Конюшина	зелена маса	18,2	2,95	0,68	2,55
7	Вико-овес	зелена маса	19,2	2,37	0,70	2,46

Кормові бобові культури конюшина і вико-овес незначно поступались обсягами вносу елементів живлення. Конюшина виносила азоту – 131 кг/га, фосфору – 30, калію – 114, вико-овес – відповідно 128, 38 та 133 кг/га. Просапні і кормові бобові культури виснажували ґрунт переважно на азот і калій, якого порівняно з фосфором виносили у 2,6-4,3 рази більше.

Винос елементів живлення зерновими і зернобобовими культурами за мінеральної системи удобрення поступався просапним і кормовим бобовим культурам, а у складі їх вносу переважав азот. Пшениця озима виносила азоту – 132-170 кг/га, фосфору – 37-60 кг/га,

калію – 86-98 кг/га; ячмінь ярий – відповідно 104, 41, 89 кг/га; горох – 120, 30, 69 кг/га.

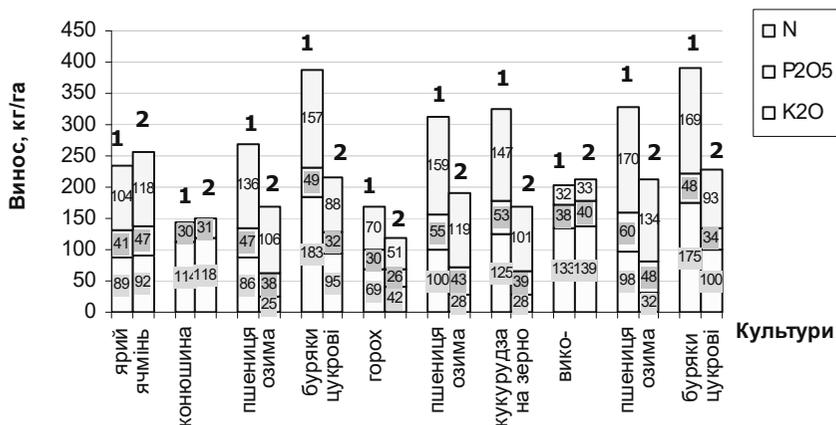


Рис. 6.1 Винос елементів живлення культурами зерно-бурякової сівозміни за різних систем удобрення, ВДСС, 1998-2009 рр.

1 – мінеральна система удобрення;

2 – орґано-мінеральна система удобрення на основі побічної продукції.

За мінеральної системи удобрення значна частина елементів живлення виносилась побічною продукцією культур і непродуктивно втрачалась за межі агроєкосистеми. Буряки цукрові з побічною продукцією виносили від господарського виносу азоту – 41-45%, фосфору – 31-36%, калію – 45-50%; пшениця озима – відповідно 20-23%, 18-21%, 67-71%; кукурудза на зерно – 32%, 27%, 78%, горох – 18%, 17%, 43%.

За альтернативної орґано-мінеральної системи удобрення (N₅₀P_{42,5}K₅₀ + побічна продукція на 1 га сівозміної площі), за якої побічна продукція буряків цукрових, пшениці озимої, кукурудзи на зерно та гороху заорювалась на добриво, у ґрунт поверталась значна кількість елементів живлення у складі рослинних решток, чим помітно зменшувалось хімічне навантаження на ґрунт порівняно з мінеральною системою удобрення. У зерно-буряковій сівозміні (просапних 30%, бобових 30%) винос елементів живлення з ґрунту порівняно з мінеральною системою удобрення зменшився по азоту –

на 32 кг/га, фосфору – на 8, калію – на 54 і становив – відповідно 81, 37 та 63 кг/га сівозмінної площі (рис. 6.2).

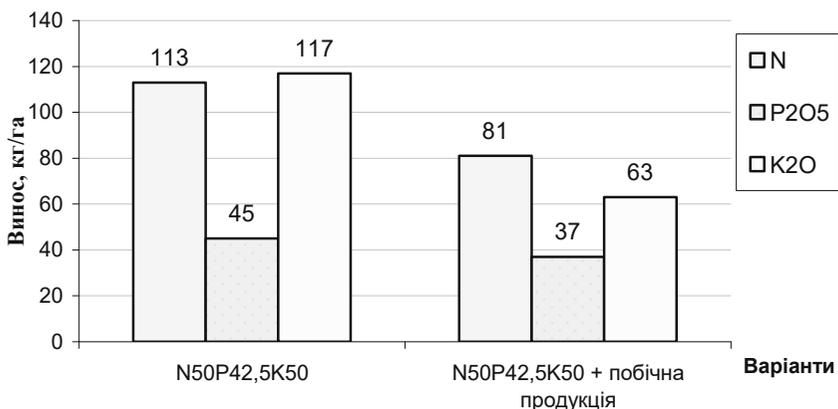


Рис. 6.2 Винос елементів живлення на 1 га зерно-бурякової сівозміни (30% просапних, 30% бобових) за різних систем удобрення, ВДСС, 1998-2009 рр.

Внесення мінеральних добрив і побічної продукції зменшило порівняно з мінеральною системою удобрення абсолютний винос елементів живлення з ґрунту буряками цукровими за сумою NPK – в 1,65-1,81 рази, кукурудзою на зерно – 1,95, пшеницею озимою – 1,54-1,66, горохом – 1,41 рази. Застосування на добриво гички буряків цукрових повертало до ґрунту азоту – 64 кг/га, фосфору – 15-16, калію – 81-83; стебел кукурудзи – відповідно 46, 14, 98 кг/га. За заорювання соломи пшениця озима найбільше повертала у ґрунт калію – 61-68 кг/га і значно менше азоту та фосфору – відповідно 23-36 та 9-12 кг/га. Найменші обсяги повернення у ґрунт елементів живлення спостерігали за заорювання соломи гороху: азоту – 17, фосфору – 4, калію – 28 кг/га.

За біологізації системи удобрення буряки цукрові виносили з ґрунту переважно азот та калій – відповідно 88-93 та 95-100 кг/га, а культури зернової групи – переважно азот – 106-134 кг/га, перевершуючи за цим показником буряки цукрові. Винос з ґрунту фосфору зерновими культурами становив – 38-48 кг/га (в 2,5-2,8 разів менше ніж азоту), калію – 25-32 кг/га (в 3,5-3,6 разів менше ніж азоту).

Слід зазначити, що вирощування бобових культур, незважаючи на високий винос азоту товарним урожаєм, не створювало значного хімічного навантаження на ґрунт за цим елементом, оскільки запаси азоту в ґрунті поповнювались за рахунок симбіотичної азотфіксації.

Отже, застосування на добриво побічної продукції змінювало конфігурацію вносу елементів живлення в сівозміні. Найбільше виносили з ґрунту за біологізації системи удобрення бобові кормові культури та ячмінь ярий, побічну продукцію якого не використовували на добриво. Вико-овес за сумою NPK виносив з ґрунту 313 кг/га, конюшина – 286 кг/га, ячмінь – 256 кг/га. Буряки цукрові, які з господарським урожаєм виносять значно більше елементів живлення, ніж інші культури, за заорювання гички на добриво зменшили винос з ґрунту за сумою NPK до 216-227 кг/га, що було меншим, ніж виносили бобові кормові культури та ячмінь ярий. Пшениця озима за заорювання на добриво соломи виносила з ґрунту елементів живлення за сумою NPK – 169-214 кг/га, кукурудза на зерно – 177 кг/га, горох – 171 кг/га.

В чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому зменшення хімічного навантаження на ґрунт за біологізації системи удобрення вивчали в двох типах зерно-бурякової сівозміни – зерно-просапній (просапних 40%, бобових 10%) та трансформованій плодозмінній (просапних 16,7%, бобових 33%) відповідно в третій та четвертій ротаціях.

Культури зерно-бурякової сівозміни відзначались різноманітністю хімічного складу та їх окремих органів, що обумовлено генетичними особливостями культур та вибірковою їх здатністю до поглинання елементів живлення. Вміст азоту в зерні пшениці озимої становив – 2,43-2,59%, ячменю ярого – 2,24-2,43%, гороху – 4,53%, фосфору – відповідно 0,91-1,00%, 0,88-0,91% та 0,97%, калію – 0,68-0,81%, 0,69-0,81% та 1,65%. У побічній продукції вміст азоту зменшувався порівняно з товарною у продукцією у 2,7-3,8 рази, фосфору – у 2,3-4,1 рази, тоді як калію зростав у 1,3-2,0 рази (табл. 6.2).

Буряки цукрові накопичували елементи живлення переважно у вегетативній масі: азоту – 2,55-2,87%, фосфору – 0,63-0,64%, калію – 3,21-2,53%. У коренеплодах їх вміст на період збирання врожаю був меншим відповідно у 2,1-2,4, 1,7-2,0 та 2,3-2,5 рази. Вегетативна маса редьки олійної, вико-вівса та коншини відзначались високим вмістом азоту і калію, який становив відповідно 2,20% і 1,11%, 2,11% і 2,21% та 3,13% і 2,73%.

Таблиця 6.2 Вміст елементів живлення в складових урожаю культур сівозміни за біологізації системи удобрення, БЦДСС, 1996-2012 рр.

№ п/п	Культура	Органи рослин	Суша речовина, %	Вміст в сухій речовині, %		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Зерно-просапна сівозміна, 1996-2006 рр.						
1	Пшениця озима	зерно	85,4	2,59	1,00	0,81
		солома	85,0	0,64	0,22	1,33
2	Буряки цукрові	коренеплоди	25,1	0,92	0,33	1,11
		гичка	15,3	2,87	0,63	3,53
3	Горох	зерно	85,1	4,53	0,97	1,65
		солома	85,0	1,32	0,39	1,68
4	Ячмінь ярий	зерно	85,3	2,43	0,88	0,81
		солома	85,1	0,79	0,33	1,55
5	Кукурудза на зелений корм	зелена маса	32,3	1,11	0,36	1,29
6	Редька олійна	зелена маса	23,9	2,20	0,68	1,11
Плодозмінна сівозміна, 2006-2012 рр.						
1	Пшениця озима	зерно	85,4	2,43	0,91	0,68
		солома	85,1	0,74	0,24	1,33
2	Буряки цукрові	коренеплоди	24,4	1,02	0,38	1,05
		гичка	14,6	2,55	0,64	3,21
3	Ячмінь ярий	зерно	85,5	2,24	0,91	0,69
		солома	85,2	0,87	0,30	1,63
4	Вико-овес	зелена маса	18,4	2,11	0,59	2,21
5	Конюшина	зелена маса	17,7	3,13	0,73	2,73

Найпомітнішу роль у зменшенні хімічного навантаження на ґрунт за біологізації системи удобрення зерно-просапної сівозміни (просапних 40%, бобових 10%) відігравало вирощування буряків цукрових, частка яких становила 30%. Заорювання на добриво гички буряків цукрових повертало у ґрунт азоту – 51-98, фосфору – 13-21, калію – 68-121 кг/га, що від господарського виносу становило – відповідно 45-80%, 36-46%, 47-60% (рис. 6.3).

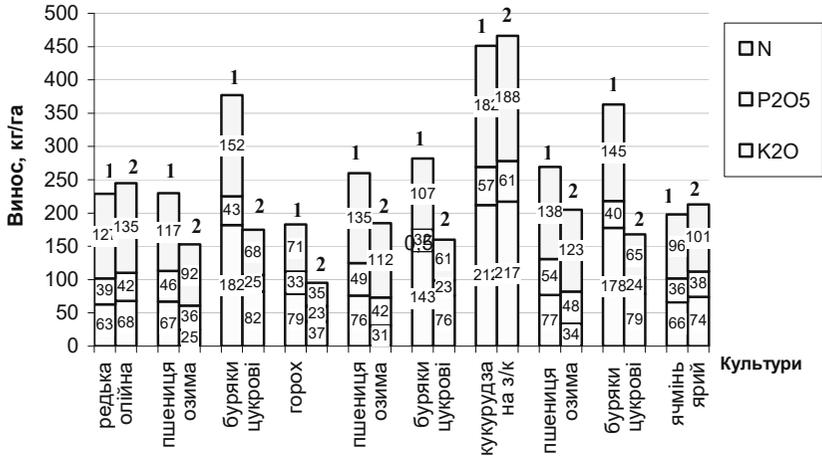


Рис. 6.3 Винос елементів живлення культурами зерно-просапної сівозміни за різних систем удобрення, БЦДСС, 1996-2006 рр.

1 – мінеральна система удобрення;

2 – органо-мінеральна система удобрення на основі побічної продукції.

За внесення на добриво соломи пшениці озимої виявлено зменшення виносу із ґрунту переважно калію. Обсяги виносу калію з соломою цієї культури переважали над іншими елементами і становили 42-55 кг/га, або 62-63% від господарського виносу. За заорювання на добриво соломи гороху зменшився винос із ґрунту азоту від господарського виносу на 25%, фосфору – на 32%, калію – на 55%.

За сумою NPK винос елементів живлення із ґрунту буряками цукровими за внесення мінеральних добрив і побічної продукції рослинництва порівняно з мінеральною системою зменшився у 1,77-2,17 рази, пшеницею озимою – у 1,32-1,51 рази, горохом – у 1,52 рази.

Серед культур зерно-просапної сівозміни (просапних 40%, бобових 10%) за біологізації систем удобрення найбільший винос елементів живлення із ґрунту спостерігали за вирощування кукурудзи на зелений корм, редьки олійної та ячменю ярого, побічну продукцію яких не застосовували на добриво. За вирощування кукурудзи на зелений корм із ґрунту виносилось за сумою NPK – 466 кг/га, редьки олійної – 244 кг/га, ячменю ярого – 214 кг/га. Буряки цукрові

внаслідок повернення частини елементів живлення у ґрунт за заорювання побічної продукції виносили за сумою NPK – 159-175 кг/га, пшениця озима – відповідно 152-205 кг/га, горох – 164 кг/га.

За біологізації системи удобрення у складі вносу елементів живлення кукурудзою на зелений корм переважав азот (188) і калій (217), редьки олійної – азот (135), пшениці озимої – азот (92-123), буряків цукрових – калій (79-82 кг/га).

За мінеральної системи удобрення (N₅₀P₆₆K₆₆ на 1 га сівозмінної площі) в зерно-просапній сівозміні (просапних 40%, бобових 10%) внос азоту з ґрунту становив 128, фосфору – 43, калію – 114 кг/га сівозмінної площі (рис. 6.4).

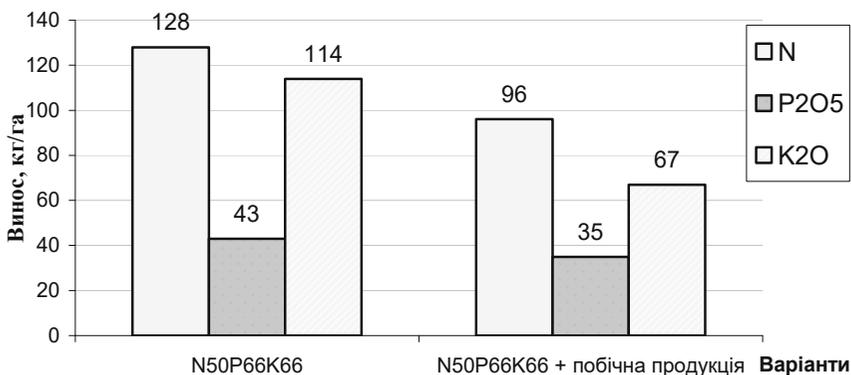


Рис. 6.4 Внос елементів живлення на 1 га зерно-просапної сівозміни (40% просапних, 10% бобових) за різних систем удобрення, БЦДСС, 1996-2006 рр.

Внесення мінеральних добрив і побічної продукції (N₅₀P₆₆K₆₆ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) істотно зменшувало рівень хімічного навантаження на ґрунт. Порівняно з мінеральною системою удобрення внос азоту з ґрунту у зерно-буряковій сівозміні зменшився на 32 кг/га, фосфору – на 8 кг/га, калію – на 47 кг/га сівозмінної площі, або на 25%, 19% та 41%.

У плодозмінній сівозміні (просапних 16,7%, бобових 33%) вирощування буряків цукрових за заорювання на добриво гички зменшувало внос з ґрунту елементів живлення за сумою NPK порівняно з мінеральною системою удобрення у 1,67 рази, пшениці озимої за заорювання соломи – у 1,59-1,98 рази.

За біологізації системи удобрення найбільший винос елементів живлення з ґрунту у плодозмінній сівозміні визначено за вирощування вико-вівса та конюшини, що становило за сумою NPK – відповідно 319 та 261 кг/га, тоді як вирощування буряків цукрових – 199, пшениці озимої – 142-165 кг/га (рис. 6.5).

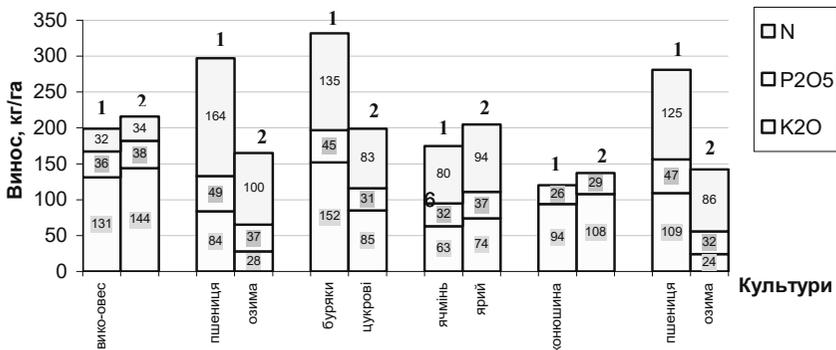


Рис. 6.5 Винос елементів живлення культурами плодозмінної сівозміни за різних систем удобрення, БЦДСС, 2006-2012 рр.

- 1 – мінеральна система удобрення;
- 2 – орґано-мінеральна система удобрення на основі побічної продукції.

Вико-овес і конюшина найбільше виснажували ґрунт на калій – відповідно 144 та 108 кг/га, пшениця озима на азот – 86-100, буряки цукрові на азот і калій – відповідно 83 та 85 кг/га. Ячмінь ярій, побічну продукцію якого не застосовували на добриво, виносив з господарським врожаєм азоту – 94 кг/га, фосфору – 37 кг/га, калію – 74 кг/га, що за хімічним навантаженням на ґрунт було близьким до вирощування буряків цукрових.

У плодозмінній сівозміні (просапних 16,7%, бобових 33%) за мінеральної системи удобрення (N₄₃P₄₃K₄₃ на 1 га сівозмінної площі) винос азоту господарським врожаєм у середньому на 1 га сівозмінної площі становив 84, фосфору – 38, калію – 106 кг (рис. 6.6).

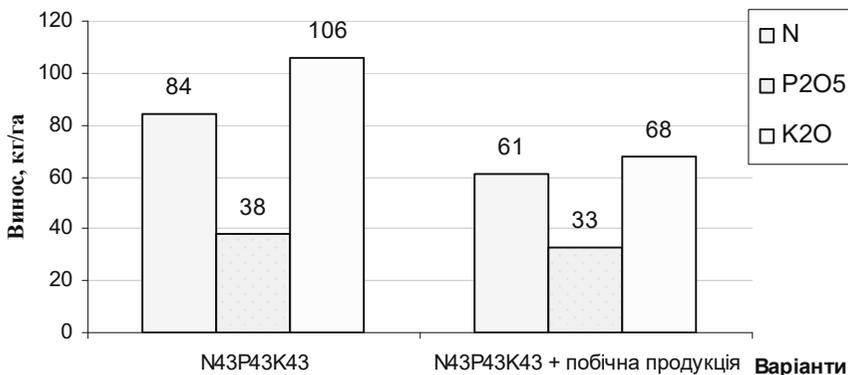


Рис. 6.6 Винос елементів живлення на 1 га плодозмінної сівозміни (16,7% просапних, 33% бобових) за різних систем удобрення, БЦДСС, 2006-2012 рр.

Внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) у плодозмінній сівозміні передбачало застосування на добриво гички буряків цукрових та соломи пшениці озимої у двох полях. Внаслідок заорювання на добриво побічної продукції винос елементів живлення з ґрунту порівняно з мінеральною системою зменшився за азотом на 23 кг/га, фосфором – на 5, калієм – на 38 кг/га сівозмінної площі, або на 27%, 13% та 36%.

У чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому зменшення біогенного навантаження на ґрунт вивчали у ланці горох-пшениця озима-буряки цукрові (просапних 33%, бобових 33%) за застосування на добриво зеленої маси гірчиці білої та її поєднання з побічною продукцією.

Культури горох та пшениця озима в основній продукції найбільше містили азоту та фосфору. Вміст азоту в зерні гороху становив 3,28%, фосфору – 0,98%, пшениці озимої – відповідно 2,40% та 0,80%. Побічна продукція пшениці озимої відзначалась високим вмістом калію – 1,21%, що перевищувало його вміст у складі соломи у 2 рази. Буряки цукрові більше елементів живлення накопичували у вегетативній масі: азоту – 2,24%, фосфору – 0,53%, калію – 2,63%, тоді як в коренеплодах їх вміст зменшувався відповідно у 2,5, 1,7 та 2,8 рази (табл. 6.3).

Таблиця 6.3 Вміст елементів живлення в складових урожаю культур ланки сівозміни з горохом за біологізації системи удобрення, УЛДСС, 2007-2010 рр.

№ п/п	Культура	Органи рослин	Суша речовина, %	Вміст в сухій речовині, %		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Горох	зерно	85,5	3,28	0,98	1,55
		солома	85,2	0,98	0,26	1,41
2	Пшениця озима	зерно	85,4	2,40	0,80	0,55
		солома	85,2	0,55	0,20	1,21
3	Буряки цукрові	коренеплоди	22,1	0,89	0,31	0,95
		гичка	15,2	2,24	0,53	2,63

Заорювання побічної продукції на фоні внесення мінеральних добрив і сидерату (N₅₀P₂₀K₃₀ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни) зменшило порівняно з мінеральною системою удобрення винос елементів живлення з ґрунту за сумою NPK під буряками цукровими – у 1,78 рази, пшеницею озимою – у 1,30, горохом – у 1,38 рази (рис. 6.7).

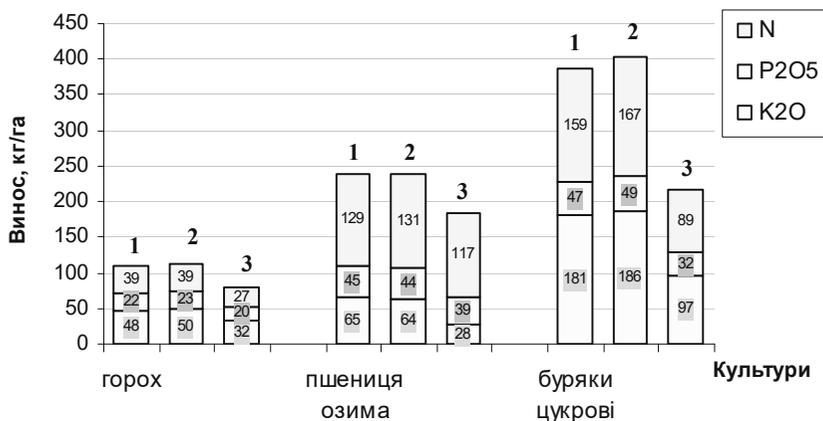


Рис. 6.7 Винос елементів живлення культурами ланки сівозміни за різних систем удобрення, УЛДСС, 2007-2010 рр.

- 1 – мінеральна система удобрення;
- 2 – органо-мінеральна система удобрення на основі сидерату;
- 3 – органо-мінеральна система удобрення на основі сидерату і побічної продукції.

Вирощування пшениці озимої за біологізації системи удобрення супроводжувалось виносом з ґрунту переважно азоту (117 кг/га) на фоні значно меншого виводу фосфору (39 кг/га) та калію (28 кг/га); буряків цукрових – переважно азоту (89 кг/га) і калію (97 кг/га) та значно меншого виводу фосфору (32 кг/га). Вирощування гороху супроводжувалось виносом азоту – 27 кг/га, фосфору – 20 кг/га, калію – 32 кг/га.

За мінеральної системи удобрення (N₅₀P₂₀K₃₀ на 1 га ланки сівозміни) винос азоту із ґрунту становив 109 кг/га, фосфору – 38 кг/га, калію – 98 кг/га ланки сівозміни (рис. 6.8).

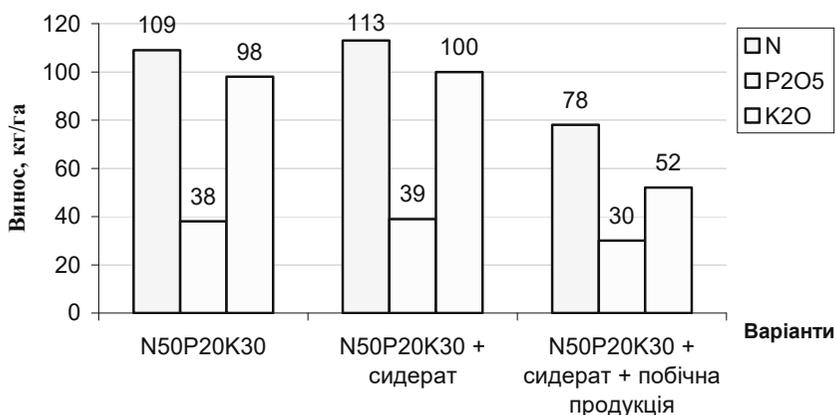


Рис. 6.8 Винос елементів живлення на 1 га ланки сівозміни з горохом за різних систем удобрення, УЛДСС, 2007-2010 рр.

Істотне зменшення хімічного навантаження на ґрунт спостерігали за внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції культур (N₅₀P₂₀K₃₀ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни). Біологізація системи удобрення зменшила винос елементів живлення із ґрунту порівняно з мінеральною системою удобрення у середньому по ланці сівозміни: азоту – на 31 кг/га, фосфору – на 8 кг/га, калію – на 46 кг/га, або відповідно на 28%, 21% та 47%.

Отже, застосування побічної продукції істотно зменшувало рівень біогенного навантаження на ґрунт в усіх типах зерно-бурякової сівозміни. За біологізації систем удобрення винос елементів живлення

з ґрунту за сумою NPK порівняно з мінеральною системою зменшувався у зерно-бурякових сівозмінах під буряками цукровими у 1,65-2,17 рази, пшеницею озимою – у 1,30-1,98, кукурудзою на зерно – у 1,95, горохом – у 1,23-1,52 рази. При цьому буряки цукрові, кукурудза на зерно, пшениця озима створювали менше хімічне навантаження на ґрунт, ніж кормові культури. Буряки цукрові виноси з ґрунту переважно азот і калій, кукурудза на зерно та пшениця озима – переважно азот.

Вивчення рециркуляції елементів живлення в різних типах зерно-бурякової сівозміни показало, що найменші показники повторного використання елементів живлення спостерігали у плодозмінній сівозміні з низькою часткою буряків цукрових та високою кормових бобових культур. За структури сівозміни просапних 16,7%, зернових 50%, бобових 33% рівень рециркуляції азоту у середньому по сівозміні становив 19% від господарського виносу, фосфору – 18%, калію – 34% (рис. 6.9).

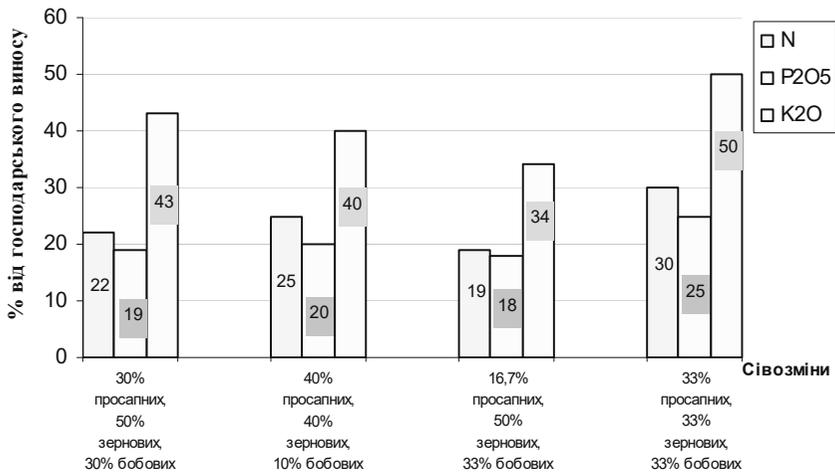


Рис. 6.9 Рециркуляція елементів живлення в зерно-бурякових сівозмінах за застосування на добриво побічної продукції

Збільшення частки буряків цукрових та зменшення кормових культур підвищувало рівень рециркуляції елементів живлення у зерно-буряковій сівозміні. За структури сівозміни просапних 30%,

зернових 50%, бобових 30% (в т.ч. 20% бобові кормові культури) рівень рециркуляції елементів живлення у середньому по сівозміні підвищився порівняно з сівозміною просапних 16,7%, зернових 50%, бобових 33% по азоту на 3%, фосфору – на 1%, калію – на 9% і становив відповідно – 22%, 19% та 43%.

Найбільший рівень рециркуляції елементів живлення визначено у ланці горох-пшениця озима-буряки цукрові, де на добриво заорювали побічну продукцію усіх культур. За структури ланки сівозміні просапних 33%, зернових 33%, бобових 33% рівень рециркуляції азоту становив 30%, фосфору – 25%, калію – 50%.

Отже, зменшення у зерно-буряковій сівозміні частки кормових культур (кукурудзи на силос, конюшини, вико-вівса) за біологізації систем удобрення підвищує рівень рециркуляції елементів живлення та послаблює хімічне навантаження на ґрунт. У ланці горох-пшениця озима-буряки цукрові, де заорювали побічну продукцію усіх культур, хімічне навантаження на ґрунт за внесення мінеральних добрив і побічної продукції порівняно з мінеральною системою удобрення зменшувалось помітніше – у 1,48 рази, а плодозмінній сівозміні з часткою кормових культур 33% найменше – у 1,32 рази.

6.2 Використання елементів живлення культурами

6.2.1 Коефіцієнти використання поживних речовин із ґрунту

У процесі формування врожаю значну кількість елементів живлення сільськогосподарські культури використовують із ґрунту. Коефіцієнти використання поживних речовин із ґрунту можуть змінюватись не тільки в силу біологічних особливостей культур, але і внаслідок зміни ґрунтової родючості, погодних умов, рівня агротехніки та ін. Це утруднює їх використання за визначення розрахункових доз добрив [61].

Урожайність сільськогосподарських культур за останні роки засвідчує стрімку тенденцію зростання на фоні низьких доз застосування мінеральних добрив (45-50 кг д.р./га ріллі за сумою NPK) і практично відсутності внесення гною (0,6-1,0 т/га ріллі) [298, 462]. Запровадження високопродуктивних сортів і гібридів культур, модернізація існуючих технологій дозволили досягти високих рівнів продуктивності культур за рахунок вичерпування ресурсів ґрунту. Це є свідченням того, що новітні сорти і гібриди за сучасного технологічного забезпечення здатні інтенсивніше засвоювати поживні

речовини із ґрунту.

За нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому (середня забезпеченість рухомим фосфором) коефіцієнти використання азоту із ґрунту культурами сівозміни становили 27,8-36,4%, фосфору – 8,6-14,6%, калію – 18,1-39,6%. За даними Б.С. Носка [218], Б.С. Носка, М.В. Лісового, В.М. Столяра [223] на чорноземних ґрунтах коефіцієнти використання фосфору становлять 10-15%, калію – 12-30%.

Інтенсивно використовували елементи живлення із ґрунту пшениця озима, кукурудза на зерно, буряки цукрові. Коефіцієнти використання фосфору із ґрунту пшеницею озимою становили 12,6-14,1%, кукурудзою на зерно – 14,6, буряками цукровими – 10,2-12,1%; калію – відповідно 20,5-21,0%, 32,2% та 32,5-39,6%. Порівняно з рекомендованими коефіцієнти використання фосфору пшеницею озимою були вищими на 2,6-4,1%, кукурудзою на зерно – на 4,6%, буряками цукрові – на 0,2-2,1%; калію відповідно – на 8,5-9,0, 7,2 та 2,5-9,6%.

На чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому (підвищена забезпеченість рухомим фосфором) у зерно-просапній сівозміні (третя ротація) використання азоту і калію зберігалось в межах середнього та високого рівнів – 15,3-31,5% і 25,5-43,7%, тоді як фосфору виявлено досить низьким – 2,7-9,5%. Найінтенсивніше елементи живлення із ґрунту виносила кукурудза на зелений корм: коефіцієнти використання азоту становили – 31,5%, фосфору – 9,5%, калію – 42,6%; пшеницею озимою було менш інтенсивним – коефіцієнти використання азоту становили 23,3-27,7%, фосфору – 8-9,1%, калію – 25,5-29,2%. Буряки цукрові інтенсивніше використовували калій із ґрунту – 26,9-43,7%, на фоні низьких коефіцієнтів використання азоту і фосфору – відповідно 15,3-21,1% та 2,7-4,6%.

У трансформованій плодозмінній сівозміні (четверта ротація) пшениця озима інтенсивніше використовувала із ґрунту калій. Коефіцієнти його використання із ґрунту становили 34,4-37,1%, тоді як азоту і фосфору зберігались на рівні зерно-просапної сівозміни – відповідно 23,6-25,0% та 8,1-8,7%. Буряки цукрові зберігали коефіцієнти використання азоту в межах 18,1%, фосфору – 4,6%, калію – 43,7%.

За достатнього зволоження на чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому (забезпеченість рухомим фосфором підвищена та калієм середня) буряки цукрові найінтенсивніше використовували калій ґрунту. Коефіцієнт використання із ґрунту азоту буряками цукровими становив 28,0%, фосфору – 8,2%, калію – 52,9%.

Пшениця озима зберігала коефіцієнти використання азоту в межах 28,2%, фосфору – 9,7%, калію – 24,6%.

Отже, за сучасних технологій вирощування культури зернобурякової сівозміни використовували елементи живлення із ґрунту інтенсивніше. На ґрунтах із середнім рівнем забезпечення фосфором і підвищеним калієм коефіцієнти використання фосфору порівняно з загальноприйнятими нормами зростали на 2,4-4,6%, калію – 2,5-9,6%. За підвищеного рівня забезпечення ґрунту фосфором вони істотно знижувались і коливались у межах 4,6-9,1%.

6.2.2 Коефіцієнти використання поживних речовин із мінеральних добрив

Використання елементів живлення із мінеральних добрив вважається стабільнішим, ніж із ґрунту. Інтенсивність засвоєння поживних речовин із мінеральних добрив залежить від біологічних особливостей культур, ґрунтового-кліматичних умов, доз, форм та способів застосування добрив. За даними К.Л. Загорча [96], А.П. Лісовала [177] коефіцієнти використання поживних речовин із мінеральних добрив зменшуються за підвищених доз добрив, підвищення вмісту елементів живлення у ґрунті, підвищення кислотності ґрунтового розчину, за розкидного способу внесення добрив порівняно з локальним та ін.

Визначають коефіцієнти використання елементів живлення із добрив найчастіше за відношенням виносу елементів живлення приростом врожаю, отриманою від застосування добрив, до кількості елементів живлення внесених з добривами.

За нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому за дози внесення добрив $N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозмінної площі коефіцієнти використання елементів живлення із добрив у прямій дії в середньому за ротацію сівозміни становили: азоту – 24,2%, фосфору – 9,3%, калію – 21,8% (післядію добрив не враховано).

На фоні підвищеного використання елементів живлення із ґрунту культури сівозміни використовували поживні елементи із добрив у менших кількостях від загально прийнятих величин. За дози внесення мінеральних добрив під пшеницю озиму $N_{60}P_{50}K_{60}$ використання азоту із добрив по ланках сівозміни становило 31,8-50,8%, фосфору – 12,8-22,8%, калію – 23,2-45,7%. Причиною низької інтенсивності використання елементів живлення із добрив було запровад-

ження високопродуктивних сортів та адаптація агротехнологій до інтенсивнішого використання природної родючості ґрунту, що за безпечило високий рівень урожайності культур у контролі без застосування добрив.

За зазначених причин коефіцієнти використання азоту буряками цукровими за ланками сівозміни становили 30,3-43,4%, фосфору – 10,5-15,6%, калію – 31,1-43,9%; кукурудзою на зерно – відповідно 27,7, 10,7 та 31,3%.

Отже, сучасні технології вирощування культур на ґрунтах з високим потенціалом ґрунтової родючості можуть супроводжуватись зниженням коефіцієнтів використання елементів живлення із мінеральних добрив. За цих умов підвищення ефективності застосування мінеральних добрив повинно лежати в площині оптимізації форм та способів їх застосування. Подальше зменшення дози внесення мінеральних добрив є достатньо суперечливим, оскільки призведе до зростання дефіциту елементів живлення у ґрунті і обумовить подальше біогенне розбалансування агроєкосистем.

Тривалі дослідження на чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому показали, що впродовж третьої ротації культури зерно-просапної сівозміни досить інтенсивно використовували елементи живлення із мінеральних добрив. За дози внесення $N_{50}P_{66}K_{66}$ на 1 га сівозмінної площі коефіцієнти використання елементів живлення із добрив в середньому за ротацію сівозміни становили: азоту – 65,1%, фосфору – 19,0%, калію – 60,2%. При цьому буряки цукрові за ланками сівозміни із добрив використовували азоту 87,2-92,1%, фосфору – 19,8-24,2%, калію – 85,3-95,4%; пшениця озима – відповідно 67,0-86,8%, 15,0-27,7% та 44,5-57,3%. Кукурудза на зелений корм інтенсивніше використовувала калій добрив: коефіцієнт використання азоту із добрив – 64,0%, фосфору – 23,8%, калію – 90,0%.

У трансформованій плодозмінній сівозмінній (четверта ротація) за дози внесення $N_{43}P_{43}K_{43}$ на 1 га сівозмінної площі коефіцієнти використання елементів живлення із добрив у середньому за ротацію становили: азоту – 31,7%, фосфору – 16,5%, калію – 40,7%. Буряки цукрові із добрив використовували азоту 67,7%, фосфору – 26,9%, калію – 72,6%; пшениця озима по ланках сівозміни – відповідно 60,2-61,5%, 23,7-24,5% та 46,7-57,8%.

Висока інтенсивність використання поживних речовин із мінеральних добрив пов'язана зі значним падінням родючості ґрунту

у контрольному варіанті (без добрив), що призвело до різкого зниження врожайності культур по відношенню до варіантів з внесенням мінеральних добрив. Дослідження П.М. Шияна, В.М. Бондаренко [360] з використанням стабільного ізотопу ^{15}N свідчать, що за дози внесення азотних добрив 200 кг/га під буряки цукрові рослини використовували переважно азот ґрунту, а частка азоту добрив у загальному виносі рослинами становила не більше 30-40%. Це дає підстави стверджувати, що у тривалих стаціонарних дослідах при визначенні коефіцієнтів використання елементів живлення із мінеральних добрив метод різниці може давати завищені показники. А тому оптимальнішим при визначенні зазначених коефіцієнтів буде проведення тимчасових польових дослідів, де фактор падіння родючості ґрунту є незначним.

В умовах достатнього зволоження на чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому у ланці сівозміни з горохом мінеральні добрива вносили переважно під буряки цукрові. За дози внесення $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ буряки цукрові використовували азоту добрив на 56,4%, фосфору – 26,2%, калію – 68,3%, що відповідає загальноприйнятим показникам.

Отже, коефіцієнти використання елементів живлення із мінеральних добрив є досить мінливий показник, який залежить від сортів та гібридів, технології вирощування культур, рівня родючості ґрунту, стабільності показника родючості у часі, тощо.

6.2.3 Коефіцієнти використання поживних речовин із побічної продукції попередника

За біологізації систем удобрення у ґрунт як органічне добриво заробляється побічна продукція, яка служить джерелом поживних речовин для сільськогосподарських культур. Використання рослинами елементів живлення з побічної продукції залежить від її хімічного складу, інтенсивності мінералізації, ґрунтово-кліматичних умов та фізіологічних особливостей культур [248, 385, 442].

Коефіцієнти використання елементів живлення з побічної продукції, переважно, азоту, фосфору і калію, необхідні для розрахунку доз мінеральних добрив під планову врожайність культур та розроблення науково-обґрунтованої системи удобрення сівозмін за біологізації.

Розповсюдженим методом розрахунку коефіцієнтів викорис-

тання елементів живлення з мінеральних добрив є відношення виносу елементів живлення приростом врожаю та дози їх внесення. За біологізації системи удобрення елементи живлення вносять у ґрунт як складову побічної продукції, тому коефіцієнти використання розраховують за відношенням виносу елементів живлення приростом врожаю отриманого від використання на добриво побічної продукції до кількості елементів живлення, яка надійшла в ґрунт у складі побічної продукції попередника.

В умовах нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому у ґрунт з побічною продукцією надходило азоту – 23,2-76,2, фосфору – 5,3-18,8, калію – 32,6-101 кг/га. Найбільше збагачували ґрунт елементами живлення гичка буряків цукрових і стебла кукурудзи на зерно: азоту надходило відповідно 63,7-76,2 і 49,3, фосфору – 15,7-18,8 і 15,0, калію – 80,9-96,8 і 101 кг/га. Найменше елементів живлення надходило у ґрунт за застосування соломи гороху: азоту – 23,2, фосфору – 5,3, калію – 32,6 кг д.р./га (табл. 6.4).

Таблиця 6.4 Коефіцієнти використання елементів живлення з побічної продукції, ВДСС, 1998-2009

№ п/п	Культура	Надійшло у ґрунт від попередника, кг/га			Внесено приростом врожаю, кг/га			Коефіцієнти використання, %		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Ячмінь ярий	63,7	15,7	80,9	13,4	5,6	9,9	21,0	35,7	12,2
2	Конюшина	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Пшениця озима	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Буряки цукрові	33,2	10,4	64,4	7,1	2,0	8,6	21,4	19,2	13,4
5	Горох	76,2	18,8	96,8	6,1	1,5	6,1	8,0	8,0	6,3
6	Пшениця озима	23,2	5,3	32,6	3,8	0,7	5,4	16,3	13,2	16,6
7	Кукурудза на зерно	40,0	12,5	76,6	3,9	0,8	4,5	9,8	6,4	5,9
8	Вико-овес	49,3	15,0	101	6,0	1,7	6,0	12,2	11,3	5,9
9	Пшениця озима	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Буряки цукрові	36,2	11,4	70,3	5,8	1,5	7,7	16,0	13,2	11,0

Заробляння на добриво соломи пшениці озимої забезпечило надходження у ґрунт азоту – 33,2-40,0, фосфору – 10,4-12,5, калію – 64,4-76,6 кг д.р./га. Найбільше елементів живлення у ґрунт надходило з соломою пшениці озимої за вирощування її по попереднику гороху.

Коефіцієнти використання елементів живлення з побічної продукції буряками цукровими та ячменем ярим визначено найвищими. Буряки цукрові із соломи пшениці озимої використовували азот у кількості – 16,0-21,4, фосфор – 13,2-19,2, калій – 11,0-13,4%; ячмінь ярий з гички буряків цукрових – відповідно 21,0, 35,7 та 12,2%. Горох і кукурудза на зерно відзначались низькими коефіцієнтами використання елементів живлення з рослинних решток. Горох з гички буряків цукрових використовував азоту – 8,0, фосфору – 8,0, калію – 6,3; кукурудза на зерно з соломи пшениці озимої – відповідно 9,8, 6,4 та 5,9%.

На чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому у зерно-просапній сівозміні (просапних 40%, бобових 10%) коефіцієнти використання елементів живлення з побічної продукції становили: азоту – 5,3-28,5%, фосфору – 8,7-35,8%, калію – 4,6-20,5%. Найінтенсивніше засвоювали елементи живлення буряки цукрові з соломи пшениці озимої: коефіцієнти використання азоту – 13,0-28,5%, фосфору – 19,0-35,8%, калію – 10,2-20,5% (табл. 6.5).

У ланці сівозміни з кукурудзою на зелений корм буряки цукрові використовували елементи живлення з соломи пшениці озимої у 1,9-3,1 рази інтенсивніше, ніж у ланці з редькою олійною та 1,3-2,3 рази інтенсивніше, ніж у ланці з горохом. Низькі коефіцієнти використання елементів живлення з побічної продукції мали горох та пшениця озима. Горох з гички буряків цукрових використовував азоту – 5,3%, фосфору – 8,7%, калію – 4,6%; пшениця озима з соломи гороху – відповідно 13,6%, 16,3% та 11,6%.

У плодозмінній сівозміні (просапних 16,7%, бобових 33%) коефіцієнти використання буряками цукровими з соломи пшениці озимої становили азоту – 26,3%, фосфору – 16,2%, калію – 15,1%; вівсом – відповідно 20,5%, 14,8% та 19,9%. Використання елементів живлення ячменем ярим із гички буряків цукрових становило: азоту – 25,1%, фосфору – 34,7%, калію – 15,3% (табл. 6.6).

За достатнього зволоження на чорноземі вилугуваному коефіцієнти використання азоту буряками цукровими з соломи пшениці озимої порівняно з умовами нестійкого зволоження підвищились у 1,3-2,4, фосфору – у 1,1-2,9, калію – у 1,3-2,7 рази і становили відповідно 37,6%, 39,1% та 26,7% (табл. 6.7).

Таблиця 6.5 Коефіцієнти використання елементів живлення з побічної продукції у зерно-просапній сівозміні, БЦДСС, 1996–2006 рр.

№ п/п	Культура	Надійшло у ґрунт з побічною продукцією попередника, кг/га				Винесено приростом врожаю, кг/га				Коефіцієнти використання, %		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Редька олійна	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Пшениця озима	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Буряки цукрові	22,4	7,9	48,2	2,9	1,5	4,9	13,0	19,0	10,2		
4	Горох	85,4	18,9	99,2	4,5	1,6	4,6	5,3	8,7	4,6		
5	Пшениця озима	35,2	10,4	44,7	4,8	1,7	5,2	13,6	16,3	11,6		
6	Буряки цукрові	26,3	8,7	52,9	4,5	2,4	7,6	17,8	27,6	14,4		
7	Кукурудза за з/к	60,7	12,8	76,2	6,0	3,8	7,0	9,9	29,7	9,2		
8	Пшениця озима	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Буряки цукрові	27,0	9,5	57,6	7,7	3,4	11,8	28,5	35,8	20,5		
10	Ячмінь ярий	88,1	20,7	111	8,8	3,8	8,5	10,0	18,7	7,7		

Таблиця 6.6 Коефіцієнти використання елементів живлення з побічної продукції у плодозмінній сівозміні, БЦДСС, 2006–2012 рр.

№ п/п	Культура	Надійшло у ґрунт з побічною продукцією попередника, кг/га			Внесено приростом врожаю, кг/га			Коефіцієнти використання, %		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Вико-овес	43,9	14,9	65,2	9,0	2,2	13,0	20,5	14,8	19,9
2	Пшениця озима	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Буяки цукрові	33,5	11,1	64,9	8,8	1,8	9,8	26,3	16,2	15,1
4	Ячмінь ярий	58,9	14,7	74,8	14,8	5,1	11,5	25,1	34,7	15,3
5	Конюшина	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Пшениця озима	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблиця 6.7 Коефіцієнти використання елементів живлення з побічної продукції, УЛДСС, 2007–2010 рр.

№ п/п	Культура	Надійшло у ґрунт з побічною продукцією попередника, кг/га			Внесено приростом врожаю, кг/га			Коефіцієнти використання, %		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Горox	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Пшениця озима	13,2	3,5	18,8	3,7	1,3	3,3	28,0	37,1	17,0
3	Буяки цукрові	17,8	6,4	39,4	6,7	2,5	10,5	37,6	39,1	26,7

Пшениця озима за достатнього зволоження порівняно з нестійким зволоженням використовувала азот із соломи гороху інтенсивніше у 1,7-2,1, фосфор – у 2,3-2,8, калій – у 1,1-1,5 рази, за коефіцієнтів використання – відповідно 28,0%, 37,1% та 17,0%.

Отже, використання елементів живлення з побічної продукції залежало від виду побічної продукції, сільськогосподарських культур та умов зволоження. Інтенсивніше використовували елементи живлення з побічної продукції ячмінь ярий та буряки цукрові, зі зростанням зволоження інтенсивність використання елементів живлення підвищувалась.

6.3 Трансформація рослинних решток у ґрунті

6.3.1 Динаміка нітратного азоту за застосування побічної продукції

За застосування на добриво побічної продукції значна частина елементів живлення залучається в систему удобрення культур у вигляді органічної речовини рослинних решток. Доступність цього ресурсу біогенних елементів сільськогосподарським культурам залежить від інтенсивності мінералізації рослинних решток у ґрунті [150, 289, 328].

На думку Ю.О. Тараріко [293], D.B. Beegle, O.T. Carton, J.S. Bailey [386] регулювання процесу мінералізації побічної продукції є одним із чинників формування поживного середовища у ґрунті та створення сприятливих умов мінерального живлення рослин. Інтенсивність мінералізації побічної продукції помітно залежить від формування вуглецево-азотного співвідношення [150].

Ряд вітчизняних та зарубіжних вчених вважають, що незбалансоване вуглецево-азотне співвідношення може прискорити чи уповільнити в часі процес мінералізації рослинних решток, тим самим створити сприятливе для рослин азотне живлення або викликати дефіцит азоту обумовлений процесами його іммобілізації у ґрунті [293, 453]. Дослідження, які проводили у США показали, що заробляння в ґрунт побічної продукції рослинництва супроводжувалось стрімким зростанням чисельності бактеріальної і грибнової мікрофлори. За співвідношення C:N більше 25-30:1 ґрунтові мікроорганізми починали інтенсивно поглинати азот ґрунтового розчину, в результаті уповільнювались процеси нітрифікації і в ґрунті різко зменшувалась концентрація нітратного азоту. Це явище було

названо депресивним періодом утворення нітратного азоту у ґрунті. Тривав такий період від кількох тижнів до кількох місяців і навіть більше року, доки ґрунтова мікрофлора не починала відмирати [453].

Зменшення вмісту нітратного азоту в ґрунті за поєднання внесення мінеральних добрив і соломи відмічалось в дослідженнях Я.П. Цвея, В.П. Карачки, О.Т. Петрової [332]. Заробляння під буряки цукрові мінеральних добрив ($N_{80}P_{100}K_{100}$) на фоні 5 т/га соломи порівняно з мінеральною системою удобрення зменшувало вміст нітратного азоту в ґрунті на період сходів цукрових буряків з 14,3 до 11,5 мг/кг ґрунту. У середині вегетації попри інтенсивне засвоєння азоту рослинами його кількість у ґрунті за альтернативної органо-мінеральної системи удобрення була вищою, що пов'язано з посиленою мінералізацією органічних добрив в цей період.

Дослідження D.S. Jenkinson, A.E. Johnson [431], проведені на Ротамстедській дослідній станції свідчать, що застосування соломи на добриво потребує внесення компенсаційної дози азотних добрив. Додаткове внесення азоту забезпечувало кращі умови мінералізації соломи, сприяло швидкому вивільненню біогенних елементів у ґрунтовий розчин та ефективному засвоєнню їх рослинами.

Про ефективність внесення компенсаційного азотного удобрення за використання на добриво побічної продукції зернових культур відмічалось в дослідженнях В.І. Канівця, С.М. Черствого [150], В.С. Снігового [278], О.В. Ступенка [285], М.К. Шикולי, А.Д. Балаєва, О.В. Демиденка [355]. В дослідженнях з ^{15}N О.В. Ступенко [285] установив, що поєднання внесення соломи пшениці озимої і мінеральних добрив зменшувало порівняно з мінеральною системою удобрення використання рослинами азоту добрив на 3-10%.

Дослідження Ю.О. Тараріка [293] свідчать, що інтенсивність мінералізації побічної продукції залежала не тільки від співвідношення C:N, але й хімічного складу рослинних решток. Збільшення частки лігніну і фенольних сполук у складі рослинних рештках істотно уповільнило процес їх мінералізації.

Вивчення впливу вуглецево-азотного співвідношення на формування нітратного режиму ґрунту в процесі мінералізації рослинних решток нами проведено у лабораторному (модельному) досліді Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків з соломом пшениці озимої та гороху, стеблами кукурудзи, гичкою буряків цукрових та зеленою масою гірчиці білої. Побічну продукцію змішували з 15 кг ґрунту і компостували на фоні різних доз

компенсаційного азотного удобрення впродовж 12 місяців за кімнатної температури і вологості ґрунту 75% НВ. Рослинні рештки заробляли в ґрунт у вуглецевому еквіваленті – 4000 мг/кг ґрунту, азот добрив вносили в одинарній нормі – 50, потрійній – 150, семерній – 350 мг/кг ґрунту. Схемою досліджень передбачено вивчення співвідношення С:N для соломи пшениці озимої в діапазоні 80-10:1, стебел кукурудзи – 57-10:1, соломи гороху – 44-9:1, гички буряків цукрових – 18-7:1, сидерату гірчиці білої – 15-6:1. З азотних добрив використовували амонійну селітру.

Застосування на добриво соломи пшениці озимої показало, що без компенсаційного удобрення (С:N=80:1) вміст нітратного азоту в ґрунті впродовж першого місяця компостування зменшився з 1,20 (початкове) до 0,21 мг/100 г ґрунту, або в 5,7 разів. Депресивний період в утворенні нітратного азоту ґрунту помітніше проявлявся впродовж перших трьох місяців. В подальшому вміст нітратного азоту у ґрунті поступово підвищувався: на кінець першого півріччя – до 0,46, кінець року – 1,12 мг/100 г ґрунту. Компостування соломи пшениці озимої без компенсаційного азотного удобрення на кінець року відновлювало вміст нітратного азоту у ґрунті до початкового рівня.

З метою прогнозування динаміки вмісту нітратного азоту у ґрунті для окремо взятих співвідношень С:N за внесення на добриво соломи пшениці озимої побудовано математичні моделі. Для розроблення моделей застосовували метод криволінійного регресійного аналізу, який дозволив отримати поліноми другого або третього порядку, залежно від характеру розміщення експериментальних точок на факторіальному просторі (рис. 6.10).

Розрахунки проводили за допомогою програмного забезпечення Excel шляхом апроксимації експериментальних даних за допомогою тренда. Адекватність отриманих криволінійних моделей в цілому перевіряли за критерієм Фішера (F), а достовірність коефіцієнтів регресії – за критерієм Стюдента (t).

За співвідношення С:N=40:1 (застосування одинарної дози компенсаційного азотного удобрення) депресивний вплив соломи на вміст нітратного азоту у ґрунті зменшувався за абсолютними параметрами і тривалістю дії. Депресивна дія соломи проявлялась у перші три місяці і за впливом на нітратний режим ґрунту була не досить значною.

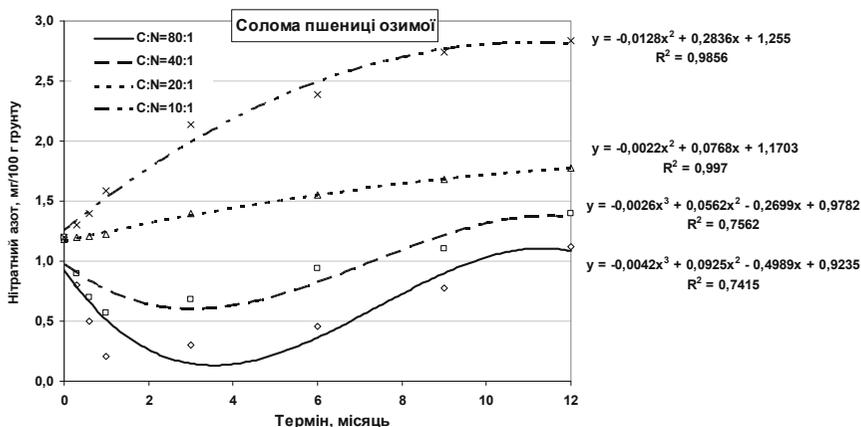


Рис. 6.10 Залежність між динамікою нітратного азоту ґрунту та C:N за компостування соломи пшениці озимої, ІБКіЦБ, 2011-2013 рр.

Вміст нітратного азоту у ґрунті впродовж усього періоду компостування мав стійку динаміку зростання за формування співвідношення C:N=20:1 та 10:1 (потрійна та семерна доза компенсаційного азотного удобрення). На кінець року вміст нітратного азоту у ґрунті підвищився порівняно з вихідним за співвідношення C:N=20:1 – у 1,5 рази, C:N=10:1 – 2,4 рази.

Порівняння регресійних моделей динаміки нітратного азоту у ґрунті за застосування на добриво соломи пшениці озимої свідчить, що формування співвідношення C:N близько 30:1 здатне нівелювати депресивний вплив побічної продукції на вміст нітратного азоту у ґрунті.

Стебла кукурудзи за компостування мали триваліший депресивний вплив на динаміку нітратного азоту ґрунту, ніж солома пшениці озимої. Математичні моделі прогнозування динаміки вмісту нітратного азоту у ґрунті для окремо взятих співвідношень C:N розроблені шляхом регресійного аналізу свідчать, що за застосування на добриво стебел кукурудзи (C:N=57:1) вміст нітратного азоту в ґрунті максимально зменшувався по завершенню шести місяців компостування з 1,21 до 0,36 мг/100 г ґрунту, або у 3,4 рази. Надалі нітратний азот ґрунту динамічно зростав, однак на кінець року його вміст залишався меншим від вихідного і становив 0,95 мг/100 г

грунту. Це є свідченням тривалішої у часі трансформації органічної речовини стебел кукурудзи порівняно з соломою пшениці озимої, що може бути наслідком підвищеного вмісту в ній стійких до розкладу сполук лігніну та фенолів (рис. 6.11).

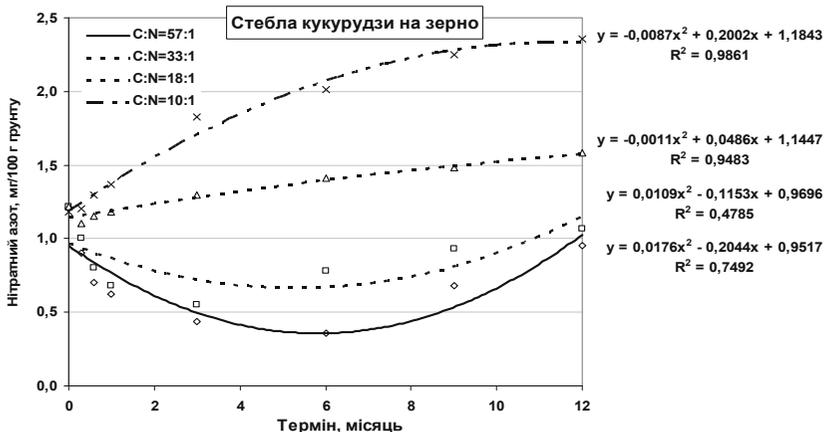


Рис. 6.11 Залежність між динамікою нітратного азоту ґрунту та C:N за компостування стебел кукурудзи на зерно, ІБКіЦБ, 2011-2013 рр.

Зменшення вмісту нітратного азоту ґрунту до початкового виявлено за одинарної дози компенсаційного азотного удобрення (співвідношення C:N=33:1). Депресивний вплив стебел кукурудзи на нітратний режим ґрунту при цьому був значно коротшим і не перевищував шести місяців.

Формування співвідношення C:N= 18:1 або 10:1 (потрійна та семерна доза компенсаційного азотного удобрення) забезпечувало зростання вмісту нітратного азоту ґрунту впродовж усього періоду компостування стебел кукурудзи, що за біологізації системи удобрення сприяло покращенню азотного живлення культур.

Порівняння регресійних моделей динаміки нітратного азоту у ґрунті за внесення на добриво стебел кукурудзи свідчить, що формування співвідношення C:N близько 26:1 здатне нівелювати депресивний вплив побічної продукції на вміст нітратного азоту у ґрунті.

Солома гороху відзначалась значно вужчим вуглецево-азотним співвідношенням порівняно з побічною продукцією пшениці озимої та

кукурудзи на зерно. Математичні моделі прогнозування динаміки вмісту нітратного азоту у ґрунті для окремо взятих співвідношень С:N розроблені шляхом регресійного аналізу свідчать, що застосування соломи гороху на добриво (С:N=44:1) супроводжувалось депресивним впливом на вміст нітратного азоту ґрунту лише в перші три місяці. Його вміст у ґрунті зменшувався з 1,2 до 0,33-0,59 мг/100 г ґрунту, або у 2,0-3,6 рази. Після шести місяців компостування вміст нітратного азоту ґрунту відновлювався до початого рівня (рис. 6.12).

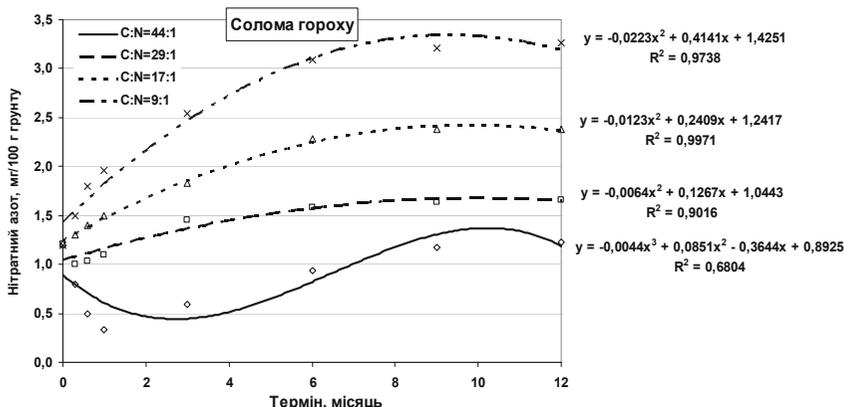


Рис. 6.12 Залежність між динамікою нітратного азоту ґрунту та С:N за компостування соломи гороху, ІБКіЦБ, 2011-2013 рр.

Формування співвідношення С:N=29:1 (одинарна доза компенсаційного азотного удобрення) за компостування соломи гороху забезпечило динаміку зростання вмісту нітратного азоту ґрунту впродовж усього періоду компостування. Подальше звуження вуглецево-азотного співвідношення до 17 або 9:1 (потрійна та семерна доза компенсаційного азотного удобрення) забезпечило інтенсивніше підвищення вмісту нітратного азоту у ґрунті впродовж компостування соломи гороху.

Порівняння регресійних моделей динаміки нітратного азоту у ґрунті за застосування на добриво соломи гороху свідчить, що формування співвідношення С:N близько 23:1 здатне нівелювати депресивний вплив побічної продукції на вміст нітратного азоту у ґрунті.

Гичка буряків цукрових і зелена маса гірчиці білої відзначались вузьким вуглецево-азотним співвідношенням – відповідно C:N=18:1 та 15:1. Процес їх трансформації у ґрунті супроводжується зростанням вмісту нітратного азоту ґрунту впродовж усього періоду компостування. Математичні моделі прогнозування динаміки вмісту нітратного азоту у ґрунті для окремо взятих співвідношень C:N розроблені шляхом регресійного аналізу свідчать, що компостування гички буряків цукрових та зеленої маси гірчиці білої супроводжувалося зростанням вмісту нітратного азоту ґрунту, який на кінець року підвищився порівняно з вихідним у 1,6 рази. Застосування на добриво гички буряків цукрових і зеленої маси гірчиці білої не мало депресивного впливу на вміст нітратного азоту ґрунту (рис. 6.13; 6.14).

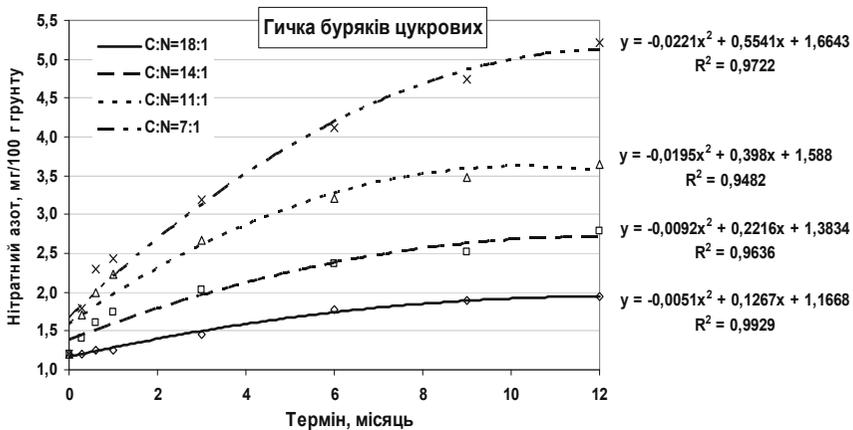


Рис. 6.13 Залежність між динамікою нітратного азоту ґрунту та C:N за компостування гички буряків цукрових, ІБКіЦБ, 2011-2013 рр.

Подальше звуження вуглецево-азотного співвідношення, яке спостерігали за внесення азотних добрив, сприяло підвищенню вмісту нітратного азоту ґрунту впродовж усього періоду компостування. Найбільше зростання вмісту нітратного азоту у ґрунті на кінець року виявлено за внесення семерної дози азотних добрив і співвідношення C:N=6-7:1. Вміст нітратного азоту у ґрунті по завершенню року компостування зріс порівняно з вихідним за використання на добриво гички буряків цукрових – у 4,4 рази, зеленої маси гірчиці білої – у 4,2 рази.

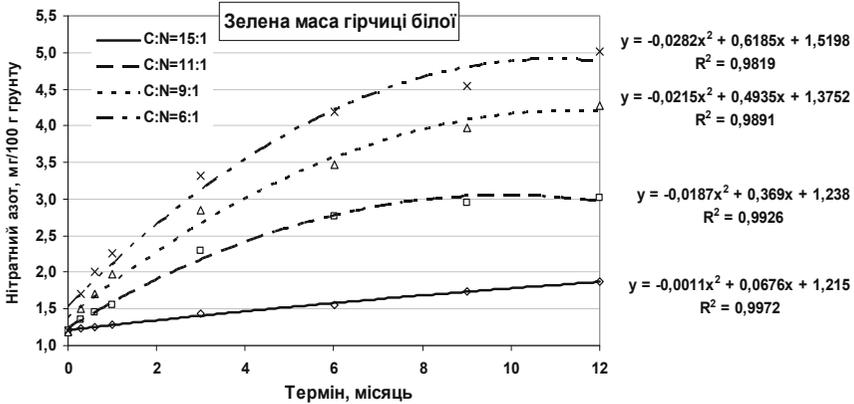


Рис. 6.14 Залежність між динамікою нітратного азоту ґрунту та C:N за компостування зеленої маси гірчиці білої, ІБКіЦБ, 2011-2013 рр.

Отже, для запобігання зменшення вмісту нітратного азоту у ґрунті і створення сприятливіших умов азотного живлення рослин компенсаційне азотне удобрення необхідно вносити за застосування на добриво побічної продукції зернових культур: соломи пшениці озимої та гороху, стебел кукурудзи на зерно. Доза внесення компенсаційного азотного удобрення повинна забезпечувати співвідношення C:N в межах 23-30:1. Подальше звуження вуглецево-азотного співвідношення формує умови швидшої мінералізації рослинних решток і забезпечує зростання вмісту нітратного азоту у ґрунті.

6.3.2 Вплив компенсаційної дози азоту на гуміфікацію рослинних решток у ґрунті

За застосування на добриво побічної продукції у ґрунт надходить значна кількість органічної речовини. Створення умов оптимальної гуміфікації рослинних решток є важливим завданням на шляху підвищення природної та ефективної родючості ґрунту.

Дослідження Ю.О. Тараріко [293] свідчать, що гуміфікація рослинних решток значно залежить від вуглецево-азотного співвідношення. За внесення соломи пшениці озимої формування співвідношення C:N в межах 20-30:1 забезпечувало найвищі коефіцієнти гуміфікації органічної речовини рослинних решток. Звуження чи розширення співвідношення зменшувало інтенсивність процесів гуміфікації.

В лабораторному (модельному) досліді Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків інтенсивність гуміфікації соломи пшениці озимої та гороху, стебел кукурудзи на зерно, гички буряків цукрових та зеленої маси гірчиці білої вивчали залежно від компенсаційної дози азотного удобрення.

Результати досліджень дозволили встановити тісний взаємозв'язок між співвідношенням С:N за компостування побічної продукції і коефіцієнтами гуміфікації. З метою оптимізації відношення С:N, що забезпечить максимальний коефіцієнт гуміфікації побічної продукції у ґрунті побудовано криволінійні математичні моделі з використанням поліному другого порядку (рис. 6.15).

Оптимальні значення С:N визначали шляхом аналізу отриманих поліномів методом диференційного числення. Зокрема за застосування на добриво соломи пшениці озимої залежність коефіцієнта гуміфікації від відношення С:N описується рівнянням:

$$Y = -0,0036 \cdot x^2 + 0,2737 \cdot x + 15,833$$

Проаналізувавши це рівняння методом диференційного числення знаходимо точку оптимуму:

$$Y' = (-0,0036 \cdot x^2 + 0,2737 \cdot x + 15,833)' = -2 \cdot 0,0036 \cdot x + 0,2737$$

Прирівнявши до нуля отриману похідну та розв'язавши рівняння відносно "x" знаходимо оптимальне співвідношення С:N:

$$-2 \cdot 0,0036 \cdot x + 0,2737 = 0$$

$$X = 0,2737 : 0,008 = 32,2$$

За такого вуглецево-азотного співвідношення коефіцієнт гуміфікації у ґрунті соломи пшениці озимої становитиме:

$$Y = -0,0036 \cdot (32,2)^2 + 0,2737 \cdot 32,2 + 15,833 = -3,733 + 8,814 + 15,833 = 20,9$$

За застосування на добриво стебел кукурудзи на зерно оптимальне значення С:N, що забезпечує максимальний коефіцієнт гуміфікації побічної продукції у ґрунті визначали наступним чином:

$$Y' = (-0,01 \cdot x^2 + 0,5547 \cdot x + 10,75)' = -2 \cdot 0,01 \cdot x + 0,5547$$

$$-2 \cdot 0,01 \cdot x + 0,5547 = 0$$

$$X = 0,5547 : 0,02 = 27,7, \text{ отже оптимальне } C:N = 27,7.$$

За такого вуглецево-азотного співвідношення коефіцієнт гуміфікації у ґрунті стебел кукурудзи на зерно становитиме:

$$Y = -0,01 \cdot (27,7)^2 + 0,5547 \cdot 27,7 + 10,75 = -7,673 + 15,366 + 10,75 = 18,4.$$

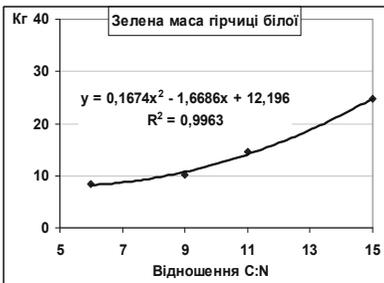
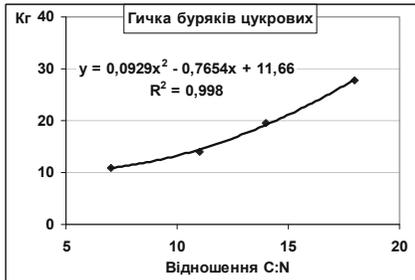
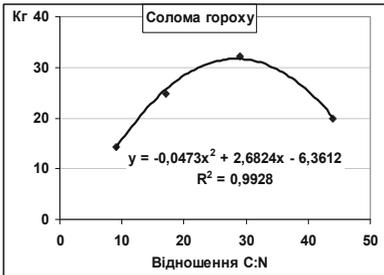
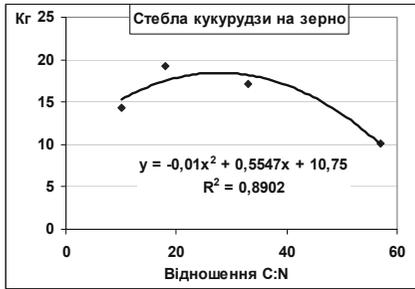
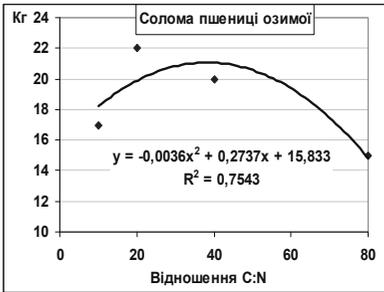


Рис. 6.15 Залежність між коефіцієнтом гуміфікації рослинних решток і С:N в лабораторних дослідях, ІБКіЦБ, 2011-2013 рр.

За використання на добриво соломи гороху оптимальне значення С:N, що забезпечує максимальний коефіцієнт гуміфікації побічної продукції у ґрунті було наступним:

$$U' = (-0,0473 \cdot x^2 + 2,6824 \cdot x - 6,3612)' = -2 \cdot 0,0473 \cdot x + 2,6824 - 2 \cdot 0,0473 \cdot x + 2,6824 = 0$$

$$X = 2,6824 : 0,095 = 28,2, \text{ отже оптимальне } С:N = 28,2.$$

За такого вуглецево-азотного співвідношення коефіцієнт гуміфікації у ґрунті соломи гороху становитиме:

$$U = -0,0473 \cdot (28,2)^2 + 2,6824 \cdot 28,2 - 6,3612 = -37,615 + 75,644 - 6,3612 = 31,7$$

Установлені залежності свідчать, що за застосування на добриво побічної продукції зернових культур найбільшу активність гуміфікації спостерігали за співвідношення C:N=28-32. Таке вуглецево-азотне співвідношення по різних видах побічної продукції формувалось за внесення одинарної або потрійної дози азотних добрив. В соломі пшениці озимої найвищий коефіцієнт гуміфікації (Кг=21) визначено за співвідношення C:N=32:1, стебла кукурудзи на зерно (Кг=18) – за C:N=28:1, солома гороху (Кг=31) – за C:N=28:1.

Компостування побічної продукції зернових культур без внесення компенсаційної дози азоту супроводжувалось зниженням активності гуміфікації. Так, коефіцієнт гуміфікації за компостування соломи пшениці озимої становив 15, стебел кукурудзи на зерно – 10, соломи гороху – 20. Зменшення коефіцієнтів гуміфікації могло бути наслідком посиленої емісії CO₂ з ґрунту [293].

До зменшення коефіцієнтів гуміфікації за компостування побічної продукції зернових культур вело застосування високої дози компенсаційного азотного удобрення, яке звужувало співвідношення C:N до 12-15:1. Звуження вуглецево-азотного співвідношення супроводжувалось зменшенням вмісту гумусу, що могло бути наслідком посилення мінералізаційних процесів у ґрунті [380].

Коефіцієнти гуміфікації гички буряків цукрових і зеленої маси гірчиці білої за застосування їх на добриво не піддаються оптимізації. Максимальні коефіцієнти гуміфікації гички буряків цукрових і зеленої маси гірчиці білої у ґрунті спостерігали за компостування їх без внесення компенсаційного азотного добрива – відповідно 28 та 25. Застосування компенсаційної дози добрив істотно звужувало вуглецево-азотне співвідношення і супроводжувалось зниженням активності гуміфікації рослинних решток.

Отже, за застосування на добриво побічної продукції зернових культур сприятливіші умови для гумусоутворення створюються за співвідношення C:N=28-32. Таке співвідношення можна формувати шляхом внесення компенсаційної дози азотних добрив. Застосування на добриво гички буряків цукрових чи зеленої маси гірчиці білої не потребувало компенсаційного азотного удобрення для активізації процесів гуміфікації рослинних решток.

6.4 Особливості удобрення культур за біологізації сівозмін

За біологізації систем удобрення значна частина елементів живлення в сівозміні вноситься у складі органічної речовини рослинних решток. Це є додатковий до мінеральної системи удобрення ресурс елементів живлення, який істотно змінює характер удобрення культур сівозміни. Доступність цього ресурсу сільськогосподарським культурам залежить від інтенсивності мінералізації рослинних решток, а його вплив на продуктивність культур визначається кількістю та співвідношенням елементів живлення у складі рослинних решток [289, 328].

За різними джерелами заорювання 4-6 тон побічної продукції зернових культур супроводжується надходженням на 1 га ріллі азоту – 23-61 кг, фосфору – 11-25, калію – 39-91, кальцію – 20-30 кг, а також мікроелементів S, B, Cu, Mn, Zn. Поповнення ґрунту елементами живлення в найбільшій кількості відбувається за застосування на добриво побічної продукції кукурудзи на зерно, найменшій – сої [4, 9, 262].

Рівень рециркуляції елементів живлення в сівозміні помітно залежить від виду побічної продукції, яку використовують на добриво. Побічна продукція зернових та зернобобових культур в сухій речовині містить елементів живлення майже удвічі менше, ніж гичка буряків цукрових. За даними досліджень вміст азоту в побічній продукції зернових та зернобобових культур становив 0,55-0,96%, фосфору – 0,18-0,24%, калію – 1,04-1,46%; у гичці буряків цукрових – відповідно 2,24%, 0,56%, 2,85% на суху речовину. При цьому вміст азоту і калію в сухій речовині усіх видів побічної продукції був у 2-4 рази вищим, ніж фосфору (табл. 6.8), що узгоджується з даними інших досліджень [96, 248].

Побічна продукція відзначалась звуженим за фосфором співвідношенням N:P:K: солома пшениці озимої – 1:0,3:1,9, гороху – 1:0,2:1,3, стебла кукурудзи – 1:0,3:2,1, гичка буряків цукрових – 1:0,3:1,3, зелена маса гірчиці білої – 1:0,3:0,5.

На думку В. Higgs, А.Е. Johnson, J.I. Salter, С. J. Dawson [422] із-за низького вмісту фосфору застосування побічної продукції на добриво може створювати незбалансованість живлення рослин за цим елементом.

Таблиця 6.8 Вміст елементів живлення в традиційних та альтернативних видах добрив, ІБКіЦБ, 2011-2013 рр.

№ п/п	Органічні добрива	Вміст сухої речовини, %	Вміст елементів живлення, % на суху речовину				Співвідношення	
			С	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C:N	N:P:K
1	Солома пшениці озимої	85,2	42,1	0,55	0,18	1,04	77:1	1:0,3:1,9
2	Солома гороху	85,8	41,4	0,96	0,23	1,22	43:1	1:0,2:1,3
3	Стебла кукурудзи	82,4	40,7	0,71	0,24	1,46	57:1	1:0,3:2,1
4	Гичка буряків цукрових	14,3	40,3	2,24	0,56	2,85	18:1	1:0,3:1,3
5	Сидерат (гірчиця біла)	16,8	41,8	2,87	0,72	1,42	15:1	1:0,3:0,5
6	Гній підстилковий	21,2	41,4	2,28	1,12	2,67	18:1	1:0,5:1,2

Дослідження Ю.А. Тонкаля [296], проведені в мережі дослідних установ Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків свідчать, що найвища продуктивність буряків цукрових в різних ґрунтово-кліматичних умовах досягалась за співвідношення N:P:K у складі добрив 1:0,9-1,3:0,9-1,4. При цьому краще буряки цукрові реагували на азотне і фосфорне живлення. Приріст урожайності коренеплодів буряків цукрових від 1 кг азоту мінеральних добрив становив 35,7 кг/га, фосфору – 37,5 кг/га, калію – 18,8 кг/га [122].

Важливим аспектом у підвищенні ефективності застосування побічної продукції як добрива є створення умов оптимальної мінералізації рослинних решток. За внесення побічної продукції зернових культур особливої уваги заслуговує застосування компенсаційної дози азотних добрив. Результати досліджень свідчать, що оптимальний режим мінералізації рослинних решток із забезпеченням високого рівня їх гуміфікації створюється за співвідношення C:N=26-30. Наші дані узгоджуються з дослідженнями вітчизняних та зарубіжних вчених [288, 293, 386, 453].

Застосування гною (C:N=18:1), гички буряків цукрових (C:N=18:1), зеленої маси гірчиці білої (C:N=15:1), які відзначаються звуженим вуглецево-азотним співвідношенням, створює умови їх швидкої мінералізації у ґрунті. За таких умов елементи живлення із

складу побічної продукції швидко переходять у ґрунтовий розчин, що робить їх легко доступними для сільськогосподарських культур. Натомість побічна продукція зернових культур соломи пшениці озимої (C:N=77:1), стебел кукурудзи на зерно (C:N=57:1), соломи гороху (C:N=43:1) відзначається повільною мінералізацією і потребує внесення компенсаційної дози азотних добрив для прискорення мінералізаційних процесів у ґрунті. Доза компенсаційного удобрення повинна формувати співвідношення C:N=26-30.

Отже, застосування на добриво побічної продукції потребує регулювання вуглецево-азотного співвідношення для забезпечення параметрів її оптимальної мінералізації у ґрунті. За внесення побічної продукції як основного добрива (без внесення мінеральних добрив) виникає додаткова необхідність у застосуванні компенсаційного фосфорного добрива, що створює оптимальне співвідношення N:P:K для живлення рослин. Запровадження азотного і фосфорного компенсаційного добрива доцільним також є на ґрунтах з середнім та підвищеним рівнем забезпечення рухомим фосфором, де культури позитивно реагують на посилене фосфорне живлення.

На прикладі стаціонарного дослідження Верхняцької ДСС ми вивчали особливості удобрення культур десятипільної зерно-буякової сівозміни за застосування побічної продукції пшениці озимої, гороху, кукурудзи на зерно та буряків цукрових. Зміни в системі удобрення культур порівнювались з мінеральною системою удобрення, де мінеральні добрива вносили у рекомендованих дозах, та традиційною органо-мінеральною (табл. 6.9).

За мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозмінної площі) передбачено внесення мінеральних добрив під шість культур сівозміни: пшеницю озиму – $N_{60}P_{50}K_{60}$ (по попереднику конюшині та гороху) та $N_{80}P_{50}K_{60}$ (попереднику вико-вівсу), буряки цукрові – $N_{120}P_{100}K_{140}$, кукурудзу на зерно – $N_{60}P_{75}K_{40}$. Співвідношення N:P:K у складі мінеральних добрив під пшеницю озиму по попередниках конюшині та гороху становило 1:0,8:1, вико-вівсу – 1:0,6:0,8, буряки цукрові – 1:0,8:1,2, кукурудзу на зерно – 1:1,3:0,7.

Поєднання внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) збільшувало в середньому по сівозміні надходження елементів живлення порівняно з мінеральною системою удобрення: азоту – на 33 кг/га, фосфору – на 7, калію – на 53 кг/га, що в процентному відношенні становило – відповідно 66%, 17% та 106%.

Таблиця 6.9 Внесення елементів живлення у зерно-буракової сівозміні за різних систем удобрення, ВДСС, 1996-2010 рр., кг/га

№ п/п	Культури сівозміни	Мінеральна система удобрення		Органо-мінеральна з використанням на добриво			
				побічної продукції		**гною	
		внесено NPK	N:P:K	*внесено NPK	N:P:K	*внесено NPK	N:P:K
1	Ячмінь ярий	-	-	N ₆₄ P ₁₆ K ₈₁	1:0,3:1,3	-	-
2	Конюшина	-	-	-	-	-	-
3	Пшениця озима	N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	1:0,8:1	N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	1:0,8:1	N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	1:0,8:1
4	Бураки цукрові	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀	1:0,8:1,2	N ₁₅₃ P ₁₁₀ K ₂₀₄	1:0,7:1,3	N ₃₂₀ P ₂₀₀ K ₃₈₀	1:0,6:1,2
5	Горох	-	-	N ₇₆ P ₁₉ K ₉₇	1:0,3:1,3	-	-
6	Пшениця озима	N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	1:0,8:1	N ₈₅ P ₅₅ K ₉₂	1:0,7:1,1	N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	1:0,8:1
7	Кукурудза на зерно	N ₆₀ P ₇₅ K ₄₀	1:1,3:0,7	N ₁₀₀ P ₈₈ K ₁₁₈	1:0,9:1,1	N ₂₆₀ P ₁₇₅ K ₂₈₀	1:0,7:1,1
8	Вико-овес	-	-	N ₄₉ P ₁₅ K ₁₀₁	1:0,3:2,1	-	-
9	Пшениця озима	N ₈₀ P ₅₀ K ₆₀	1:0,6:0,8	N ₈₀ P ₅₀ K ₆₀	1:0,6:0,8	N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	1:0,6:0,8
10	Бураки цукрові	N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₄₀	1:0,8:1,2	N ₁₅₆ P ₁₁₁ K ₂₁₀	1:0,7:1,3	N ₃₂₀ P ₂₀₀ K ₃₈₀	1:0,6:1,2
На 1 га сівозмінної площі		N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	1:0,9:1	N ₈₃ P ₅₂ K ₁₀₃	1:0,6:1,2	N ₁₁₀ P ₇₃ K ₁₂₂	1:0,7:1,1

* За сумою NPK органічних і мінеральних добрив;

** Доза внесення гною – 12 т/га сівозмінної площі.

Біологізація систем удобрення забезпечувала рівномірніше удобрення культур у сівозміні. Оскільки побічну продукцію заорювали під наступну культуру сівозміни, то ряд культур, які за мінеральної системи удобрення використовували післядію добрив, за умов біологізації отримали пряме удобрення у вигляді побічної продукції попередника. Такими культурами у сівозміні були ячмінь ярий, горох, вико-овес. Дози внесення елементів живлення з побічною продукцією під ці культури були достатньо високими і становили під ячмінь – N₆₄P₁₆K₈₁, горох – N₇₆P₁₉K₉₇, вико-овес – N₄₉P₁₅K₁₀₁, що за азотом і особливо калієм перевищувало дозу внесення мінеральних добрив під пшеницю озиму (N₆₀₋₈₀P₅₀K₆₀). Однак, удобрення цих культур за фосфором було недостатньо збалансованим. Із-за низького вмісту фосфору у складі побічної продукції елементи живлення під ячмінь ярий вносились у співвідношенні N:P:K – 1:0,3:1,3, горох – 1:0,3:1,3, вико-овес – 1:0,3:2,1.

Під ячмінь ярий та горох заорювали побічну продукцію буряків цукрових. Звужене співвідношення C:N=18:1 у складі гички буряків цукрових забезпечувало швидку мінералізацію рослинних решток у ґрунті і робило елементи живлення легко доступними для цих культур. Під вико-овес як добриво заорювали стебла кукурудзи на зерно, які мали розширене співвідношення C:N=55:1, що уповільнювало мінералізацію рослинних решток і супроводжувалось слабкою доступністю елементів живлення для вико-вівса.

Порівняно з традиційною органо-мінеральною системою удобрення (N₅₀P_{42,5}K₅₀ + 12 т гною на 1 га сівозмінної площі) внесення мінеральних добрив і побічної продукції зменшувало в середньому по сівозміні надходження елементів живлення у ґрунт по азоту – на 27 кг/га, фосфору – на 21 кг/га, калію – на 19 кг/га, що в процентному відношенні становило – відповідно 25%, 29% та 16%.

Біологізація систем удобрення покращила порівняно з традиційною органо-мінеральною системою умови мінерального живлення ячменю ярого, гороху, вико-вівса, але зменшила внесення елементів живлення під буряки цукрові і кукурудзу на зерно за сумою НРК – відповідно на 433 та 409 кг/га. При цьому зменшення по азоту і калію під просапні культури було достатньо високим – 160-176 кг/га, фосфору – 87-90 кг/га.

Органічним добривом під просапні культури за біологізації системи удобрення була солома пшениці озимої. Склад соломи відзначався низьким вмістом фосфору та широким вуглецево-азотним співвідношенням (C:N=80:1). Процес мінералізації соломи за таких умов протікає повільно і супроводжується посиленою іммобілізацією азоту у ґрунті. Із-за слабкої мінералізації соломи доступність елементів живлення із її складу для просапних культур є достатньо низькою. Підвищення ефективності застосування соломи пшениці озимої як органічного добрива під просапні культури лежить у площині оптимізації вуглецево-азотного співвідношення та внесення фосфорних добрив з метою оптимізації співвідношення N:P:K у складі соломи.

Отже, забезпечення ефективного застосування на добриво побічної продукції потребує диференційованого підходу щодо оптимізації співвідношення C:N та розширення співвідношення N:P:K за фосфором. За застосування на добриво побічної продукції зернових культур та покращення умов її трансформації у ґрунті виникає потреба у внесенні компенсаційної дози азотних добрив в кількості

здатній сформувати співвідношення С:N в межах 26-30:1. Застосування на добриво гички буряків цукрових чи зеленої маси гірчиці білої у зв'язку зі звуженим вуглецево-азотним співвідношенням (С:N=15-18:1) не потребує внесення компенсаційної дози азоту.

Низький вміст фосфору у складі побічної продукції всіх без виключення культур за застосування їх на добриво може створювати дефіцит живлення рослин за цим елементом. Особливо помітним дефіцит фосфорного живлення рослин може відбуватися на ґрунтах середнього і підвищеного рівня забезпечення фосфором та за умов, коли застосування на добриво побічної продукції не супроводжується внесенням мінеральних добрив в основне удобрення. Для оптимізації співвідношення елементів живлення у складі побічної продукції та покращання фосфорного живлення культур на ґрунтах з недостатнім рівнем забезпечення фосфором доцільним є внесення компенсаційної дози фосфорних добрив.

За результатами аналізу систем удобрення розроблено дози компенсаційного удобрення за внесення побічної продукції на ґрунтах різного рівня забезпечення фосфором (табл. 6.10).

Таблиця 6.10 Компенсаційна доза добрив за застосування на добриво побічної продукції на ґрунтах різного рівня забезпечення рухомим фосфором, кг/т побічної продукції

№ п/п	Побічна продукція	Рівень забезпечення ґрунту рухомим фосфором	
		середній та підвищений	високий
1	Солома пшениці озимої	N ₉ P ₅	N ₉
2	Солома гороху	N ₅ P ₅	N ₅
3	Стебла кукурудзи	N ₈ P ₅	N ₈
4	Гичка буряків цукрових	P ₃	-
5	Сидерат (гірчиця біла)	P ₃	-

Примітка. Оптимальне співвідношення С:N = 28:1; N:P:K = 1:0,5-0,7:1.

В основу розрахунків покладено концепцію створення оптимальних умов мінералізації рослинних решток (С:N=28:1) та оптимізації співвідношення елементів живлення у складі побічної продукції (N:P:K=1:0,5-0,7:0,7-1).

Наприклад: 1 т соломи пшениці озимої містить сухої речовини (85,2%) – 852 кг, в тому числі вуглецю в сухій речовині (42,1%) – 359

кг, азоту (0,55%) – 4,7 кг; співвідношення C:N=359:4,7 або 77:1. За додавання компенсаційної дози азоту 10 кг/т соломи пшениці – C:N=359:(4,7+9) або 27:1.

За таких умов з 1 т соломи пшениці озимої і компенсаційною дозою азоту у ґрунт буде внесено: азоту – 13,7 кг, фосфору (0,18% в сухій речовині) – 1,5 кг, калію (1,04% в сухій речовині) – 8,9 кг. Співвідношення N:P:K= 1:0,1:0,7.

Для оптимізації співвідношення до оптимальних параметрів (N:P:K=1:0,5-0,7:1) вносимо компенсаційну дозу фосфору – 5 кг/т соломи. За таких умов з 1 т соломи пшениці озимої і компенсаційними дозами азоту та фосфору у ґрунт буде внесено: азоту – 13,7, фосфору – 6,5, калію – 8,9 кг; співвідношення N:P:K=13,7:6,5:8,9 або 1:0,5:0,7.

Згідно проведених розрахунків оптимальною компенсаційною дозою мінеральних добрив за заробляння на добриво соломи пшениці озимої на ґрунтах середнього та підвищеного забезпечення фосфором визначено внесення – N₉P₅, соломи гороху – N₅P₅, стебел кукурудзи – N₈P₅ на 1 т побічної продукції.

Гічка буряків цукрових та зелена маса гірчиці білої мали звужене вуглецево-азотне співвідношення (C:N=15-18:1) і потребували внесення лише компенсаційної дози фосфору – P₃ на 1 т побічної продукції.

На ґрунтах з високим рівнем забезпечення фосфором компенсаційне удобрення доцільно застосовувати лише за застосування на добриво побічної продукції зернових культур: соломи пшениці озимої – N₉, соломи гороху – N₅, стебел кукурудзи – N₈ на 1 т побічної продукції.

Отже, за внесення побічної продукції з метою забезпечення оптимального режиму мінералізації рослинних решток та оптимізації їх елементного складу необхідно застосовувати компенсаційну дозу мінеральних добрив. Дозу компенсаційного удобрення слід диференціювати з урахуванням хімічного складу побічної продукції та рівня забезпечення ґрунтів фосфором. Для забезпечення сталих основ ведення господарства компенсаційну дозу добрив слід вносити додатково до основної дози мінеральних добрив розрахованої балансово-розрахунковим методом, що усуватиме існуючий дефіцит елементів живлення у сівозміні, який складається за умов біологізації.

6.4.1 Органічні добрива та їх ефективність

Застосування органічних добрив є вагомим чинником стабілізації родючості ґрунту та підвищення врожайності сільсько-господарських культур. З органічними добривами у ґрунт вносять значну кількість органічної речовини та елементів живлення, що формує умови мінерального живлення рослин та впливає на їх продуктивність [42, 170, 240].

За біологізації кількість та склад органічної речовини, що надходить у ґрунт істотно відрізняється від гною. В дослідженнях, які проводили в умовах нестійкого та достатнього зволоження вивчалися обсяги надходження органічної речовини та елементів живлення у ґрунт з побічною продукцією та їх вплив на врожайність культур сівозміни.

В умовах нестійкого зволоження за застосування на добриво побічної продукції у ґрунт надходило органічної речовини у вуглецевому еквіваленті 1,41-1,61 т/га сівозмінної площі: у плодозмінній сівозміні (просапних 30%, бобових 30%) – 1,75 т/га, у зерно-просапній (просапних 40%, бобових 10%) – 1,41 т/га, у плодозмінній (просапних 16,7%, бобових 33%) – 1,61 т/га. За внесення гною 8,3-12 т/га сівозмінної площі обсяги надходження органічної речовини у вуглецевому еквіваленті становили 1,21-1,58 т/га, що порівняно з побічною продукцією було меншим на 0,17-0,32 т/га сівозмінної площі. Побічна продукція забезпечувала ґрунт органічною речовиною в кількості еквівалентній внесенню приблизно 8 т гною на 1 га сівозмінної площі (рис. 6.16).

За достатнього зволоження у ланці сівозміни з горохом найбільше органічної речовини надходило у ґрунт за внесення побічної продукції і зеленої маси гірчиці білої, що у вуглецевому еквіваленті становило 2,17 т/га. Внесення 13,3 т гною на 1 га сівозмінної площі збагачувало ґрунт органічною речовиною в кількості 1,59 т/га, що порівняно з внесенням побічної продукції і сидерату було меншим у вуглецевому еквіваленті на 0,58 т/га ланки сівозміни. Застосування на добриво зеленої маси гірчиці білої за врожайності 24-25 т/га супроводжувалось щорічними обсягами надходження вуглецю органічної речовини в ґрунт у кількості 1,0 т/га ланки сівозміни, що було еквівалентно внесенню 8,4 т/га гною.

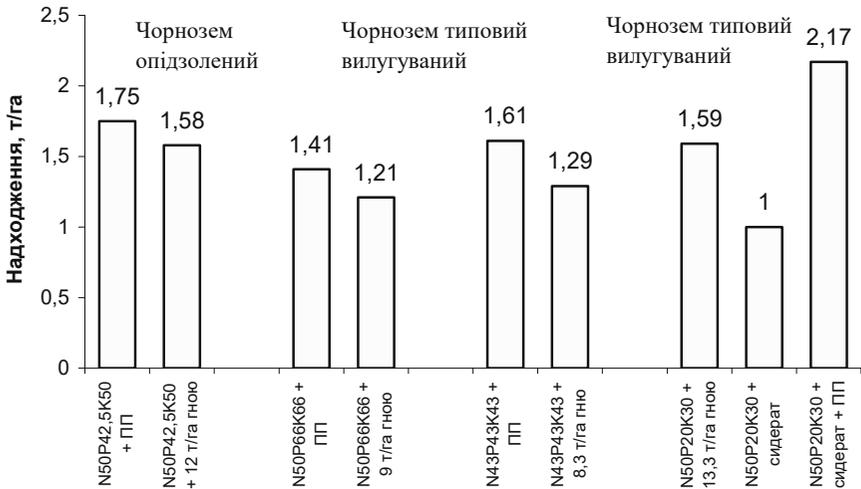


Рис. 6.16 Надходження вуглецю органічних добрив у ґрунт

- ПП – побічна продукція;
 1 – зерно-просапна сівозміна;
 2 – плодозмінна сівозміна.

Отже, застосування на добриво побічної продукції у сівозмінах Лісостепу забезпечувало ґрунт органічною речовиною в кількості, що перевищувало внесення 8,3-12 т/га гною. Така кількість щорічного її надходження створювала умови для розширеного відтворення запасів гумусу. За достатнього зволоження, де вносили побічну продукцію у поєднанні із зеленою масою проміжних сидеральних культур (гірчиці білої), надходження у ґрунт органічної речовини в 1,37 рази перевищувало внесення 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни, що створювало міцний фундамент для відновлювального гумусоутворення та підвищення природної родючості чорнозему типового вилугуваного.

Незважаючи на високі обсяги надходження органічної речовини, застосування побічної продукції зменшувало порівняно з гноєм внесення поживних речовин у ґрунт. У чорноземі опідзоленому у плодозмінній сівозміні (просапних 30%, бобових 30%) з внесенням 12 т гною на 1 га сівозмінної площі щорічно у ґрунт надходило – N₆₀P₃₀K₇₂, тоді як з побічною продукцією – N₃₂P₉K₅₂. Біологізація системи удобрення зменшила внесення елементів живлення на 1 га сівозмінної площі на N₂₈P₂₁K₂₀ або на 43% за сумою NPK (табл. 6.11).

Таблиця 6.11 Ефективність органічних добрив у польовій сівозміні на фоні мінеральної системи удобрення, ВДСС, 1996-2010 рр.

№ п/п	Культури	Внесено НРК з органічними добривами		Приріст урожайності від органічних добрив, т/га	
		гній	побічна продукція	гній	побічна продукція
1	Ячмінь ярий	-	N ₆₄ P ₁₆ K ₈₁	0,82	0,93
2	Конюшина	-	-	0,43	0,29
3	Пшениця озима	-	-	0,22	0,12
4	Буряки цукрові	N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₂₄₀	N ₃₃ P ₁₀ K ₆₄	1,1	1,1
5	Горох	-	N ₇₆ P ₁₉ K ₉₇	0,22	0,16
6	Пшениця озима	-	N ₂₅ P ₅ K ₃₂	-	-
7	Кукурудза на зерно	N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₂₄₀	N ₄₀ P ₁₃ K ₇₈	0,07	0,04
8	Вико-овес	-	N ₄₉ P ₁₅ K ₁₀₁	0,25	0,17
9	Пшениця озима	-	-	-	-
10	Буряки цукрові	N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₂₄₀	N ₃₆ P ₁₁ K ₇₀	2,5	1,3
На 1 га сівозмінної площі		N ₆₀ P ₃₀ K ₇₂	N ₃₂ P ₉ K ₅₂	0,41 к.од.	0,28 к.од.

Примітка. Фон внесення мінеральних добрив – N₅₀P_{42,5}K₅₀ на 1 га сівозмінної площі

Продуктивність сівозміни за застосування побічної продукції визначено нижчою порівняно з внесенням 12 т гною на 1 га сівозмінної площі. Побічна продукція, яку заорювали на фоні рекомендованої дози мінеральних добрив (N₅₀P_{42,5}K₅₀ на 1 га сівозмінної площі) підвищила продуктивність сівозміни на 0,28, тоді як внесення 12 т/га гною – відповідно на 0,41 т к.од./га сівозмінної площі. Буряки цукрові та кукурудза на зерно незначно реагували на внесення органічних добрив. Урожайність коренеплодів буряків цукрових за внесення 40 т/га гною (N₂₀₀P₁₀₀K₂₄₀) підвищилась на 1,1-2,5, за внесення побічної продукції (N₃₃₋₃₆P₁₀₋₁₁K₆₄₋₇₀) – на 1,1-1,3 т/га. При цьому висока доза елементів живлення, що вносили у складі гною, була малоефективною. Застосування 40 т/га гною порівняно з побічною продукцією збільшувало внесення у ґрунт азоту у 5,6-6,1 рази, фосфору – у 9,1-10 рази, калію – у 3,4-3,8 рази, а ефект від їх застосування був майже однаковим.

Доза гною 40 т/га у післядії забезпечила підвищення приросту врожайності ячменю ярого – 0,82 т/га, гороху – 0,22, вико-вівса – 0,25

т/га, тоді як заорювання гички буряків цукрових під ячмінь ярий ($N_{64}P_{16}K_{81}$) та горох ($N_{76}P_{19}K_{97}$) – відповідно 0,93 та 0,16, стебел кукурудзи на зерно під вико-овес ($N_{49}P_{15}K_{101}$) – 0,17 т/га. Вирощування конюшини по післядії гною забезпечило приріст урожайності зеленої маси – 0,43; післядії гички буряків цукрових – 0,29 т/га.

Отже, за нестійкого зволоження на фоні рекомендованої дози мінеральних добрив ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозмінної площі) застосування на добриво побічної продукції на чорноземі опідзоленому за впливом на врожайність культур і продуктивність сівозміни визначено близьким до внесення 12 т гною на 1 га сівозмінної площі.

На чорноземі вилугуваному середньосуглинковому в зерно-просапній сівозміні (просапних 40%, бобових 10%) застосування 9 т/га гною забезпечило щорічне надходження у ґрунт $N_{45}P_{23}K_{54}$, тоді як побічна продукція – $N_{34}P_9K_{48}$. Внесення побічної продукції порівняно з гноєм зменшило надходження у ґрунт елементів живлення на $N_{11}P_{14}K_6$ на 1 га сівозмінної площі (або 25% за сумою NPK) та знизило продуктивність сівозміни на 0,38 т к.од./га сівозмінної площі (табл. 6.12).

Внесення гички буряків цукрових під горох ($N_{85}P_{18}K_{99}$), ячмінь ярий ($N_{98}P_{21}K_{121}$), кукурудзу на зелений корм ($N_{51}P_{13}K_{68}$); соломи гороху під пшеницю озиму ($N_{85}P_{18}K_{99}$) забезпечило приріст урожайності відповідно 0,03, 0,23, 3,5 та 0,04 т/га, тоді як післядія 30 т/га гною ($N_{150}P_{75}K_{180}$) – 0,14, 0,45, 3,5 та 0,28 т/га. Незважаючи на те, що внесення елементів живлення у складі побічної продукції було досить високим, їх ефективність поступалась післядії 30 т/га гною. Причиною цьому може бути слабка інтенсивність мінералізації побічної продукції та незбалансованість елементного складу побічної продукції за фосфором.

Внесення соломи пшениці озимої під буряки цукрові ($N_{22-27}P_{8-10}K_{42-55}$) у ланці з редькою олійною було неефективним, у ланках з горохом та кукурудзою на зелений корм забезпечило приріст коренеплодів – 2,7 та 3,5 т/га, тоді як внесення 30 т/га гною ($N_{150}P_{75}K_{180}$) врожайність буряків цукрових в усіх ланках сівозміни підвищилась відповідно на 3,0, 3,6 та 4,8 т/га. Згідно досліджень Ю.О. Тараріка [291] підвищення ефективності соломи пшениці озимої лежить у площині прискорення процесу її мінералізації у ґрунті, чого можна досягти шляхом внесення компенсаційної дози азоту.

Таблиця 6.12 Ефективність органічних добрив у зерно-просапній сівозміні на фоні мінеральної системи удобрення, БЦДСС, 1996-2007 рр.

№ п/п	Культури	Внесено НРК з органічними добривами		Приріст урожайності від органічних добрив, т/га	
		гній	побічна продукція	гній	побічна продукція
1	Редька олійна	-	-	7,6	2,3
2	Пшениця озима	-	-	0,17	-
3	Буряки цукрові	N ₁₅₀ P ₇₅ K ₁₈₀	N ₂₂ P ₈ K ₄₂	3,0	-
4	Горох	-	N ₈₅ P ₁₈ K ₉₉	0,14	0,03
5	Пшениця озима	-	N ₃₅ P ₁₀ K ₄₅	0,28	0,04
6	Буряки цукрові	N ₁₅₀ P ₇₅ K ₁₈₀	N ₂₅ P ₉ K ₄₉	3,6	2,7
7	Кукурудза на зелений корм	-	N ₅₁ P ₁₃ K ₆₈	3,5	2,2
8	Пшениця озима	-	-	0,40	0,32
9	Буряки цукрові	N ₁₅₀ P ₇₅ K ₁₈₀	N ₂₇ P ₁₀ K ₅₅	4,8	3,5
10	Ячмінь ярий		N ₉₈ P ₂₁ K ₁₂₁	0,45	0,23
На 1 га сівозмінної площі		N ₄₅ P ₂₃ K ₅₄	N ₃₄ P ₉ K ₄₈	0,71 к.од.	0,33 к.од.

Примітка. Фон внесення мінеральних добрив – N₅₀P₆₆K₆₆ на 1 га сівозмінної площі

У плодозмінній сівозміні (просапних 16,7%, бобових 33%) застосування 8,3 т/га гною забезпечило щорічне внесення у ґрунт N₄₂P₂₁K₅₀, побічної продукції – N₂₅P₇K₃₉. Надходження у ґрунт елементів живлення за внесення побічної продукції порівняно з 8,3 т/га гною зменшилось на N₁₇P₁₄K₁₁ на 1 га сівозмінної площі (або 37% за сумою НРК) і обумовило зниження продуктивності сівозміни на 0,38 т к.од./га сівозмінної площі (табл. 6.13).

Застосування на добриво соломи пшениці озимої під буряки цукрові (N₃₈P₁₂K₆₈), гички буряків цукрових під ячмінь ярий (N₆₁P₁₅K₇₇) забезпечило приріст врожайності відповідно – 1,8 та 0,42 т/га; тоді як пряма дія 50 т/га гною (N₂₅₀P₁₂₅K₃₀₀) під буряки цукрові та його післядія під ячмінь ярий – відповідно 3,8 та 0,60, що було вищим на 2,0 та 0,28 т/га. Заорювання соломи пшениці озимої під вико-овес (N₄₉P₁₆K₉₁) було малоефективним – приріст врожайності зеленої маси становив 0,4 т/га, тоді як четвертого року післядія 50 т/га гною – 2,2 т/га.

Таблиця 6.13 Ефективність органічних добрив у плодозмінній сівозміні на фоні мінеральної системи удобрення, БЦДСС, 2006-2013 рр.

№ п/п	Культури	Внесено NPK з органічними добривами		Приріст урожайності від органічних добрив, т/га	
		гній	побічна продукція	гній	побічна продукція
1	Вико-овес	-	N ₄₉ P ₁₆ K ₉₁	2,2	0,4
2	Пшениця озима	-	-	0,10	0,06
3	Буряки цукрові	N ₂₅₀ P ₁₂₅ K ₃₀₀	N ₃₈ P ₁₂ K ₆₈	3,8	1,8
4	Ячмінь ярий	-	N ₆₁ P ₁₅ K ₇₇	0,60	0,42
5	Конюшина	-	-	2,4	0,08
6	Пшениця озима	-	-	0,34	0,15
На 1 га сівозмінної площі		N ₄₂ P ₂₁ K ₅₀	N ₂₅ P ₇ K ₃₉	0,72 к.од.	0,34 к.од.

Примітка. Фон внесення мінеральних добрив – N₄₃P₄₃K₄₃ на 1 га сівозмінної площі

Вирощування конюшини по післядії 50 т/га гною забезпечило приріст урожайності зеленої маси – 2,4 т/га, післядії гички буряків цукрових – 0,08; пшениці озимої – відповідно 0,34 та 0,15 т/га.

Отже, за нестійкого зволоження на чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому внесення побічної у зерно-просапній та плодозмінній сівозмінах зменшувало щорічне надходження у ґрунт елементів живлення на N₁₁₋₁₇P₁₄K₆₋₁₁ порівняно з внесенням 8,3-9 т гною на 1 га сівозмінної площі і обумовило зниження продуктивності сівозміни на 0,38 т к.од./га. Підвищення ефективності побічної продукції лежить у площині збільшення дози внесення мінеральних добрив. Запровадження компенсаційного удобрення додатково до основної дози мінеральних добрив сприятиме оптимізації елементного складу органічних добрив, посилить мінералізацію рослинних решток та покращить мінеральне живлення культур.

За достатнього зволоження на чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому застосування 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни (горох-пшениця озима-буряки цукрові) за безпечило щорічне внесення у ґрунт N₆₇P₃₃K₈₀, тоді як зеленої маси гірчиці білої поєднано з побічною продукцією – N₅₂P₁₃K₃₇. За поєднаного

внесення побічної продукції і сидерату порівняно з 13,3 т/га гною на 1 га ланки сівозміни надходження у ґрунт елементів живлення зменшилось на $N_{15}P_{20}K_{43}$ на 1 га ланки сівозміни (або 43% за сумою НРК), що знизило середньорічну продуктивність ланки сівозміни на 0,70 т к.од./га (табл. 6.14).

Таблиця 6.14 Ефективність органічних добрив у ланці польової сівозміни на фоні мінеральної системи удобрення, УЛДСС, 2006-2010 рр.

№ п/п	Культури	Внесено НРК з органічними добривами		Приріст урожайності від органічних добрив, т/га	
		гній	сидерат + ПП	гній	сидерат + ПП
1	Горох	-	-	-	-
2	Пшениця озима	-	$N_{13}P_3K_{19}$	0,06	0,26
3	Буряки цукрові	$N_{200}P_{100}K_{240}$	$N_{144}P_{36}K_{93}$	8,0	2,1
На 1 га сівозмінної площі		$N_{67}P_{33}K_{80}$	$N_{52}P_{13}K_{37}$	1,28 к.од.	0,58 к.од.

Примітка. Фон внесення мінеральних добрив – $N_{50}P_{20}K_{30}$ на 1 га ланки сівозміни; ПП - побічна продукція.

Низьку ефективність заходів біологізації виявлено в посівах буряків цукрових. Внесення зеленої маси гірчиці білої і соломи пшениці озимої під буряки цукрові ($N_{144}P_{36}K_{93}$) забезпечило приріст урожайності коренеплодів 2,1 т/га, тоді як 40 т/га гною ($N_{200}P_{100}K_{240}$) – 8,0 т/га. Причиною низької ефективності заходів біологізації є зниження дози внесення елементів живлення та порушення оптимального їх співвідношення.

Отже, підвищення ефективності побічної продукції лежить у площині збільшення кількості елементів живлення та оптимізації елементного складі альтернативного органічного добрива. Ефективним агрохімічним заходом у вирішенні цього питання може бути внесення додатково до основної дози мінеральних добрив компенсаційного удобрення. Проведені розрахунки показують, що застосування на добриво побічної продукції у поєднанні з внесенням компенсаційного добрива за обсягами надходження поживних речовин у ґрунт прирівнюється до внесення 10 т/га гною. Запровадження такого агрохімічного заходу посилить мінералізацію рослинних решток у ґрунті, підвищить доступність поживних речовин та покращить умови мінерального живлення культур сівозміни.

Для визначення економічної доцільності застосування компенсаційної дози добрив проаналізовано підвищення продуктивності сівозміни за внесення 10 кг/га NPK у складі побічної продукції та гною, в останньому кількість внесення елементів живлення у ґрунт була вищою на 25-43% (рис. 6.17).

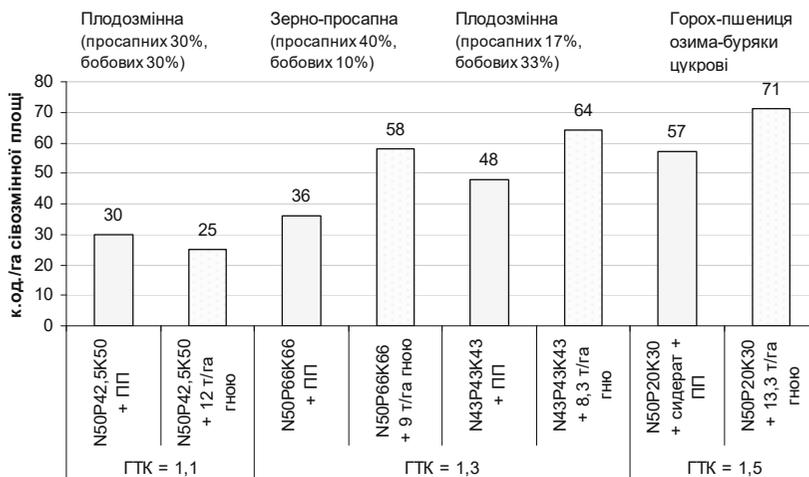


Рис. 6.17 Підвищення продуктивності сівозміни від внесення 10 кг/га NPK у складі органічних добрив

Ефективність органічних добрив залежала від гідротермічного коефіцієнта і підвищувалась в міру зростання зволоження. У плодозмінній сівозміні (просапних 30%, бобових 30%) на чорноземі опідзоленому підвищення продуктивності сівозміни від внесення 10 кг/га NPK у складі органічних добрив було найнижчим: за внесення побічної продукції – 30, 12 т гною на 1 га сівозмінної площі – 25 к.од./га. Внесення підвищеної на 43% за сумою NPK кількості елементів живлення у складі гною порівняно з побічною продукцією супроводжувалось зниженням темпів зростання продуктивності сівозміни. Це є свідченням того, що додаткове внесення компенсаційного удобрення за цих умов є малоефективним агрохімічним заходом, який призведе до зайвих економічних витрат. За біологізації системи удобрення плодозмінної сівозміни на чорноземах опідзолених (ГТК=1,1) покращення режиму мінералізації побічної продукції у ґрунті та підвищення її ефективності доцільно здійснювати шляхом внесення компенсаційної дози добрив за рахунок основної дози мінеральних добрив.

На чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому (ГТК=1,3) підвищення продуктивності сівозміни від внесення 10 кг/га NPK у складі побічної продукції становило у зерно-просапній сівозміні – 36, плодозмінній – 48; у складі гною – відповідно 58 і 64 к.од./га. Більша кількість елементів живлення у складі гною на 25-37% за сумою NPK порівняно з побічною продукцією забезпечила вищі темпи зростання продуктивності сівозміни, що свідчить про доцільність за біологізації внесення додатково до основної дози мінеральних добрив компенсаційного удобрення.

За достатнього зволоження на чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому (ГТК=1,5) зростання продуктивності ланки сівозміни з горохом від внесення 10 кг/га NPK у складі побічної продукції та зеленої маси гірчиці білої становило – 57, у складі гною – 71 к.од./га. Застосування більшої кількості елементів живлення у складі гною за сумою NPK на 43% забезпечувало вищі темпи зростання продуктивності ланки сівозміни порівняно з побічною продукцією у поєднанні з сидератом, що свідчить про доцільність внесення компенсаційного удобрення додатково до основної дози мінеральних добрив. Такий агрохімічний захід збільшить надходження у ґрунт елементів живлення, оптимізує їх співвідношення, посилить мінералізацію рослинних решток та сприятиме підвищенню продуктивності ланки сівозміни.

Отже, внесення компенсаційного удобрення за застосування на добриво побічної продукції може бути ефективним агрохімічним заходом подальшого підвищення продуктивності сівозмін Лісостепу. При цьому за показника ГТК >1,1 компенсаційне удобрення доцільно проводити додатково до основної дози внесення мінеральних добрив, ГТК ≤ 1,1 – за рахунок основної їх дози.

6.5 Методи розрахунку доз добрив та їх застосування

6.5.1 Розрахунок доз добрив за внесення побічної продукції

Визначення оптимальних доз мінеральних добрив під плановану врожайність є одним із найскладніших питань сучасної агрохімічної науки. Методика розрахунку доз добрив повинна відображати не тільки взаємовідносини між рослинами, добривами, ґрунтом, але й економічну ефективність їх застосування.

А.П. Лісовал [177] відзначає, що визначення оптимальних доз добрив повинно враховувати такі умови: 1) потребу культур в елементах живлення під заплановану врожайність; 2) можливе використання рослинами поживних речовин із ґрунту; 3) коефіцієнти

використання елементів живлення із мінеральних добрив; 4) економічні та організаційно-господарські умови, які визначають економічну ефективність різних доз добрив.

Існує значна кількість методів розрахунку доз добрив, що створює певні труднощі у виборі найефективніших із них. Метод розрахунку запропонований ВНІС відзначається простотою розрахунків і ґрунтується на матеріалах польових досліджень.

Згідно цього методу доза добрив під певну врожайність визначається за формулою:

$$D = (100 \cdot B - \Gamma \cdot K\Gamma) : Kд, \text{ де} \quad (1)$$

D – доза добрив, кг/га;

B – винос елементів живлення запланованим врожаєм, кг/га;

Γ – вміст у ґрунті засвоєваних рослиною форм елементів живлення, кг/га;

K Γ – коефіцієнт використання елементів живлення із ґрунту, %;

Kд – коефіцієнт використання елементів живлення із мінеральних добрив, %.

За біологізації сівозмін ця формула не враховує елементи живлення, які вносять в ґрунт у складі побічної продукції. Тому, виникає потреба у модернізації існуючої формули, додаючи до системи розрахунків кількість елементів, що використовується культурами з побічної продукції попередника. Із зазначеними врахуваннями формула набуває наступного вигляду:

$$D = (100 \cdot B - \Gamma \cdot K\Gamma - П \cdot Kп) : Kд, \text{ де} \quad (2)$$

П – надходження елементів живлення у ґрунт з побічною продукцією попередника, кг/га;

Kп – коефіцієнт використання елементів живлення з побічної продукції, %.

Практичне використання зазначеної формули потребує установлення базових показників: винесення елементів живлення на одиницю врожаю, коефіцієнтів використання елементів живлення з ґрунту, мінеральних добрив та побічної продукції, які визначаються за результатами польових досліджень і прив'язуються до конкретних ґрунтово-кліматичних.

За даними польового стаціонарного дослідження Верхняцької ДСС (умови нестійкого зволоження) вміст елементів живлення в основній та побічній продукції є відносно стала величина і залежить від фізіологічних особливостей та вибіркової здатності культур до їх засвоєння (таб. 6.1).

Таблиця 6.15 Винос елементів живлення культурами сівозміни, ВДСС, 1996-2010 рр.

№ п/п	Культура	Урожайність, т/га	Винос основною та побічною продукцією, кг/га			Загальний винос, кг/га			Винос на 1 т основної і відповідної кількості побічної продукції, кг		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Пшениця озима	5,78 7,15	120 36,5	42,8 11,4	28,3 70,8	157	54,2	99,1	27,2	9,38	17,2
2	Буряки цукрові	43,8 20,1	90,7 70,0	33,3 17,3	97,3 88,9	161	50,6	186	3,68	1,16	4,25
3	Кукурудза на зерно	6,57 7,14	101 49,3	38,8 15,0	27,6 101	150	53,8	129	22,8	8,19	19,6
4	Ячмінь ярий	4,66 4,82	85,7 31,8	35,4 11,1	24,7 67,0	118	46,5	91,7	25,3	9,98	19,7
5	Горох	3,09 2,32	103 23,2	26,0 5,3	41,7 31,6	126	31,3	73,3	40,8	10,1	23,7
6	Конюшина (зелена маса)	23,3	-	-	-	137	31,2	118	5,88	1,34	5,06
7	Вико-овес (зелена маса)	29,5	-	-	-	134	40,1	139	4,54	1,36	4,71

Примітка. Над рисою – основна продукція; під рисою – побічна продукція.

За вмістом поживних речовин в органах рослин визначають винос N, P₂O₅, K₂O врожаєм культур. Для цього величину врожаю за окремими органами множать на їх хімічний склад.

Наприклад: отримання врожаю зерна пшениці озимої 5,78 т/га потребує з 1 га азоту 120 кг (57,8·0,86·2,39), фосфору 43 кг (57,8·0,86·0,85), калію 28 кг (57,8·0,86·0,56); врожаю соломи 7,15 т/га з 1 га – азоту 36 кг (71,5·0,85·0,61), фосфору 12 кг (71,5·0,85·0,19), калію 71 кг (71,5·0,85·1,16). Загальний (господарський) винос становить азоту 157, фосфору 54, калію 99 кг/га.

Винос елементів живлення на 1 т основної продукції з урахуванням відповідної кількості побічної продукції наведений в таблиці 6.15.

Цей показник можна застосовувати для визначення виносу елементів живлення запланованим врожаєм культур.

За даними досліджень, використання культурами елементів живлення із ґрунту становило: азоту (легкогідролізованого) – 23-36%, фосфору – 9-13%, калію – 18-36%. Коефіцієнти використання були вищі, ніж ті, що пропонуються по фосфору на 1-4%, калію – на 3-6% (табл. 6.16).

Таблиця 6.16 Використання елементів живлення культурами сівозміни з ґрунту та мінеральних добрив, ВДСС, 1996-2010 рр., %

№ п/п	Культура	ґрунту			Мінеральних добрив		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Пшениця озима	34,3	13,4	20,6	46,8	18,6	37,4
2	Буряки цукрові	30,7	11,2	36,1	36,9	13,1	37,5
3	Кукурудза на зерно	36,4	14,6	32,2	27,7	10,7	31,5
4	Ячмінь ярий	22,8	9,9	23,2	-	-	-
5	Горох	31,1	8,6	18,1	-	-	-
6	Конюшина (зелена маса)	34,4	8,8	30,8	-	-	-
7	Вико-овес (зелена маса)	30,8	10,3	32,8	-	-	-

Із мінеральних добрив культури зерно-бурякової сівозміни використовували азоту – 28-47%, фосфору – 11-19%, калію – 31-38%; побічної продукції – відповідно 7-21%, 6-34 та 4-20% (табл. 6.17).

Таблиця 6.17 Використання елементів живлення культурами сівозміни з побічної продукції попередника, ВДСС, 1996-2010 рр., %

№ п/п	Культура	Побічна продукція попередника	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Ячмінь ярий	гичка буряків цукрових	21,0	35,7	8,5
2	Буряки цукрові	солома пшениці озимої	17,4	16,0	10,8
3	Горох	гичка буряків цукрових	8,0	8,0	4,2
4	Пшениця озима	солома гороху	8,7	13,2	20,3
5	Кукурудза на зерно	солома пшениці озимої	7,3	6,4	4,5
6	Вико-овес	стебла кукурудзи на зерно	12,2	11,3	5,9

Наведені дані відображають особливості використання елементів живлення культурами в умовах нестійкого зволоження на ґрунтах з середнім вмістом рухомих сполук фосфору і підвищеним калію. За інших умов коефіцієнти використання елементів живлення потребують уточнення, що зв'язано з особливостями вимог окремих культур до умов вирощування.

За визначення потреби мінеральних добрив під заплановану врожайність культур за внесення побічної продукції враховують кількість елементів живлення, яка надходить у ґрунт з побічною продукцією попередника. Для цього планову врожайність основної продукції попередника множать на коефіцієнт виходу побічної продукції та винос поживних речовин 1 т побічної продукції:

$$П = Уп \cdot Кв \cdot Вп, \text{ де} \quad (3)$$

П – надходження елементів живлення у ґрунт з побічною продукцією попередника, кг/га;

Уп – планова врожайність основної продукції попередника, т/га;

Кв – коефіцієнт виходу побічної продукції, %;

Вп – винос поживних речовин побічною продукцією, кг/т. Для визначення Вп використовують матеріали таблиць 6.18; 6.19.

Наприклад: попередником буряків цукрових є пшениця озима солома якої заорюється на добриво. За планової врожайності пшениці озимої 5,4 т/га у ґрунт з побічною продукцією надійде азоту – 34,7 кг (5,4 · 1,26 · 5,1), фосфору – 10,9 кг (5,4 · 1,26 · 1,6), калію – 67,4 кг (5,4 · 1,26 · 9,9).

Алгоритм розрахунку дози внесення мінеральних добрив під заплановану врожайність буряків цукрових (наприклад 45 т/га) буде наступним:

Дазоту = $(100 \cdot 45 \cdot 3,68 - 3 \cdot 120 \cdot 30,7 - 34,7 \cdot 17,4) : 36,9 = 139$
кг д.р./га

Дфосфору = $(100 \cdot 45 \cdot 1,16 - 3 \cdot 107 \cdot 11,2 - 10,9 \cdot 16,0) : 13,1 = 111$
кг д.р./га

Дкалію = $(100 \cdot 45 \cdot 4,25 - 3 \cdot 117 \cdot 36,1 - 67,4 \cdot 10,8) : 37,5 = 148$
кг д.р./га,

де 120 мг/кг – вміст легкогідролізованого азоту у ґрунті;

107 мг/кг – вміст рухомого фосфору у ґрунті;

117 мг/кг – вміст рухомого калію у ґрунті;

3 – коефіцієнт для перерахунку в кг/га.

Таблиця 6.18 Коефіцієнт (К) виходу побічної продукції, ВДСС, 1996-2010 рр.

№ п/п	Культури	Урожайність, т/га		Коефіцієнт
		основної продукції	побічної продукції	
1	Солома пшениці озимої	4,6-5,0	5,8-6,2	1,15
		5,1-5,5	6,2-6,8	1,26
		5,6-6,0	6,9-7,8	1,29
		6,1-6,5	6,7-7,5	1,13
		6,6-7,0	6,7-7,0	1,03
2	Солома гороху	2,5-3,0	1,9-2,2	0,76
		3,1-3,5	2,2-2,4	0,75
3	Стебла кукурудзи на зерно	5,5-6,0	6,1-6,2	1,09
		6,1-6,5	6,8-7,2	1,11
		6,6-7,0	6,9-7,6	1,07
4	Гичка буряків цукрових	35-40	14-15	0,39
		41-45	17-22	0,46
		46-50	18-21	0,43

Таблиця 6.19 Винос елементів живлення на 1 т побічної продукції, ВДСС, 1996-2010 рр., кг

№ п/п	Культура	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Пшениця озима	5,1	1,6	9,9
2	Буряки цукрові	3,5	0,9	4,4
3	Кукурудза на зерно	6,9	2,1	14,1
4	Горох	9,8	2,3	13,6

Отже, за умов біологізації сівозмін використання балансово-розрахункового методу розрахунку доз добрив повинно враховувати надходження елементів живлення в ґрунт у складі побічної продукції попередника та використання їх рослинами.

6.5.2 Агроекологічна оцінка методів розрахунку доз добрив

Агроекологічна оцінка методів розрахунку доз добрив є важливим елементом на шляху формування сталих систем аграрного виробництва. В останні роки технології вирощування культур спрямовано переважно на мінімалізацію застосування мінеральних добрив, а отримання високих врожаїв відбувається за рахунок необґрунтованого вичерпування родючості ґрунтів. Оптимальні дози застосування мінеральних добрив устанавлюються переважно за результатами польових досліджень, при цьому агроекологічна їх оцінка не проводиться.

Господарський баланс елементів живлення у ґрунті за застосування добрив у сівозмінах є показником біогенної стабільності ґрунту. Цей показник застосовано для агроекологічної оцінки доз добрив у зерно-бураковій сівозміні, які визначали двома методами: за результатами польових досліджень та розрахованих модифікованим балансово-розрахунковим методом за методикою ВНІС. Розрахунок доз добрив за методикою ВНІС проводили під середню за 1996-2010 рр. врожайність культур сівозміни: ячменю ярого – 4,7; пшениці озимої – 5,78; буряків цукрових – 43,8; кукурудзи на зерно – 6,57; гороху – 3,09; вико-вівса – 29,5; конюшини – 23,3 т/га.

Оскільки агроекологічну оцінку виконували за введення елементів біологізації в систему удобрення, то витратна частина балансу включала лише винос елементів живлення товарним врожаєм, а прибуткова надходження елементів живлення у складі мінеральних добрив, побічної продукції та поповнення ґрунту азотом за рахунок симбіотичної азотфіксації. Винос елементів живлення товарним врожаєм становив в середньому за ротацію зерно-буракової сівозміни: азоту – 111, фосфору – 38, калію – 67 кг/га. Найбільшу кількість поживних речовин за сумою NPK виносили конюшина та вико-овес – відповідно 310 та 265 кг/га. Буряки цукрові з товарним урожаєм виносили за сумою NPK – 251 кг/га. Найменше збіднювали ґрунт на елементи живлення зернові і зернобобові культури: пшениця озима за сумою NPK виносила – 194, кукурудза на зерно – 181, ячмінь ярий – 147, горох – 172 кг/га.

Агроекологічна оцінка методів розрахунку доз добрив показала, що застосування рекомендованої дози добрив (за результатами польових досліджень) формувало від'ємний баланс елементів живлення в сівозміні: дефіцит азоту становив 38 кг/га, фосфору – 3 кг/га, калію – 20 кг/га (табл. 6.20).

Таблиця 6.20 Баланс елементів живлення в сівозміні за різних методів розрахунку доз добрив, ВДСС, 1996-2010 рр.

Метод розрахунку доз добрив	Внесено добрив, кг/га сівозмінної площі			Баланс, ± кг/га сівозмінної площі		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
За результатами польових дослідів	78	35	47	-33	-3	-20
Модифікований балансово-розрахунковий метод ВНІС	87	43	51	-24	5	-16

Примітка. Винос елементів живлення середнім за ротацию врожаєм культур з 1 га сівозмінної площі – N₁₁₁P₃₈K₆₇.

Застосування модифікованого балансово-розрахункового методу збільшувало внесення елементів живлення на 1 га сівозмінної площі порівняно з рекомендованою дозою: азоту – на 9, фосфору – 8, калію – 4 кг і зменшувало дефіцит їх у ґрунті. Застосування дози мінеральних добрив, розрахованої за методом ВНІС, формувало дефіцит азоту у ґрунті – 24, калію – 16, на фоні додатного балансу фосфору – 5 кг/га сівозмінної площі.

Біогенна стабільність ґрунту, яку розраховували за співвідношенням надходження елементів живлення у ґрунт до агального їх виносу, за рекомендованої дози внесення добрив (за результатами польових досліджень) становила за сумою NPK – 0,74; дози добрив розрахованої за методом ВНІС – 0,84.

Отже, застосування модифікованого методу ВНІС за розрахунків доз добрив збільшувало внесення елементів живлення порівняно з рекомендованою дозою (за результатами польових досліджень) на 9-23%, однак у ґрунті при цьому зберігався від'ємний баланс азоту і калію і біогенна стабільність ґрунту не забезпечувалась. Це є свідченням того, що зазначений метод не веде до значного збільшення дози внесення добрив і його можна застосовувати за визначення доз добрив під заплановану врожайність культур за

значень $ГТК \leq 1,1$. За $ГТК > 1,1$ дози добрив в основне удобрення доцільно розраховувати нормативним методом (за результатами польових досліджень) і додатково вносити компенсаційне удобрення. Застосування методу ВНІС за зазначених умов призведе до надмірно високих доз мінеральних добрив.

6.5.3 Внесення добрив за біологізації сівозмін

Прийоми внесення добрив є одним із заходів їх ефективного застосування. За введення елементів біологізації в системи удобрення значну кількість елементів живлення вносять в ґрунт у складі рослинних решток. На відміну від гною, який застосовується під основний обробіток ґрунту, внесення побічної продукції прив'язано до строків збирання врожаю попередника. За попередників пшениці озимої, ярих зернових культур подрібнену побічну продукцію (солому) розкидають по поверхні поля за 2-3 місяці до основного обробітку, що потребує заробляння її у ґрунт шляхом дискування на глибину 10-20 см. З метою посилення процесу мінералізації соломи рекомендується вносити компенсаційну дозу мінеральних добрив. Про ефективність такого заходу відмічалось в дослідженнях вітчизняних та зарубіжних вчених [150, 289, 453].

Отже, за введення елементів біологізації в системи удобрення сівозмін основними прийомами внесення мінеральних добрив мають бути компенсаційне удобрення, внесення добрив під основний обробіток ґрунту, застосування азотних добрив у підживлення. Зі зростанням зволоження, що супроводжується підвищенням ефективності гною по відношенню до соломи зернових культур, доцільним може бути внесення компенсаційного удобрення додатково до основної дози добрив. Такий захід збільшить дозу внесення елементів живлення з побічною продукцією до рівня застосування гною, посилить процес мінералізації соломи, що може значно підвищити ефективність альтернативного органічного добрива.

За нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому ($ГТК=1,1$) ефективність застосування гною порівнювалась до побічної продукції. За цих умов додаткове внесення компенсаційної дози добрив призведе до збільшення витрат на добрива і не гарантуватиме підвищення врожайності культур. Тому раціональнішим буде проведення компенсаційного удобрення за рахунок основної дози мінеральних добрив, що посилить процес мінералізації соломи у

грунті і не супроводжуватиметься додатковими витратами.

За допомогою адаптованої до біологізації формули розрахунку доз добрив запропонованої ВНІС нами розраховано дози внесення добрив під заплановану врожайність культур в умовах зерно-бурякової сівозміни на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому та запропоновано заходи їх ефективного застосування. Систему удобрення оснований на широкому застосуванні побічної продукції. Вона є збалансованою за обігом органічної речовини, забезпечує оптимальні умови трансформації рослинних решток у ґрунті та ефективне використання елементів живлення рослинами шляхом диференціації видів, форм, доз та прийомів внесення добрив. Її розраховано на рівень продуктивності сівозміни 10 т/га і більше в перерахунку на кормові одиниці (табл. 6.21).

Розроблена система удобрення наближає ведення аграрного виробництва до засад сталого землекористування, мінімілізує дефіцит балансу елементів живлення в сівозміні, що за існуючими рекомендаціями становить до 84-117 кг за сумою NPK на 1 га сівозмінної площі, та забезпечує стійкий відновлювальний ефект родючості ґрунту.

Система удобрення передбачає індивідуальний підхід до застосування мінеральних добрив під окремо взяті культури з урахуванням фізіологічних потреб та особливостей їх росту і розвитку.

За вирощування буряків цукрових основними прийомами внесення добрив є компенсаційне удобрення (N_{70}) та під основний обробіток ґрунту ($N_{70}P_{110}K_{150}$).

Кукурудза на зерно потребує застосування компенсаційного удобрення (N_{80}) та внесення фосфорних і калійних добрив під основний обробіток ґрунту ($P_{100}K_{60}$).

Під пшеницю озиму, яку вирощують після бобових культур, в основне удобрення доцільно вносити фосфорні і калійні добрива ($P_{60}K_{80}$) та проводити два підживлення азотом сумарною дозою 80 кг/га. У ланці з горохом, солома якого використовується на добриво під пшеницю озиму, для забезпечення оптимальних умов її мінералізації доцільно додатково вносити компенсаційне азотне добриво – N_{15} .

Таблиця 6.21 Запропонована система удобрення за введення елементів біологізації у зерно-бураковий сівозміні на чорноземі опідзоленому Правобережному Лісостепу України

№ п/п	Чергування культур	Урожайність, т/га	компенсаційне удобрення		Мінеральні добрива, кг/га				
			N	N	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	підживлення (N)	
1	Ячмінь ярий	4,8						1	2
2	Конюшина	25							
3	Пшениця озима	6,0			60	80	40	40	40
4	Буряки цукрові	45	70	70	110	150			
5	Горох	3,0							
6	Пшениця озима	6,0	15		60	80	40	40	40
7	Кукурудза на зерно	7,0	80		100	60			
8	Вико-овес	30							
9	Пшениця озима	6,0			60	80	40	40	40
10	Буряки цукрові	45	70	70	110	150			

Примітка. 1 – по мерзлоталому ґрунту; 2 – кінець фази кушення.

Вико-овес та горох в умовах цієї ґрунтово-кліматичної зони слабо відгукувались на післядію 40 т/га гною та застосування побічної продукції попередників. Внесення компенсаційної дози мінеральних добрив за цих умов не гарантує підвищення ефективності альтернативних видів органічних добрив і економічно може бути неефективним. Тому заорювання на добриво стебел кукурудзи під вико-овес, гички буряків цукрових під горох рекомендується проводити без внесення компенсаційної дози добрив.

Після проведення досліджень з вивчення агроєкологічних аспектів впливу біологізації системи удобрення на рівень біогенного навантаження на ґрунт, процесів трансформації побічної продукції у ґрунті та їх вплив на удобрення культур зерно-бурякової сівозміни можна зробити такі висновки:

1. Застосування побічної продукції на добриво поєднано з мінеральними добривами зменшує хімічне навантаження на ґрунт порівняно з мінеральною системою удобрення в усіх типах зерно-бурякової сівозміни за сумою NPK в 1,41-1,58 разів. При цьому винос азоту з ґрунту знизився в середньому по сівозміні в 1,33-1,45, фосфору – 1,15-1,30, калію – 1,56-1,92 разів.

2. Буряки цукрові, кукурудза на зерно, пшениця озима за застосування на добриво побічної продукції створюють менше біогенне навантаження на ґрунт, ніж кормові культури. Сумарний винос біогенних елементів з ґрунту під буряками цукровими за поєданого внесення мінеральних добрив і побічної продукції зменшувався порівняно з мінеральною системою удобрення в 1,65-2,17 рази, пшеницею озимою – 1,30-1,98, кукурудзою на зерно – 1,95, горохом – 1,23-1,52 рази. При цьому за вирощування буряків цукрових з ґрунту переважно виносився азот і калій, кукурудзи на зерно та пшениці озимої – переважно азот.

3. Зменшення у зерно-буряковій сівозміні частки кормових культур за введення елементів біологізації в систему удобрення збільшує рівень рециркуляції елементів живлення і сприяє біогенній стабільності агроєкосистем.

4. За застосування на добриво побічної продукції оптимальний режим трансформації рослинних решток у ґрунті виявлено за співвідношення C:N=26-30:1. Розширення вуглецево-азотного співвідношення понад 30 призводить до зменшення коефіцієнтів гуміфікації рослинних решток, депресивно впливає на динаміку вмісту нітратного

азоту у ґрунті та погіршує умови азотного живлення культур. Звуження вуглецево-азотного співвідношення формує умови швидшої мінералізації рослинних решток, але зменшує активність процесів гуміфікації.

5. Ефективне застосування побічної продукції потребує внесення компенсаційної дози мінеральних добрив, що оптимізує співвідношення С:N та розширює співвідношення N:P:K за фосфором. Оптимальною компенсаційною дозою мінеральних добрив за застосування соломи пшениці озимої (С:N=77:1) на ґрунтах середнього та підвищеного забезпечення фосфором визначено внесення на 1 т побічної продукції – N_9P_5 , соломи гороху (С:N=43:1) – N_5P_5 , стебел кукурудзи (С:N=57:1) – N_8P_5 . Гичка буряків цукрових та зелена маса гірчиці білої (С:N=15-18:1) потребують внесення на 1 т побічної продукції лише компенсаційної дози фосфору – P_3 .

6. Застосування на добриво побічної продукції у зерно-бурякових сівозмінах порівняно з внесенням 8,3-12 т гною на 1 га сівозмінної площі збільшує середньорічні обсяги надходження органічної речовини в ґрунт у вуглецевому еквіваленті на 0,17-0,32 т/га, зменшує внесення елементів живлення на $N_{11-28}P_{14-21}K_{6-20}$ та знижує продуктивність сівозміни – на 0,13-0,38 т к.од./га сівозмінної площі. За поєднаного внесення побічної продукції і зеленої маси гірчиці білої (за достатнього зволоження) у ланці горох-пшениця озима-буряки цукрові порівняно з середньорічним внесенням 13,3 т/га гною надходження органічної речовини у ґрунт підвищується на 0,58 т/га, внесення елементів живлення зменшується на $N_{15}P_{20}K_{43}$, продуктивність ланки знижується – на 0,45 т к.од./га ланки сівозміни.

7. Нормативний (за результатами польових досліджень) та балансово-розрахунковий (запропонований ВНІС) методи розрахунку доз добрив без внесення компенсаційного удобрення формують у сівозміні дефіцит балансу азоту і калію – відповідно 24-33 та 16-20 кг/га сівозмінної площі на фоні нульового чи додатного балансу фосфору. За $ГТК > 1,1$ дози добрив в основне удобрення доцільно визначати нормативним методом (за результатами польових досліджень) і додатково вносити компенсаційне удобрення; за $ГТК \leq 1,1$ – балансово-розрахунковим методом ВНІС і вносити компенсаційне удобрення за рахунок основної дози добрив.

7.1 Пшениця озима

7.1.1 Багаторазове удобрення пшениці озимої азотом весною

Чисельні сучасні дослідження свідчать, що провідним фактором отримання високої врожайності і якості зерна пшениці озимої є азотне живлення [379, 440, 467]. Найвища ефективність азотних добрив у посівах пшениці озимої досягається за 3-4-разового їх внесення упродовж періоду вегетації невеликими дозами в межах 20-60 кг/га. Віддача від азотних добрив істотно зростає, коли їх вносять у найважливіші фази росту та розвитку рослин таких як посів, весняне кушення, подовження стебла та наповнення зерна [377, 407, 416]. За даними D. Haile, D. Nigussie, A. Ayana [416], Z. Liu, F. Gao, Y. Liu, J. Yang, X. Zhen, X. Li, Y. Li, J. Zhao, J. Li, B. Qian, D. Yang, X. Li [440] найвища продуктивність пшениці озимої досягалась за застосування азоту в дозі 120 кг/га у три етапи: 25% при сівбі, 50% в період весняного кушення та 25% в період наповнення зерна.

За даними А.І. Кривенко [167] в останні роки пшениця озима восени зазнає негативного впливу посушливої погоди, що призводить до поганого кушення рослин протягом осіннього періоду, а тому рано навесні в період відновлення вегетації рослини потребують підживлення азотом для прискорення процесів регенерації. Ефективним агрохімічним заходом здатним забезпечити рослини пшениці озимої азотом ранньою весною є внесення нітрату амонію або сульфату амонію на поверхню мерзлоталого ґрунту [260]. За даними A. Effretue, M. Gooding, E. White, J. Spink, R. Hackett [407] внесення азоту під пшеницю озиму рано навесні в Ірландії істотно збільшило врожайність зерна.

Іншим ефективним заходом підвищення врожайності та якості зерна пшениці озимої є внесення амідної форми азотних добрив позакоренево на етапах подовження стебла та наповнення зерна [377, 407, 440, 467]. За посушливих погодних умов позакоренево підживлення азотом може зменшити стрес рослин від посухи.

Дослідники A.G. Ahmed, M.M. Tawfik, M.S. Hassanein [379], V. Mandic, V. Krnjaja, Z. Tomic, Z. Bijelic, A. Simic, D. Muslic, M. Gogic [443], M.Z. Rahman, M.R. Islam, M.A. Karim, M.T. Islam [456], O.S. Walsh, S. Shafian, R.J. Christiaens [477] вважають, що позакореневе підживлення азотом є ефективним заходом підвищення врожайності пшениці озимої в умовах глобального потепління.

За даними Z.A. Wagan, M. Buriro, T.A. Wagan, Z.A. Wagan, S.A. Jamro, Q.A. Memon, S.A. Wagan [476] позакореневе підживлення пшениці озимої 5% розчином сечовини на етапі подовження стебла сприяло істотному зростанню кількості зерен у колосі та забезпечило високі показники врожайності зерна. Натомість позакореневе підживлення пшениці озимої сечовиною на етапі наповнення зерна істотно підвищувало вміст білка в зерні [412].

Дискусійним у науковому середовищі є питання щодо оптимальної дози азотних добрив під пшеницю озиму, яка переважно варіює від 70 до 120 кг/га [457, 482]. Дослідження проведені у Сербії показали, що доза азоту 75 кг/га забезпечила максимальну прибутковість пшениці озимої та мінімізувала непродуктивні втрати азоту, тоді як збільшення дози до 150 кг/га не призвело до значного підвищення економічної ефективності і супроводжувалось зростанням непродуктивних втрат азоту у навколишнє середовище [443].

Зона нестійкого зволоження. Дослідження проведені в умовах нестійкого зволоження (БЦДСС) на чорноземі вилугуваному середньосуглинковому показали, що весняні підживлення пшениці озимої азотом показали високу ефективність і забезпечили статистично значуще збільшення компонентів її продуктивності: кількості продуктивних стебел, кількості зерен у колосі та маси 1000 зерен.

За даними 2017–2019 рр., одноразове підживлення пшениці озимої азотом у дозі 60 кг/га, внесенне на мерзлоталу поверхню ґрунту раною весною збільшило статистично достовірно кількість продуктивних стебел порівняно з фоном фосфорних і калійних добрив з 435 до 484 на м² (11,3%), за загальної дози азоту 80 кг/га внесенного у три етапи – з 435 до 478 на м² (9,9%), за загальної дозою азоту 110 кг/га внесенного у три етапи – з 435 до 501 на м² (15,2%). Максимальної кількості продуктивних стебел досягнуто за триразового внесення азотних добрив загальною дозою 110 кг/га, що включало дозу азоту 60 кг/га на мерзлоталу поверхню ґрунту весною та два позакореневі підживлення азотом на стадії ВВСН 31–32 дозою 30 кг/га та ВВСН

75–77 дозою 20 кг/га. Це свідчить, що в умовах значного зростання температур, яке простежувалось в усі роки досліджень, пшениця озима добре реагувала на багаторазове внесення азотних добрив, де внесення азоту на мерзлоталу поверхню ґрунту ранньою весною було основою цієї стратегії і створювало міцну основу для зростання кількості продуктивних стебел (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 Компоненти продуктивності пшениці озимої за застосування азотних добрив, БЦДСС, 2017-2019 рр.

№ вар.	Варіант	Кількість продуктивних стебел, шт./м ²	Кількість зерен у колосі, шт.	Маса 1000 зерен, г
1	Без добрив (контроль)	421	37	37,5
2	P ₆₀ K ₆₀ – Фон	435	37	38,9
3	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ – під оранку	491	37	40,2
4	Фон + N _{aa60} – весною	484	38	41,8
5	Фон + N _{aa30} + *N _{c30}	490	38	41,3
6	Фон + N _{aa30} + *N _{c30} + **N _{c20}	478	38	42,0
7	Фон + N _{aa60} + *N _{c30} + **N _{c20}	501	39	42,5
НІР ₀₅		32,3	2,4	0,9
P, %		2,8	1,9	2,6

Примітка. N₃₀₋₆₀ – весною по мерзлоталому ґрунту; *N₃₀ – початок виходу в трубку; **N₂₀ – молочна стиглість зерна

Оцінка впливу азотних добрив на кількість зерен у колосі показала, що зазначений показник не залежав істотно від умов азотного живлення. Внесення азотних добрив незначно збільшило значення цього показника порівняно з фоном без азоту в межах 2,7-5,4%.

Маса 1000 зерен істотно залежала від застосування азотних добрив. У середньому за 2017-2019 роки азотні добрива збільшили масу 1000 зерен порівняно з фоном фосфорних і калійних добрив на 7,7-9,3%. Найістотніше зростання маси 1000 зерен спостерігали за дози азоту 110 кг/га внесеної у три прийоми: маса 1000 зерен – 42,5 г зі зростанням до фону фосфорних і калійних добрив на 3,4 г. Отримані дані узгоджуються з результатами досліджень Ю. Савченко, М.М.

Мірошніченко [182], S. Delin, M. Stenberg [302]. Вони вважають, що висока ефективність внесення азоту ранньою весною, період прохолодної погоди та низьких температур, може бути наслідком незначних непродуктивних втрат азоту в атмосферу та шляхом вимивання, що збільшує його доступність для рослин.

У роки досліджень врожайність пшениці озимої варіювала з 4,22 т/га на контролі у 2017 році до 8,04 т/га за дози азоту 110 кг/га у 2018 році за середньої врожайності зерна по досліді за 2017-2019 років – 6,30 т/га (табл. 7.2).

Таблиця 7.2 Врожайність зерна пшениці озимої за застосування азотних добрив, БЦДСС, т/га

№ вар.	Варіант	Врожайність зерна, т/га			Середнє за 2017-2019 рр., т/га	Врожайність соломи 2017-2019 рр., т/га
		2017	2018	2019		
1	Без добрив (контроль)	4,21	5,86	5,16	5,08	6,6
2	P ₆₀ K ₆₀ – Фон	4,42	6,16	5,28	5,29	6,9
3	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ – під оранку	4,67	7,14	6,02	5,94	8,3
4	Фон + N _{aa60} – весною	4,80	7,39	7,06	6,42	8,8
5	Фон + N _{aa30} + *N _{c30}	4,82	7,40	7,10	6,44	8,8
6	Фон + N _{aa30} + *N _{c30} + **N _{c20}	4,84	7,66	7,30	6,60	9,3
7	Фон + N _{aa60} + *N _{c30} + **N _{c20}	4,93	8,04	7,72	6,90	9,6
	НІР ₀₅	0,21	0,37	0,22	0,25	0,54
	P, %	2,6	3,0	3,3	2,9	3,7

Примітка. N₃₀₋₆₀ – весною по мерзлоталому ґрунту; *N₃₀ – початок виходу в трубку; **N₂₀ – молочна стиглість зерна

За середніми даними 2017-2019 років застосування азотних добрив в усіх його конфігураціях значно збільшило врожайність зерна пшениці озимої порівняно з фоном фосфорних і калійних добрив: за одноразового внесення азоту в дозі 60 кг/га на мерзлоталу поверхню ґрунту ранньою весною – на 21,4%, за триразового внесення азоту загальною дозою 80 кг/га – на 24,8%, триразового внесення азоту

загальною дозою 110 кг/га – на 30,4%. Триразове внесення азотних добрив загальною дозою 110 кг/га забезпечило найвищу врожайність зерна пшениці озимої – 6,90 т/га.

Застосування азотних добрив істотно збільшило середню врожайність соломи пшениці озимої порівняно з фоном фосфорних і калійних добрив – на 27,5-39,1%. Таке значне збільшення спостерігали за усіх конфігураціях внесення азотних добрив. Аналогічні дані отримано в дослідженнях D. Vobreska-Jamro, G. Kruczek, M. Romaniak, W. Jarecki, J. Buczek [392], де достатнє забезпечення азотом пшениці озимої протягом вегетації сприяло збільшенню врожаю зерна та соломи пшениці озимої.

Внесення азотних добрив стимулювало накопичення білка в зерні пшениці озимої. Проте, суттєве підвищення вмісту білка в зерні порівняно з фоном фосфорних і калійних добрив спостерігали лише за конфігурації триразового внесення азотних добрив загальною дозою 80-110 кг/га, що включало позакореневе підживлення рослин розчином сечовини на стадіях ВВСН 31-32 дозою азоту 30 кг/га та ВВСН 75-77 дозою азоту 20 кг/га. За середніми даними 2017–2019 років, триразове внесення азоту підвищило вміст білка в зерні порівняно з фоном фосфорних і калійних добрив на 6,9–7,8% за абсолютних значень 12,4–12,5% (рис. 7.1).

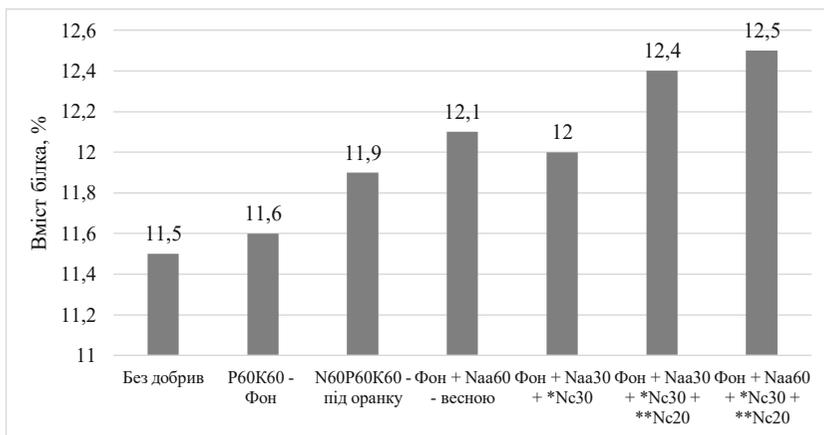


Рис. 7.1 Вміст білка в зерні пшениці озимої залежно від системи удобрення, БЦДСС, 2017-2019 рр., %

Примітка. НР₀₅ – 0,4%; N_{aa30-60} – весною по мерзлоталому ґрунту; *N_{c30} – початок виходу в трубку; **N_{c20} – молочна стиглість зерна

Збільшення вмісту білка в зерні було стабільним упродовж років дослідження і не залежало від коливань погодних умов. Ці дані узгоджуються з результатами досліджень L. Litke, Z. Gaile, A. Ruza [439] щодо особливої ролі позакореневих підживлень азотом у накопиченні білка в зерні пшениці озимої, результатами досліджень A. Gholami, S. Akhlaghi, H. Shahsavani, N. Farrokhi [412], M. Blandino, F. Marinaccio, A. Reyneri [389] щодо важливості пізніх позакореневих підживлень азотом, M. Bhatta, T. Regassa, D.J. Rose, P.S. Baenziger, K.M. Eskridge, D.K. Santra [388], K.J. Jankowski, P.S. Hulanicki, M. Sokolski, P. Hulanicki, B. Dubis [429] щодо зменшення стресу рослин від впливу високих температур та посушливості клімату. Отже, позакореневе підживлення пшениці озимої сечовиною є ефективним засобом покращення якості зерна в умовах кліматичних змін.

Проведення кореляційно-регресійного аналізу показало істотну кореляційну залежність між дозою азотних добрив та врожайністю зерна пшениці озимої з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 0,996-1,0$, яка простежувалась в усі роки досліджень (рис. 7.2). Це засвідчує, що за мінливого клімату із надзвичайно теплими та часом сухими погодними умовами застосування підвищених доз азотних добрив шляхом багаторазового їх внесення є запорукою отримання високих і стабільних врожаїв зерна пшениці озимої.

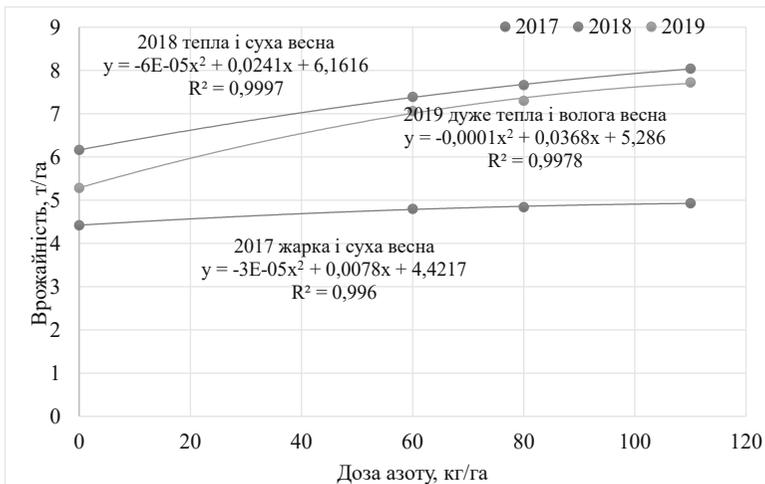


Рис. 7.2 Врожайність зерна пшениці озимої залежно від дози внесення азотних добрив, БЦДСС, 2017-2019 рр.

Результати кореляційно-регресійного аналізу показали, що збільшення дози азотних добрив в умовах нестійкого зволоження за стратегії роздільного триразового їх внесення істотно корелювало з підвищенням вмісту білка в зерні пшениці озимої з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 0,967-0,973$ (рис. 7.3). Зазначена лінійна залежність простежувалась в усі роки досліджень і незначно залежала від погодних умов.

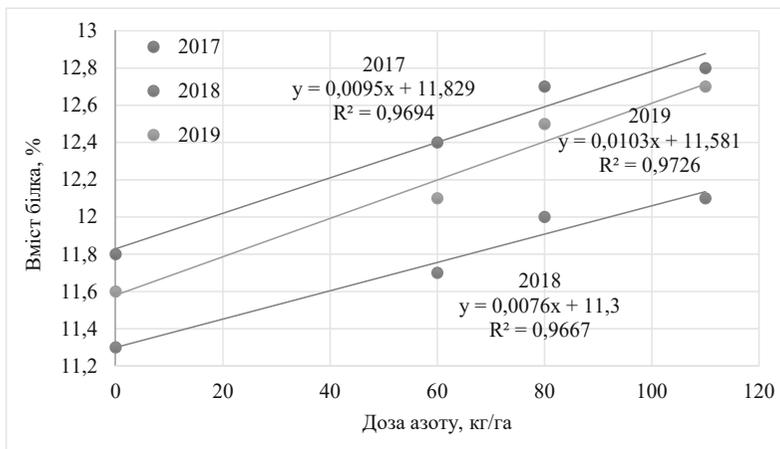


Рис. 7.3 Вміст білка в зерні пшениці озимої залежно від дози внесення азотних добрив, БЦДСС, 2017-2019 рр.. 2017 рік – тепла і суха весна; 2018 рік – дуже тепла і волога весна; 2019 рік – жарка і суха весна

Отже, найвищої врожайності зерна пшениці озимої в умовах нестійкого зволоження досягали за триразового внесення азотних добрив загальною дозою 110 кг/га, що включало внесення 60 кг/га азоту на мерзлоталу поверхню ґрунту раною весною у формі амонійної селітри та двох позакоренових підживлень розчинами сечовини у фазі ВВСН 31-32 дозою азоту 30 кг/га та ВВСН 75-77 дозою 20 кг/га – 6,90 т/га. У роки достатньої кількості опадів упродовж вегетаційного періоду (2018-2019) азотні добрива істотніше впливали на врожайність зерна пшениці озимої, ніж у рік дефіциту опадів (2017). Значне збільшення вмісту білка в зерні пшениці озимої отримали за позакоренового підживлення посівів розчином сечовини за загальної дози азотних добрив 80 та 110 кг/га. Збільшення вмісту

білка в зерні не залежало від погодних умов і було стабільним упродовж років дослідження.

Зона достатнього зволоження. Дослідження проведені в умовах достатнього зволоження (УЛДСС) на чорноземі вилугуваному легкосуглинковому показали, що біологічна продуктивність пшениці озимої та покращення якості зерна залежали від осучаснення системи удобрення, яке проводилось шляхом багаторазового внесення азотних добрив весною. У середньому за 2018-2020 рр. врожайність пшениці озимої на контролі без добрив становила 4,77 т/га з варіюванням по роках дослідження в межах 4,52-5,18 т/га. Внесення фосфорних і калійних добрив з осені під глибоку оранку в дозі 60 кг/га незначно підвищило врожайність пшениці озимої – на 0,24 т/га за абсолютної величини 5,01 т/га (табл. 7.3).

Таблиця 7.3 Врожайність зерна пшениці озимої за застосування азотних дорив, УЛДСС, т/га

№ вар	Варіант	Врожайність зерна, т/га			Середнє за 2018-2020 рр., т/га
		2018	2019	2020	
1	Без добрив (контроль)	4,60	4,52	5,18	4,77
2	P ₆₀ K ₆₀ під оранку – Фон	4,82	4,69	5,51	5,01
3	Фон + N _{ca60}	5,28	5,97	6,80	6,02
4	Фон + N _{ca30} + *N _{aa30} + **N _{c20}	5,42	6,25	7,36	6,34
5	Фон + N _{ca30} + *N _{c30} + ** N _{c20}	5,56	6,08	6,92	6,19
6	Фон + N _{ca60} + *N _{aa30} + ** N _{c20}	5,60	6,67	7,44	6,57
7	Фон + N _{ca60} + *N _{c30} + ** N _{c20}	5,72	6,58	7,27	6,52
НІР ₀₅		0,29	0,40	0,33	0,36
P, %		2,6	3,0	3,3	2,9

Примітка: II етап органогенезу – сульфат амонію (NH₄)₂SO₄ по ґрунту (вар.3-7); IV етап органогенезу – амонійну селітру (NH₄)₂NO₃ по ґрунту (вар. 4, 6), сечовину CO(NH₂)₂ по листку (вар. 5, 7); VIII етап органогенезу – сечовину по листку

Врожайність зерна пшениці озимої істотно зростала за одноразового застосування азотних добрив весною. Внесення сульфату амонію по мерзлоталому ґрунту весною в дозі 60 кг/га

підвищило врожайність пшениці озимої порівняно з контролем без добрив – на 1,25 т/га, порівняно з фоном фосфорних і калійних добрив – на 1,01 т/га за абсолютної величини 6,02 т/га. За внесення азотного добрива прибавка врожайності зерна у 4,2 рази була вищою, ніж від внесення фосфорних і калійних добрив.

Значне підвищення врожайності зерна пшениці озимої спостерігали за триразового внесення азотних добрив весною. За загальної дози азоту 80 кг/га з внесенням сульфату амонію 30 кг/га по мерзлоталому ґрунту (II етап), амонійної селітри 30 кг/га у фазі кущення (IV етап) та проведення позакореневого підживлення сечовиною в дозі 20 кг/га (VIII етап органогенезу) врожайність пшениці озимої становила 6,34 т/га з перевищенням контролю без добрив – на 1,57 т/га. Внесення азотних добрив по ґрунту у два прийоми – N_{a30} (II етап) + N_{aa30} (IV етап органогенезу) та проведення додатково позакореневого підживлення сечовиною підвищило врожайність зерна на 0,32 т/га порівняно з одноразовим внесенням азоту в дозі 60 кг/га по мерзлоталому ґрунту весною.

Найвищу врожайність пшениці озимої отримали за загальної дози азоту 110 кг/га з внесенням сульфату амонію 60 кг/га (II етап) + амонійної селітри 30 кг/га (IV етап) + позакореневе підживлення сечовиною в дозі 20 кг/га (VIII етап органогенезу) – врожайність зерна становила 6,57 т/га з перевищенням контролю без добрив – на 1,80 т/га, одноразового внесення азоту в дозі 60 кг/га по мерзлоталому ґрунту весною – на 0,55 т/га.

Менш ефективним у посівах пшениці озимої визначено проведення на IV етапі органогенезу позакореневого підживлення сечовиною в дозі 30 кг/га замість внесення амонійної селітри по поверхні ґрунту. За загальної дози азотних добрив весною 80 кг/га з проведенням двох підживлень сечовиною (IV та VIII етап органогенезу) врожайність зерна становила 6,19 т/га, за дози 110 кг/га – 6,52, що порівняно з внесенням на IV етапі органогенезу амонійної селітри по поверхні ґрунту в дозі 30 кг/га було меншим – на 0,15 та 0,05 т/га, відповідно.

Аналіз урожайності пшениці озимої по роках досліджень показав, що в умовах прохолодної весни 2020 року середня врожайність зерна по досліді була найвищою – 6,64 т/га, тоді як за помірно теплої весни 2019 року – 5,82, надмірно теплої 2018 року – 5,29 т/га. Врожайність на контролі без добрив у 2018 році становила 4,60 т/га, 2019 році – 4,52 т/га, 2020 році – 5,18 т/га.

В усі роки досліджень внесення сульфату амонію по мерзлоталому ґрунту весною в дозі 60 кг/га забезпечило стабільне підвищення врожайності зерна: прохолодної весни 2020 року врожайність зерна становила – 6,80 т/га, за помірно теплої весни 2019 року – 5,97, надмірно теплої 2018 року – 5,28 зі збільшенням до контролю без добрив – на 1,62, 1,45 та 0,68 т/га, відповідно. Найефективнішим по мерзлоталому ґрунту визначено підживлення пшениці озимої азотом в умовах прохолодної весни.

Осучаснення системи удобрення пшениці озимої шляхом триразового внесення азотних добрив весною показало, що в усі роки досліджень пшениця озима позитивно відгукувалась на зазначені агрохімічні заходи. Найефективнішим триразове підживлення пшениці озимої азотом визначено в умовах 2020 за внесення сульфату амонію 60 кг/га (II етап) + амонійної селітри 30 кг/га (IV етап) + позакореневе підживлення сечовиною в дозі 20 кг/га (VIII етап органогенезу) – врожайність зерна становила 7,44 т/га з перевищенням контролю без добрив – на 2,26 т/га. В умовах 2018 року в зазначеному варіанті врожайність зерна становила 5,60 т/га, 2019 році – 6,67 з перевищенням контролю без добрив – на 1,00 та 2,15 т/га, відповідно.

Збільшення дози азоту по мерзлоталому ґрунту з 30 до 60 кг/га на тлі триразового внесення азотних добрив весною найефективнішим визначено у 2019 році – врожайність зерна підвищилась на 0,42 т/га, тоді як у 2018 році – на 0,18 т/га, 2020 році – на 0,08 т/га.

Отже, триразове внесення азотних добрив весною визначено ефективним агрохімічним заходом, що забезпечує отримання стабільних високих врожаїв пшениці озимої. Найвищу врожайність пшениці озимої отримали за внесення сульфату амонію 60 кг/га (II етап) + амонійної селітри 30 кг/га (IV етап) + позакореневе підживлення сечовиною в дозі 20 кг/га (VIII етап органогенезу): врожайність зерна – 6,57 т/га з перевищенням контролю без добрив – на 1,80 т/га. В умовах прохолодної весни 2020 року зазначена система удобрення забезпечила максимальну ефективність, збільшивши врожайність зерна на 2,26 т/га.

Проведення кореляційно-регресійного аналізу показало, що в умовах достатнього зволоження між дозою внесення азотних добрив весною та врожайністю зерна пшениці озимої існує тісна кореляція з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 0,8786-0,9942$ (рис. 7.4). Кореляція простежувалась в усі роки досліджень, що засвідчує про ефективність

багаторазового підживлення пшениці озимої азотом весною як фактору отримання високих і стабільних врожаїв в умовах зростаючого потепління клімату.

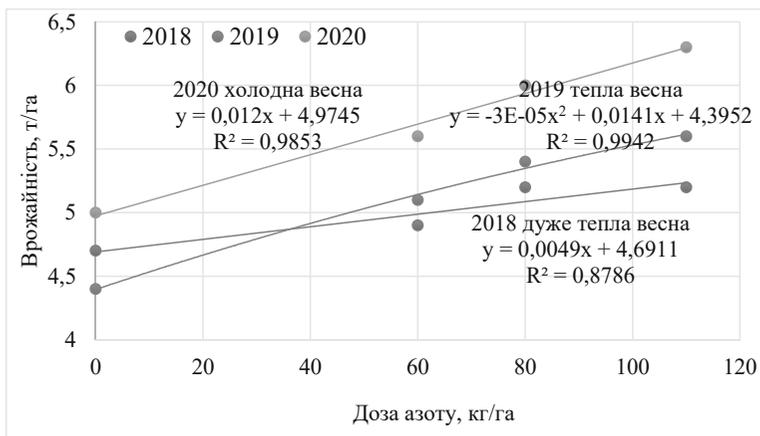


Рис. 7.4 Врожайність зерна пшениці озимої залежно від дози внесення азотних добрив весною, УЛДСС, т/га

Посилене азотне живлення пшениці озимої за рахунок багаторазового внесення азотних добрив весною сприяло інтенсивному росту стеблової маси. В середньому за 2018-2020 рр. врожайність соломи на контролі без добрив становила 5,4 т/га з варіюванням у роки досліджень з 4,8 до 6,0 т/га (табл. 7.4).

За внесення сульфату амонію по мерзлоталому ґрунту весною в дозі 60 кг/га врожайність соломи порівняно з контролем без добрив підвищилась на 1,8 т/га за абсолютного показника 7,2 т/га.

Врожайність соломи істотно зростала за триразового внесення азотних добрив весною. За загальної дози азоту 80 кг/га з внесенням сульфату амонію 30 кг/га по мерзлоталому ґрунту (II етап), амонійної селітри 30 кг/га у фазі кущення (IV етап) та проведення позакореневого підживлення сечовиною в дозі 20 кг/га (VIII етап органогенезу) врожайність соломи становила 7,8 т/га з перевищенням контролю без добрив – на 2,4 т/га. Збільшення дози азотних добрив по мерзлоталому ґрунту до 60 кг/га на фоні триразового їх внесення весною підвищило врожайність соломи до 8,0 т/га з перевищенням контролю без добрив – на 2,6 т/га. Проведення позакореневого

підживлення сечовиною (IV етап органогенезу) замість внесення амонійної селітри по поверхні ґрунту не впливало на врожайність соломи пшениці озимої.

Таблиця 7.4 Вплив доз та способів внесення азотних добрив на врожайність соломи пшениці озимої, УЛДСС, т/га

№ вар	Варіант	Врожайність соломи, т/га			Середнє за 2018-2020 рр., т/га
		2018	2019	2020	
1	Без добрив (контроль)	4,8	5,4	6,0	5,4
2	P ₆₀ K ₆₀ під оранку – Фон	5,5	5,4	5,9	5,6
3	Фон + N _{ca60}	6,9	7,1	7,6	7,2
4	Фон + N _{ca30} + *N _{aa30} + **N _{c20}	7,5	7,7	8,2	7,8
5	Фон + N _{ca30} + *N _{c30} + ** N _{c20}	7,3	7,7	8,1	7,7
6	Фон + N _{ca60} + *N _{aa30} + ** N _{c20}	7,6	8,1	8,3	8,0
7	Фон + N _{ca60} + *N _{c30} + ** N _{c20}	7,8	7,9	8,3	8,0
НІР ₀₅		0,3	0,4	0,5	0,4
P, %		2,3	2,4	2,9	2,7

Примітка: II етап органогенезу – сульфат амонію (NH₄)₂SO₄ по ґрунту (вар.3-7); IV етап органогенезу – амонійну селітру (NH₄)₂NO₃ по ґрунту (вар. 4, 6), сечовину CO(NH₂)₂ по листку (вар. 5, 7); VIII етап органогенезу – сечовину по листку

Отже, триразове внесення азотних добрив весною визначено ефективним засобом прискореного росту і розвитку рослин пшениці озимої і формування вищої врожайності соломи на 2,4-2,6 т/га порівняно з контролем без добрив.

Посилене азотне живлення пшениці озимої за рахунок триразового внесення азотних добрив весною істотно підвищило якість зерна цієї культури. Так, в середньому за три роки досліджень (2018-2020 рр.) вміст білка в зерні пшениці озимої на контролі без добрив та за внесення P₆₀K₆₀ під оранку був найнижчим і становив 11,1% (рис. 7.5).

Внесення сульфату амонію по мерзлоталому ґрунту весною в дозі 60 кг/га підвищило вміст білка в зерні пшениці до 11,8% з перевищенням контролю без добрив на 0,7%.

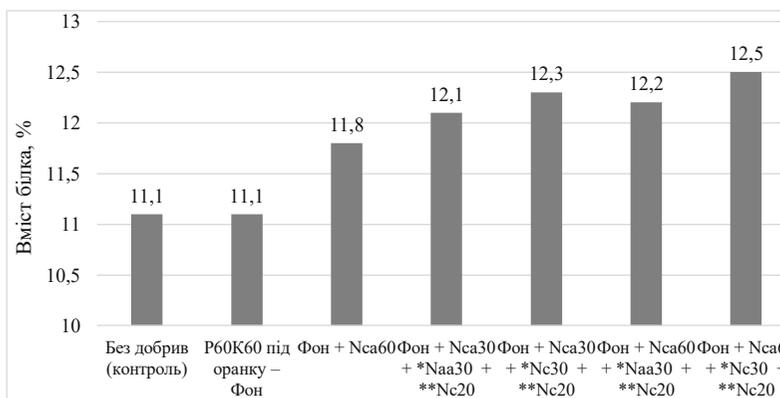


Рис. 7.5 Вплив доз та способів внесення азотних добрив на вміст білка в зерні пшениці озимої, УЛДСС, 2018-2020 рр., %; Примітка: II етап органогенезу – сульфат амонію $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ по ґрунту (вар.3-7); IV етап органогенезу – амонійну селітру $(\text{NH}_4)_2\text{NO}_3$ по ґрунту (вар. 4, 6), сечовину $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ по листку (вар. 5, 7); VIII етап органогенезу – сечовину по листку

Вплив азотних добрив на якість зерна пшениці озимої істотно зростає за триразового внесення азотних добрив весною. За загальної дози азоту 80 кг/га з внесенням сульфату амонію 30 кг/га по мерзлоталому ґрунту (II етап), амонійної селітри 30 кг/га у фазі кущення (IV етап) та проведення позакореневого підживлення сечовиною в дозі 20 кг/га (VIII етап органогенезу) вміст білка в зерні пшениці озимої становив 12,1% з перевищенням контролю без добрив – на 1,0%.

Збільшення дози азотних добрив по мерзлоталому ґрунту до 60 кг/га на фоні триразового їх внесення весною (загальна доза азоту 110 кг/га) не впливало істотно на якість зерна пшениці озимої: вміст білка в зерні становив 12,2% з перевищенням контролю без добрив – на 1,1%.

Найвищих показників якості зерна пшениці озимої досягали за проведення двох позакорневих підживлень сечовиною (IV та VIII етапи органогенезу) на фоні внесення сульфату амонію 30 та 60 кг/га по мерзлоталому ґрунту (II етап). За загальної дози азотних добрив 80 кг/га вміст білка в зерні становив 12,3%, дози 110 кг/га – 12,5% з перевищенням контролю без добрив – на 1,2% та 1,4%, відповідно. Проведення двох позакорневих підживлень сечовиною (IV та VIII

етапи органогенезу) сприяло максимальному накопиченню білка в зерні, збільшивши його вміст порівняно з одноразовим підживленням сечовиною (VIII етап органогенезу) на 0,2-0,3%.

Результати кореляційно-регресійного аналізу показали, що в умовах достатнього зволоження між збільшенням дози азотних добрив за триразового їх внесення весною і вмістом білка в зерні пшениці озимої існує тісна лінійна залежність з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 0,9509-0,9974$, яка простежується в усі роки дослідження (рис. 7.6).

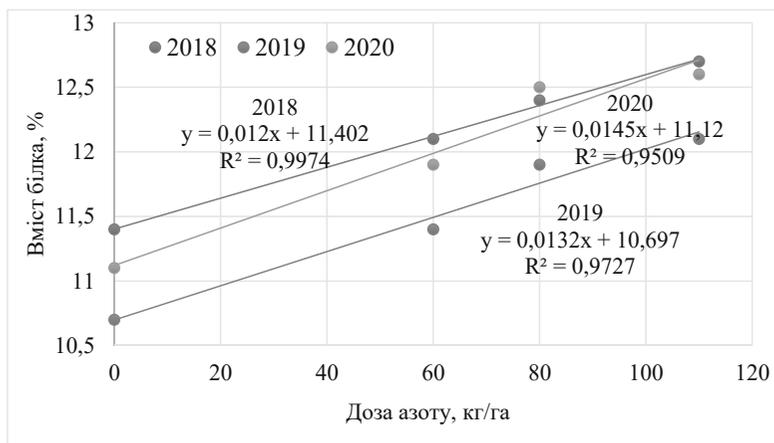


Рис. 7.6 Вміст білка в зерні пшениці озимої залежно від дози внесення азотних добрив весною, УЛДСС. 2018 рік – дуже тепла весна, 2019 рік – тепла весна, 2020 рік – холодна весна

Отже, внесення 60 кг/га сульфату амонію по мерзлоталому ґрунту (II етап), проведення позакореневого підживлення сечовиною в дозі 30 кг/га у фазі кущення (IV етап) та 20 кг/га у фазі молочно-воскової стиглості (VIII етап органогенезу) забезпечило найвищу якість зерна пшениці озимої: вміст білка в зерні – 12,5% з перевищенням контролю без добрив – на 1,4%.

Отже, в умовах нестійкого і достатнього зволоження Лісостепу України пшениця озима позитивно відгукувалась на багаторазове внесення азотних добрив весною. Застосування азотних добрив у три етапи - по мерзлоталому ґрунту весною в дозі 60 кг/га (II етап органогенезу), у кінці фази кущення в дозі 30 кг/га (IV етап) та

позакореневе підживлення сечовиною в дозі 20 кг/га (VIII етап) забезпечили найвищу врожайність і якість зерна пшениці. В умовах прохолодної весни 2020 року зазначена система удобрення забезпечила максимальну ефективність, збільшивши врожайність зерна на 2,26 т/га.

7.1.2 Ефективність позакореневого підживлення пшениці озимої мікроелементами

Незважаючи на те, що азотне живлення є основою високої врожайності пшениці озимої [407, 443], ефективність азотних добрив істотно підвищується, коли система удобрення пшениці включає позакореневі підживлення мікроелементами [439]. Застосування мікродобрив позбуває рослини дефіциту мікроелементів у найкритичніші фази росту і розвитку, посилює фотосинтез, сприяє росту їх продуктивності [53, 348].

Посідане внесення азотних добрив та проведення позакореневих підживлень марганцем підвищило врожайність зерна пшениці озимої, вміст в ньому білка, сприяло накопиченню в зерні мікроелементів Fe, Zn та Mn, підвищило вміст в зерні поліненасичених жирних кислот зі співвідношенням C18:2/C18:3, що істотно покращило харчову цінність зерна [439, 480].

Дослідження проведені у країнах Європи зазначають перспективність проведення позакореневих підживлень кремнієм. Внесення кремнію на культурах зернової групи посилює їх резистентність до посухи, підвищує стійкість стеблистою до вилягання та підвищує їх біологічну продуктивність [393, 475, 481].

Дослідження проведені на БЦДСС у 2022-2024 роки показали, що за вирощування пшениці озимої без внесення добрив врожайність зерна становила 4,68 т/га, найменшою вона була у 2024 році – 4,21 т/га, найвищою у 2023 році – 5,42 т/га. Внесення фосфорних і калійних добрив в дозі P₆₀K₆₀ обумовило лише тенденцію до підвищення врожайності зерна, яка становила 4,74 т/га, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим на 0,06 т/га (табл. 7.5).

Провідним фактором у підвищенні врожайності зерна пшениці озимої визначено азотне живлення. Внесення азоту у три прийоми весною сумарною дозою 80 кг/га, зокрема по мерзлоталому ґрунту весною сульфат амонію – 30 кг/га, позакоренево у фазі виходу у трубку сечовину – 30 кг/га, фазі колосіння сечовину – 20 кг/га

збільшило врожайність зерна, якщо порівнювати з контролем без добрив на 1,42 т/га за абсолютного показника 6,10 т/га. Внесення азотних добрив весною статистично достовірно підвищило врожайність зерна в усі роки досліджень порівняно з контролем без добрив: у 2022 році – на 1,21 т/га, 2023 році – на 1,44 т/га, 2024 році – на 1,61 т/га.

Таблиця 7.5 Врожайність пшениці озимої за осучаснення системи удобрення, БЦДСС, т/га

№ вар	Варіант	Роки			Середнє 2022-2024 рр.
		2022	2023	2024	
1	Без добрив (контроль)	4,41	5,42	4,21	4,68
2	P ₆₀ K ₆₀ – Фон	4,47	5,61	4,14	4,74
3	Фон + N ₃₀ + *N ₃₀ + **N ₂₀	5,62	6,86	5,82	6,10
4	Фон + N ₃₀ + *N ₃₀ (Mn) + **N ₂₀ (Mn)	5,77	6,98	6,09	6,28
5	Фон + N ₃₀ + *N ₃₀ (Mn, Si) + **N ₂₀ (Mn, Si)	5,89	7,29	6,05	6,41
6	Фон + N ₆₀ + *N ₃₀ + **N ₂₀	6,04	7,24	6,13	6,47
7	Фон + N ₆₀ + *N ₃₀ (Mn) + **N ₂₀ (Mn)	6,09	7,27	6,30	6,55
8	Фон + N ₆₀ + *N ₃₀ (Mn, Si) + **N ₂₀ (Mn, Si)	6,20	7,45	6,36	6,67
НІР ₀₅		0,34	0,31	0,27	0,29
P, %		3,2	2,8	3,0	3,1

Примітка: N₃₀₋₆₀ – сульфат амонію по мерзлоталому ґрунту; *N₃₀ – сечовина окремо та разом з мікродобривами позакоренево у фазі виходу в трубку; **N₂₀ – сечовина окремо та разом з мікродобривами позакоренево у фазі колосіння

Внесення більш високої дози азотних добрив по мерзлоталому ґрунту весною позитивно впливало на врожайність пшениці озимої. За сумарної дози азоту весною 110 кг/га з внесенням по мерзлоталому ґрунту сульфату амонію N₆₀ та проведенням двох позакореневих підживлень сечовиною (N₃₀ + N₂₀) забезпечили врожайність зерна 6,47 т/га, що перевищило контроль без внесення добрив на 1,79 т/га. У 2023 році врожайність зерна у цьому варіанті була найвища – 7,24 т/га, тоді як 2022 та 2024 роках вона була істотно меншою – 6,04 та 6,13 т/га, відповідно.

Підвищенню врожайності пшениці озимої сприяло застосування у позакореневе підживлення кремнієвого та марганцевого мікродобрив. Максимальний ефект від проведення

позакореневих підживлень досягався, коли вносили обидва мікродобрива. Внесення марганцю в дозі 3 кг/га та кремнію в дозі 0,5 л/га у фазі виходу в трубку та повторно у фазі колосіння поєднано з сечовиною забезпечили врожайність зерна пшениці озимої на тлі сумарної дози азоту 80 кг/га – 6,41 т/га, дози азоту 110 кг/га – 6,67 т/га. За рахунок підживлень мікродобривами врожайність зерна пшениці озимої зросла до фону мінеральних добрив на 0,31 та 0,20 т/га, відповідно. Мікродобрива статистично достовірно підвищили врожайність зерна лише на тлі сумарної дози азоту 80 кг/га і така закономірність спостерігалась лише у 2023 році. У інші роки та на тлі дози азоту 110 кг/га мікродобрива забезпечили лише тенденцію до зростання врожайності зерна. Позакореневе підживлення лише марганцем супроводжувалось незначним зростанням врожайності зерна і визначено малоефективним.

За даними кореляційно-регресійного аналізу встановлено тісну кореляційну залежність між врожайністю пшениці озимої та дозою внесення азотних добрив, коефіцієнт детермінації $r^2 = 0,9982-1,0$. Дана залежність спостерігалась в усі роки проведення досліджень (рис. 7.7).

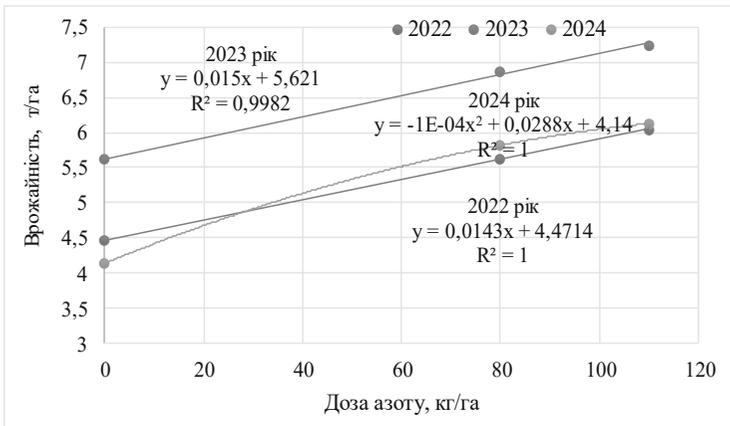


Рис. 7.7 Залежність між дозою азоту і врожайністю зерна пшениці озимої, БЦДСС

Застосування азотних добрив істотно підвищило накопичення білка в зерні та покращило якість зерна пшениці озимої. У контролі без внесення добрив та за внесення $P_{60}K_{60}$ вміст білка у зерні був

найнижчим – 11,3%, при цьому фосфорне та калійне живлення не впливали на якість зерна пшениці озимої (рис. 7.8).

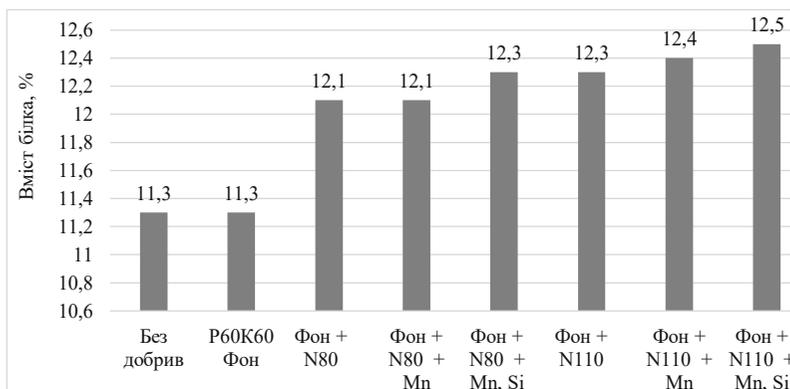


Рис. 7.8 Вміст білка в зерні пшениці озимої за осучаснення системи удобрення, БЦДСС, 2022-2024 рр., %; Примітка: N₃₀₋₆₀– сульфат амонію весною по мерзлоталому ґрунту, *N₃₀ – сечовину та мікродобрива вносили позакоренево у фазі виходу у трубку, **N₂₀ – у фазі колосіння

Внесення азоту тричі весною сумарною дозою азоту 80 кг/га, зокрема сульфат амонію по мерзлоталому ґрунту в дозі N₃₀, позакоренево у фазі виходу у трубку сечовину – N₃₀, фазі колосіння – N₂₀ на тлі P₆₀K₆₀ з осені під оранку супроводжувалось накопиченням білка в зерні пшениці озимої в кількості 12,1%, порівняно з контролем без внесення добрив вміст білка підвищився на 0,8%. Збільшення сумарної дози азоту весною з 80 до 110 кг/га підвищило вміст білка в зерні до 12,3%, спричинивши зростання порівняно з контролем без внесення добрив на 1,0%.

Незначне підвищення вмісту білка в зерні спостерігали за проведення позакореневих підживлень мікродобривами. За внесення у фазі виходу в трубку та фазі колосіння марганцю в дозі 3 кг/га поєднано з сечовиною вміст білка в зерні підвищився лише на тлі сумарної дози азоту 110 кг/га – на 0,2% і становив 12,5%. На тлі дози азоту 80 кг/га підживлення марганцем не позначилось істотно на якості зерна пшениці озимої.

Підвищення вмісту білка в зерні на тлі обох доз азоту спостерігали за поєднаного внесення марганцю і кремнію у позакоренево підживлення, яке становило 0,1-0,2%. Вміст білка в

зерні був найвищий за триразового внесення азотних добрив під пшеницю озимую сумарною дозою 110 кг/га з проведенням двох позакоренових підживлень марганцем та кремнієм у фазі виходу у трубку та фазі колосіння – 12,5%, що було вищим порівняно з контролем без добрив на 1,2%.

Отже, найвищої врожайності та найкращої якості зерна пшениці озимої досягали за внесення азотних добрив тричі весною сумарною дозою 110 кг/га, зокрема сульфат амонію по мерзлоталому ґрунту в дозі N_{60} , позакореново у фазі виходу у трубку сечовину – N_{30} , фазі колосіння – N_{20} поєднано з мікродобривами марганцем та кремнієм на тлі $P_{60}K_{60}$ з осені під оранку: врожайність зерна – 6,67 т/га, вміст білка – 12,5%, що було вищим порівняно з контролем без добрив на 1,99 т/га та 1,2%.

7.2 Буряки цукрові

7.2.1 Осучаснені системи удобрення буряків цукрових

Отримання високих врожаїв буряків цукрових на думку А.С. Заришняка, Я.П. Цвея, Іваніни В.В. [117], В.М. Польового [244], Я.П. Цвея, Н.К. Шиманської [342] лежить у площині, коли поєднують посів гібридами з високим генетичним потенціалом продуктивності та застосовують органо-мінеральну систему удобрення, яка за нинішніх економічних реалій має ґрунтуватись на широкому використанні на добриво побічної продукції сільськогосподарських культур.

Дослідження Я.П. Цвея [319] свідчать, що заробляння на добриво соломи пшениці озимої збагачує ґрунт органічною речовиною та елементами живлення, покращує його фізико-хімічні характеристики та структуру, створюючи сприятливі умови для мінерального живлення буряків цукрових.

На думку А.С. Заришняка [97], Н.А. Харченка [311] сучасні технології вирощування буряків цукрових окрім створення міцної технологічної основи для реалізації генетичного потенціалу рослин буряків цукрових мають включати до системи удобрення засоби інтенсифікації, якими є мікродобрива та регулятори росту рослин.

Зона нестійкого зволоження.

Білоцерківська ДСС. Дослідження проведені у 2017-2019 роках в умовах нестійкого зволоження на чорноземі вилугуваному середньосуглинковому показали, що вибір гібриду, застосування альтернативного органо-мінерального удобрення та проведення

позакоренових підживлень мікродобривами та регуляторами росту є ефективними технологічними заходами підвищення продуктивності буряків цукрових.

За вирощування вітчизняного гібрида Ромул на чорноземі вилугуваному без застосування добрив врожайність коренеплодів в середньому за 2017-2019 роки становила 38,3 т/га. Застосування 5 т/га соломи та компенсаційної дози азоту N₅₀ врожайність коренеплодів порівняно з контролем без добрив підвищилась на 5,5 т/га за абсолютного показника 43,8 т/га, що вказує на високу відзивчивість гібрида Ромул на альтернативне органічне добриво (табл. 7.6).

Таблиця 7.6 Врожайність буряків цукрових за біологізації та оцусачнення системи удобрення, БЦДСС, т/га

№ вар	Фон органіки (фактор А)	Добрива (фактор В)	Роки			Середнє за 2017-2019 рр.
			2017	2018	2019	
1	Без добрив	Без добрив (контроль)	35,4	37,3	42,3	38,3
2		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	52,4	66,8	56,4	58,5
3		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + М	60,1	69,1	57,2	62,1
4		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + М + РР	60,9	71,1	60,0	64,0
5	5 т/га соломи пшениці озимої + N ₅₀	Без добрив (контроль)	37,5	41,0	53,0	43,8
6		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	56,8	70,5	55,5	60,9
7		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + М	59,4	72,7	58,4	63,5
8		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + М + РР	61,2	74,3	59,3	64,9
НІР ₀₅ (фактор А)			1,0	1,4	1,3	1,4
НІР ₀₅ (фактор В)			1,9	2,1	1,7	1,6
НІР ₀₅ (фактор А+В)			2,9	3,5	3,1	3,0

Примітка: М – мікродобриво «Максимус» (бор) позакореново у фазі змикання листків у рядку та міжряддях; РР – регулятор росту «Нано-Мінераліс» позакореново – змикання листків у рядку.

Буряки цукрові добре відгукувались на внесення мінеральних добрив. За застосування дози N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀ з осені під оранку врожайність коренеплодів гібрида Ромул становила 58,5 т/га, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим – на 20,2 т/га. Гібрид значно краще відгукувався на внесення мінеральних добрив порівняно з альтернативним органічним фоном удобрення. Мінеральні

добрива забезпечили прибавку врожайності коренеплодів у 5,0 разів вищу, ніж внесення 5 т/га соломи поєднано з компенсаційною дозою азоту.

Досить ефективним в посівах буряків цукрових визначено внесення мінеральних добрив поєднано з альтернативним органічним фоном удобрення. За застосування 5 т/га соломи + $N_{50} + N_{100}P_{100}K_{100}$ врожайність коренеплодів гібрида Ромул становила 60,9 т/га зі збільшенням до абсолютного контролю без добрив на 22,6 т/га, до фону мінеральних добрив – на 2,4 т/га.

Підвищенню врожайності буряків цукрових за мінерального і альтернативного органо-мінерального фонів удобрення сприяло внесення у позакореневе підживлення мікродобрива Максимус (бор). За проведення двох позакорневих підживлень мікродобривом Максимус у фазі змикання листків у рядку та міжряддях на тлі внесення $N_{100}P_{100}K_{100}$ врожайність коренеплодів у гібрида Ромул становила 62,1 т/га, на тлі 5 т/га соломи + $N_{50} + N_{100}P_{100}K_{100} - 63,5$ т/га. За рахунок мікродобрива Максимус (бор) врожайність коренеплодів на мінеральному фоні удобрення підвищилась на 3,6 т/га, альтернативному органо-мінеральному – на 2,6 т/га.

Найвищих показників урожайності буряків цукрових в середньому за 2017-2019 роки було досягнуто за внесення у позакореневе підживлення мікродобрива Максимус (бор) та регулятора росту «Наномінераліс» на тлі альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. Так, за внесення 5 т/га соломи + $N_{50} + N_{100}P_{100}K_{100} +$ Максимус + «Наномінераліс» врожайність коренеплодів у гібрида Ромул становила 64,9 т/га зі збільшенням до абсолютного контролю без добрив – на 26,6 т/га.

Продуктивність буряків цукрових та ефективність удобрення істотно залежали від погодних умов, які складались у роки проведення досліджень. Найвищої врожайності коренеплодів буряків цукрових було досягнуто у 2018 році, це був рік з теплим і помірно вологим вегетаційним періодом. За внесення $N_{100}P_{100}K_{100}$ врожайність коренеплодів гібрида Ромул становила 66,8 т/га, внесення 5 т/га соломи + $N_{50} + N_{100}P_{100}K_{100} - 70,5$ т/га з перевагою до контролю без добрив – на 29,5 та 33,2 т/га, відповідно.

Проведення позакорневих підживлень мікродобривом і регулятором росту на тлі органо-мінерального удобрення забезпечило максимальні показники врожайності коренеплодів у 2018 році – 74,3 т/га. За рахунок позакорневих підживлень врожайність коренеплодів

у гібрида Ромул підвищилась до основного фону удобрення – на 3,8 т/га.

У 2017 та 2019 роках буряки цукрові гірше відгукувались на застосування добрив. За внесення $N_{100}P_{100}K_{100}$ врожайність гібрида Ромул у 2017 році становила 52,4 т/га, 2019 році – 56,4 т/га. Застосування мінеральних добрив підвищило врожайність до контролю без добрив у 2017 році – на 17,0, 2019 році – на 14,1 т/га.

Застосування 5 т/га соломи + N_{50} + $N_{100}P_{100}K_{100}$ підвищило врожайність коренеплодів у посушливому 2017 році до 56,8 т/га зі зростанням за рахунок органічного фону удобрення до мінерального фону на 4,4 т/га. У 2019 році, коли погодні умови наближались до середніх багаторічних показників, вплив органічних добрив у гібрида Ромул не проявився.

Проведення позакореневих підживлень мікродобривом і регулятором росту на тлі органо-мінерального удобрення у посушливому 2017 році забезпечило врожайність коренеплодів – 61,2 т/га, у звичайному 2019 році – 59,3 т/га. За рахунок позакореневих підживлень врожайність коренеплодів підвищилась до основного фону удобрення у 2017 році – на 4,4, у 2019 році – на 3,8 т/га.

Отже, отримання високих і стабільних врожаїв буряків цукрових можна досягти шляхом сівби високопродуктивним гібридом та застосування органо-мінеральної системи удобрення доповненої внесенням позакоренево мікродобрива і регулятора росту. У середньому за 2017-2019 роки найвищої врожайності коренеплодів досягнуто за вирощування гібрида Ромул та внесення 5 т/га соломи + N_{50} + $N_{100}P_{100}K_{100}$ + мікродобриво + регулятор росту – 64,9 т/га з перевищенням до абсолютного контролю без добрив на 26,6 т/га. При цьому мінеральний фон удобрення підвищив врожайність – на 20,2, органо-мінеральний – на 22,6, позакореневі підживлення – на 4,0 т/га.

Важливим показником, що впливає на продуктивність буряків цукрових є цукристість коренеплодів. У середньому за 2017-2019 роки вирощування гібрида Ромул без внесення добрив супроводжувалось найвищим показником цукристості коренеплодів – 16,9%. За внесення 5 т/га соломи + N_{50} цукристість коренеплодів підвищилась істотно порівняно з контролем без добрив – на 0,4% за абсолютного показника 17,3% (табл. 7.7).

За вирощування гібрида Ромул на тлі внесення $N_{100}P_{100}K_{100}$ цукристість коренеплодів порівняно з контролем без добрив зменшилась – на 0,2% за абсолютного вмісту цукру в коренеплодах

16,7%. За поєднаного застосування мінеральних та соломи пшениці озимої (5 т/га соломи + N₅₀ + N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀) цукристість коренеплодів порівняно з контролем без добрив зменшилась не так істотно – на 0,2% за абсолютного показника 16,9%.

Таблиця 7.7 Цукристість коренеплодів буряків за різних систем удобрення, БЦДСС, %

№ вар	Фон органіки (фактор А)	Добрива (фактор В)	Роки			Середнє за 2017-2019 рр.
			2017	2018	2019	
1	Без добрив	Без добрив (контроль)	17,1	15,2	18,5	16,9
2		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	17,0	14,9	18,2	16,7
3		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + М	17,0	14,9	17,8	16,6
4		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + М + РР	16,9	14,8	17,5	16,4
5	5 т/га соломи пшениці озимої + N ₅₀	Без добрив (контроль)	17,6	15,7	18,5	17,3
6		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	17,3	15,0	18,3	16,9
7		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + М	17,5	15,2	18,4	17,0
8		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + М + РР	16,9	14,9	18,1	16,6
НР ₀₅ (фактор А)			0,2	0,1	0,2	0,2
НР ₀₅ (фактор В)			0,5	0,4	0,7	0,6
НР ₀₅ (фактор А+В)			0,9	0,7	1,1	1,0

Примітка: М – мікродобриво «Максимус» (бор) позакоренево у фазі змикання листків у рядку та міжряддях; РР – регулятор росту «Нано-Мінераліс» позакоренево – змикання листків у рядку.

Внесення позакоренево мікродобрива Максимус (бор) на тлі мінеральної та альтернативної органо-мінеральної систем удобрення супроводжувалось переважно стабілізацією вмісту цукру в коренеплодах на рівні зазначених фонів удобрення.

Поєднане внесення органічних та мінеральних добрив, мікродобрива Максимус (бор) та регулятора росту «Наномінераліс» на тлі максимальної врожайності коренеплодів супроводжувалось найнижчим рівнем їх цукристості. За внесення 5 т/га соломи + N₅₀ + N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀ + Максимус + «Наномінераліс» цукристість коренеплодів становила 16,6%. Додавання до складу системи удобрення регулятора росту «Наномінераліс» позитивно впливало на врожайність коренеплодів понижуючи при цьому їх цукристість.

Показник цукристості коренеплодів значно залежав від погодних умов вирощування в роки досліджень. Найвищий вміст цукру в коренеплодах спостерігали у 2019 році, який відзначався посушливими умовами в кінці вегетаційного періоду. На природному фоні родючості цукристість коренеплодів у 2019 році становила 18,5%, за органічного фону удобрення цукристість стабілізувалась на рівні контролю без добрива. Застосування мінеральних добрив, мікродобрива та регулятора росту в умовах року супроводжувалось зниженням цукристості на 0,2-0,4%.

Високу цукристість коренеплодів отримали в умовах посушливого 2017 року. На контролі без добрив цукристість коренеплодів становила 17,1%. Застосування мінеральних добрив, мікродобрива та регулятора росту на тлі органічного удобрення знизило цукристість коренеплодів порівняно з органічним фоном на 0,7%.

В умовах надмірно теплого 2018 року з наближеною до середнього багаторічного показника кількістю опадів цукристість коренеплодів була найнижчою за роки досліджень за показника на контролі без добрив – 15,2%. За органо-мінерального фону вирощування з внесенням позакоренево мікродобрива і регулятора росту вміст цукрів у коренеплодах зменшився до 14,9%.

Отже, отримання високої цукристості коренеплодів залежало від удобрення та погодних умов, які склались в роки дослідження. Застосування добрив і проведення позакорневих підживлень мікродобривом та регулятором росту в усі роки знижувало порівняно з контролем без добрив вміст цукру в коренеплодах на 0,2-0,7% з максимальним зниженням за застосування поєднано органо-мінеральних добрив, мікродобрива Максимус та регулятора росту «Наномінераліс». Максимальному накопиченню цукрів у коренеплодах сприяли погодні умови 2019 року, коли в осінній період спостерігався різкий дефіцит опадів: на контролі без добрив – 18,5%, за інтенсивної органо-мінеральної системи удобрення – 18,1%.

Найбільш повно ефективність агрохімічних заходів у посівах буряків цукрових відображає показник збору цукру. Він уособлює інтегральне поєднання показників врожайності та цукристості коренеплодів. У середньому за 2017-2019 роки за вирощування гібрида Ромул без внесення добрив збір цукру становив 6,52 т/га, за внесення 5 т/га соломи + N₅₀ збір цукру порівняно з контролем без добрив підвищився на 1,00 т/га досягнувши величини 7,62 т/га. На тлі

внесення під оранку N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀ збір цукру був істотно вищим – 9,71 т/га з перевищенням контролю без добрив на 3,19 т/га. Буряки цукрові значно краще відгукувались на внесення мінеральних добрив порівняно з органічним фоном удобрення. Мінеральні добрива забезпечили прибавку збору цукру у 4,3 рази вищу, ніж внесення 5 т/га соломи поєднано з компенсаційною дозою азоту (табл. 7.8).

Таблиця 7.8 Збір цукру за різних систем удобрення, БЦДСС, т/га

№ вар	Фон органіки (фактор А)	Добрива (фактор В)	Роки			Середнє за 2017-2019 рр.
			2017	2018	2019	
1	Без добрив	Без добрив (контроль)	6,05	5,67	7,83	6,52
2		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	8,91	9,95	10,27	9,71
3		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + М	10,22	10,30	10,19	10,24
4		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + М + РР	10,29	10,51	10,50	10,43
5	5 т/га соломи пшениці озимої + N ₅₀	Без добрив (контроль)	6,61	6,44	9,81	7,62
6		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	9,83	10,58	10,16	10,19
7		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + М	10,40	11,05	10,75	10,73
8		N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + М + РР	10,34	11,07	10,73	10,71

Примітка: М – мікродобриво «Максимум» (бор) позакоренево у фазі змикання листків у рядку та міжряддях; РР – регулятор росту «Нано-Мінераліс» позакоренево – змикання листків у рядку.

Підвищення продуктивності буряків цукрових спостерігали за поєданого внесення органічних і мінеральних добрив. Застосування 5 т/га соломи + N₅₀ + N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀ забезпечило збір цукру 10,19 т/га, що порівняно з абсолютним контролем без добрив було вищим на 3,77 т/га.

Підвищенню продуктивності буряків цукрових сприяло позакореневе внесення мікродобрива Максимум (бор) на мінеральному та органо-мінеральному фонах удобрення. За внесення N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀ + Максимум (бор) збір цукру за вирощування гібрида Ромул становив 10,24 т/га, 5 т/га соломи + N₅₀ + N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀ + Максимум (бор) – 10,73 т/га. За введення до системи удобрення стимулятора росту (5 т/га соломи + N₅₀ + N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀ + Максимум (бор) + «Наномінераліс») збір цукру зберігався на рівні 10,71 т/га з перевищенням контролю без добрив на 4,19 т/га. Стимулятор росту

«Наномінераліс» не показав ефективності на тлі альтернативного органо-мінерального удобрення буряків цукрових у роки досліджень.

Найвищого збору цукру було досягнуто у 2018 році за внесення 5 т/га соломи + $N_{50} + N_{100}P_{100}K_{100}$ + Максимус (бор) – 11,05 т/га. У 2017 та 2019 роках зазначена система удобрення забезпечила збір цукру – відповідно 10,40 та 10,75 т/га. Порівняно з абсолютним контролем без добрив інтенсивна органо-мінеральна система удобрення підвищила збір цукру у 2017 році – на 4,29 т/га, 2018 році – на 5,40, 2019 році – на 2,90 т/га.

Отже, вирощування гібрида Ромул і застосування інтенсивної органо-мінеральної системи удобрення (5 т/га соломи + $N_{50} + N_{100}P_{100}K_{100}$ + Максимус) забезпечило стабільно високий понад 10,5 т/га збір цукру в усі роки дослідження.

Верхняцька ДСС. Дослідження проведені у 2018-2020 роках в умовах нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому показали, що поєднання засобів біологізації системи удобрення та її осучаснення шляхом позакореневих підживлень мікродобривами та регуляторами росту може бути ефективним у підвищенні продуктивності буряків цукрових. Так, у середньому за 2018-2020 роки врожайність коренеплодів буряків цукрових найнижчою була на контролі без добрив – 41,2 т/га з варіацією по роках дослідження в межах 38,3-44,6 т/га. Внесення 5 т/га соломи пшениці озимої без застосування мінеральних добрив було мало ефективним, врожайність порівняно з контролем без добрив підвищилась на 0,4 т/га досягнувши величини 41,6 т/га (табл. 7.9).

Підвищенню врожайності буряків цукрових сприяло поєднане заробляння у ґрунт 5 т/га соломи + Філазоніт, 10 л/га (деструктор): врожайність коренеплодів – 43,8 т/га з перевищенням контролю – на 2,6 т/га. Аналогічного підвищення врожайності коренеплодів досягали за незбалансованого за азотом мінерального живлення буряків цукрових на фоні заробляння у ґрунт соломи. За внесення 5 т/га соломи + $P_{90}K_{90}$ з осені під оранку: врожайність коренеплодів становила 43,9 т/га з перевищенням контролю – на 2,7 т/га.

Врожайність коренеплодів буряків цукрових значно зростала за внесення повного мінерального добрива з осені під оранку на тлі заробляння у ґрунт соломи пшениці озимої. За внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ з осені під оранку: врожайність коренеплодів становила 49,9 т/га зі зростанням до контролю без добрив – на 8,7 т/га.

Таблиця 7.9 Врожайність буряків цукрових за біологізаціі та осучаснення систем удобрення, ВДСС, 2018-2020 рр.

№ вар	Варіант	Роки			Середнє за 2018-2020 рр.
		2018	2019	2020	
1	Без добрив (контроль)	44,6	40,7	38,3	41,2
2	Солома, 5 т/га - Фон	46,3	41,6	37,0	41,6
3	Фон + Філазоніт, 10 л/га	48,7	42,4	40,4	43,8
4	Фон + P ₉₀ K ₉₀ – під оранку	50,1	42,0	39,5	43,9
5	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₉₀ у передпосівну культивуацію	57,1	57,0	53,3	55,8
6	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₁₂₀ - « -	59,4	60,0	52,1	57,2
7	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₁₅₀ - « -	60,2	59,8	56,5	58,8
8	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₉₀ + М	59,0	57,3	55,1	57,1
9	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₉₀ + (М + РР)	61,6	58,0	55,0	58,2
10	Фон + Філазоніт + P ₉₀ K ₉₀ + N ₉₀	63,0	60,6	54,8	59,5
11	Фон + Філазоніт + P ₉₀ K ₉₀ + N ₉₀ + (М + РР)	62,8	63,5	56,4	60,9
НР ₀₅		3,7	4,2	3,5	3,8
Р, %		2,6	3,0	2,6	2,7

Примітка: Філазоніт – деструктор соломі вносили перед її зароблянням у ґрунт, М – мікродобриво «Folcrop combi» та РР – регулятор росту «Folcrop amin» вносили позакоренево у фазі змикання листків у рядку

Ефективним агрохімічним засобом за вирощування буряків цукрових на тлі біологізаціі визначено внесення азотних добрив весною у передпосівну культивуацію. За внесення азоту у передпосівну культивуацію в дозі 90 кг/га на тлі 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку врожайність коренеплодів становила 55,8 т/га з перевищенням контролю без добрив на 14,6 т/га.

Збільшення дози азотних добрив у передпосівну культивуацію до 120 та 150 кг/га супроводжувалось врожайністю коренеплодів – 57,2 та 58,8 т/га, відповідно. Зазначені дози азотних добрив не забезпечили статистично достовірного збільшення врожайності коренеплодів порівняно з дозою азоту 90 кг/га. Це свідчить, що доза азоту 90 кг/га у передпосівну культивуацію на тлі 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку була найбільш економічно доцільною.

Проведення кореляційно-регресійного аналізу показало істотну регресійну залежність між дозою азотних добрив весною та врожайністю коренеплодів буряків цукрових з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 0,9271-0,9978$, яка простежувалась в усі роки

досліджень (рис. 7.9). Це свідчить, що за мінливого клімату із надзвичайно теплими, часом посушливими погодними умовами, з нерівномірним розподілом опадів упродовж вегетаційного періоду, застосування азотних добрив весною у передпосівну культивуацію є запорукою отримання високих і стабільних врожаїв буряків цукрових. За засушливої першої половини вегетації і надмірно вологої другої половини (2018) буряки цукрові добре відгукувались на зростання доз внесення азотних добрив з 90 до 150 кг/га - спостерігалась пряmlinійна залежність. У 2019 та 2020 роках з вологою першою половиною вегетації і сухою другою половиною спостерігали поліномну квадратичну залежність між дозою азотних добрив і врожайністю коренеплодів, а найбільш оптимальною дозою азоту можна вважати 90 кг/га.

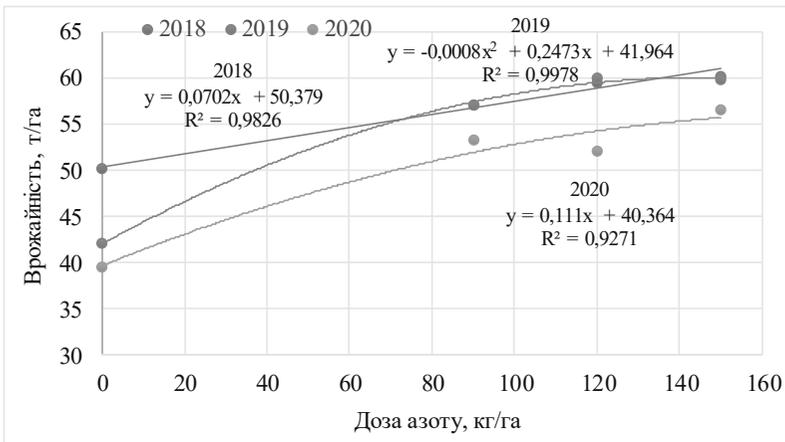


Рис. 7.9 Регресійна залежність між врожайністю коренеплодів буряків цукрових та дозою внесення азотних добрив, ВДСС. 2018 рік – засушлива перша половина вегетації і надмірно волога друга половина; 2019 та 2020 роки – волога перша половина вегетації і суха друга половина.

Важливим елементом сучасних технологій є осучаснення системи удобрення шляхом проведення позакореневих підживлень мікродобривами та регуляторами росту. Результати досліджень показали, що в середньому за 2018-2020 рр. ефективним визначено внесення поєднано мікродобрива «Folscrop combi» та регулятора росту

«Folcrop amin» у фазі змикання листків у рядках на тлі системи удобрення, яка включала 5 т/га соломи + Філазоніт, 10 л/га + P₉₀K₉₀ під оранку + N₉₀ весною у передпосівну культивуацію: врожайність коренеплодів – 60,9 т/га з перевищенням контролю без добрив на 19,7 т/га. Слід зазначити, що осучаснення системи удобрення мікродобривом і регулятором росту було ефективним за умови, коли основне удобрення включало застосування деструктора соломи Філазоніт в дозі 10 л/га.

У варіантах без внесення деструктора Філазоніт, 10 л/га позакореневе підживлення буряків цукрових мікродобривом «Folcrop combi» та поєднано Folcrop combi» + «Folcrop amin» на тлі 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку + N₉₀ весною визначено малоефективним: врожайність коренеплодів 57,1 та 58,2 т/га зі зростанням до варіанту 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку + N₉₀ весною – відповідно на 1,3 та 2,4 т/га, що було в межах статистичної похибки і вказує лише на тенденцію зростання врожайності.

Аналіз врожайності коренеплодів буряків цукрових по роках дослідження показав, що застосування деструктора соломи було найефективнішим у 2018 році, коли перша половина вегетації (квітень-червень) була засушлива з середнім значенням ГТК за три місяці – 0,60. За внесення 5 т/га соломи + Філазоніт, 10 л/га прибавка врожайності коренеплодів до контролю без добрив становила 4,1 т/га, за внесення 5 т/га соломи + Філазоніт, 10 л/га + N₉₀P₉₀K₉₀ – 11,2, тоді як у роки 2019 та 2020 – відповідно 0,9 і 2,1 та 10,9 і 7,9 т/га.

За біологізації системи удобрення без внесення деструктора Філазоніт, 10 л/га ефективність добрив визначено значно вищою у 2019 та 2020 роках, коли перша половина вегетації (квітень-червень) була волога (ГТК – 1,54 та 1,73, відповідно), а друга половина (липень-вересень) була суха або дуже засушлива (ГТК – 0,34 та 0,51, відповідно). За внесення 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку + N₉₀ весною у передпосівну культивуацію врожайність коренеплодів у 2019 році перевищила контроль без добрив – на 16,3 т/га, 2020 році – 15,0, тоді як у 2018 році перевищення становило – 12,5 т/га.

Отже, ефективність системи удобрення на основі біологізації була найвищою у роки, коли перша половина вегетації (квітень-червень) була волога (ГТК = 1,54-1,73), а друга половина (липень-вересень) була суха або дуже засушлива (ГТК = 0,34-0,51).

За біологізації удобрення буряків цукрових та проведення позакореневих підживлень мікродобривом «Folcrop combi» поєднано з регулятором росту «Folcrop amin» показало високу ефективність лише у 2018 році в умовах посушливої першої половини вегетації. За внесення 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку + N₉₀ у передпосівну культивуацію + «Folcrop combi» + «Folcrop amin» у фазі змикання листків у рядках врожайність коренеплодів становила 61,6 т/га, за доповнення зазначеної системи удобрення деструктором соломи Філазоніт, 10 л/га – 62,8, що порівняно з внесенням 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку + N₉₀ у передпосівну культивуацію було вищим – відповідно на 4,5 та 5,7 т/га.

У роки з вологою першою половиною вегетації (2019-2020) ефективність від проведення позакореневих підживлень поєднано мікродобривом «Folcrop combi» та регулятором росту «Folcrop amin» була менш вираженою. У зазначені роки проявлялась лише тенденція до підвищення врожайності, яка була статистично недостовірною.

Отже, за біологізації системи удобрення в умовах нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому визначальним фактором підвищення врожайності була оптимізація доз і способів внесення азотних добрив за повного мінерального удобрення буряків цукрових. У рік з посушливою першою половиною вегетації (2018) значному підвищенню врожайності на тлі біологізації сприяло внесення деструктора Філазоніт, 10 л/га за заробляння у ґрунт соломи та проведення позакореневих підживлень поєднано мікродобривом «Folcrop combi» та регулятором росту «Folcrop amin» у фазі змикання листків у рядках.

Застосування заходів біологізації удобрення буряків цукрових неоднозначно впливало на цукристість коренеплодів. У середньому за 2018-2020 роки цукристість коренеплодів у досліді становила 17,0-17,6%. На контролі без добрив вміст цукру в коренеплодах становив 17,4%. Внесення 5 т/га соломи та її поєднання з деструктором Філазоніт, 10 л/га підвищило цукристість коренеплодів порівняно з контролем без добрив на 0,2%, досягнувши величини 17,6% (табл. 7.10).

Аналогічного підвищення цукристості коренеплодів досягали за внесення фосфорно-калійних добрив на фоні соломи (5 т/га соломи + P₉₀K₉₀) з осені під оранку: цукристість коренеплодів становила 17,6% з перевищенням контролю без добрив на 0,2%.

Таблиця 7.10 Вміст цукру в коренеплодах буряків цукрових за біологізації та осучаснення систем удобрення, ВДСС, %

№ вар	Варіант	Роки			Середнє за 2018-2020 рр.
		2018	2019	2020	
1	Без добрив (контроль)	14,9	18,5	18,8	17,4
2	Солома, 5 т/га - Фон	14,9	19,0	18,9	17,6
3	Фон + Філазоніт, 10 л/га	15,0	19,0	18,7	17,6
4	Фон + P ₉₀ K ₉₀ – під оранку	14,9	19,2	18,8	17,6
5	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₉₀ у передпосівну культивуацію	14,6	19,0	18,6	17,4
6	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₁₂₀ - « -	14,4	18,8	18,7	17,3
7	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₁₅₀ - « -	14,1	18,6	18,4	17,0
8	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₉₀ + М	14,8	19,0	18,5	17,4
9	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₉₀ + (М + РР)	14,9	18,9	18,7	17,5
10	Фон + Філазоніт + P ₉₀ K ₉₀ + N ₉₀	14,8	19,1	18,4	17,4
11	Фон + Філазоніт + P ₉₀ K ₉₀ + N ₉₀ + (М + РР)	14,4	19,1	18,5	17,3
НІР ₀₅		0,4	0,5	0,5	0,4
Р, %		2,1	2,3	2,2	2,0

Примітка: Філазоніт – деструктор соломі вносили перед її зароблянням у ґрунт, М – мікродобриво «Folcrop combi» та РР – регулятор росту «Folcrop amin» вносили позакоренево у фазі змикання листків у рядку

Цукристість коренеплодів істотно знижувалась за внесення високих доз азотних добрив весною у передпосівну культивуацію. За внесення азоту у передпосівну культивуацію в дозі 90 кг/га на тлі 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку цукристість коренеплодів становила 17,4%, що було на рівні контролю без добрив. Збільшення дози азотних добрив у передпосівну культивуацію до 120 та 150 кг/га знизило цукристість коренеплодів до 17,3% та 17,0%, що було меншим порівняно з контролем без добрив – відповідно на 0,1% та 0,4%. Застосування доз азотних добрив весною понад 120 кг/га обумовило значне зниження цукристості коренеплодів.

Осучаснення системи удобрення буряків цукрових шляхом проведення позакорневих підживлень мікродобривом та регулятором росту не мало значного впливу на цукристість коренеплодів. У середньому за 2018-2020 рр. внесення поєднано мікродобрива «Folcrop combi» та регулятора росту «Folcrop amin» у фазі змикання листків у рядках на тлі 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку + N₉₀ у передпосівну культивуацію забезпечило цукристість коренеплодів

17,5%, що на 0,1% було вищим аналогічного варіанта без позакореневих підживлень. За включення до зазначеної системи удобрення деструктора соломи Філазоніт, 10 л/га цукристість коренеплодів становила 17,3%, що на 0,1% було нижчим аналогічного варіанта без позакореневих підживлень.

Отже, проведення позакореневих підживлень мікродобривом «Folcrop combi» та регулятором росту «Folcrop amin» на тлі біологізації системи удобрення буряків цукрових не впливало істотно на цукристість коренеплодів.

Аналіз цукристості коренеплодів по роках дослідження показав, що у 2019 та 2020 роках, коли перша половина вегетації (квітень-червень) була волога (ГТК – 1,54 та 1,73, відповідно), а друга половина (липень-вересень) була суха або дуже засушлива (ГТК – 0,34 та 0,51, відповідно) цукристість коренеплодів у досліді була значно вищою, ніж у 2018 році, коли у другій половині вегетації склались занадто вологі погодні умови. Так, у 2019 році цукристість коренеплодів у досліді коливалась в межах 18,5-19,2%, у 2020 році – в межах 18,4-18,9%, тоді як у 2018 році – 14,1-15,0%.

В умовах 2018 року найвища цукристість коренеплодів була на контролі без добрив та за внесення 5 т/га соломи – 14,9%. Внесення азотних добрив весною у передпосівну культивуацію на тлі заробляння соломи зменшило цукристість до 14,6-14,1%. Збільшення дози азоту з 90 до 150 кг/га послідовно зменшувало вміст цукру в коренеплодах.

Осучаснення системи удобрення у 2018 році шляхом позакореневих підживлень мікродобривом «Folcrop combi» та регулятором росту «Folcrop amin» на тлі біологізації удобрення буряків цукрових підвищило цукристість коренеплодів до 14,8-14,9%, що сприяло підвищенню їх біологічної продуктивності.

У 2019 та 2020 роках за посушливої другої половини вегетації застосування системи удобрення на основі біологізації стабілізувало цукристість коренеплодів, або сприяло їй підвищенню. Так, у 2019 році на контролі без добрив цукристість коренеплодів становила 18,5%, за внесення азотних добрив весною на тлі 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ – 18,6-19,0%; у 2020 році на контролі без добрив цукристість коренеплодів – 18,8%, за весняного внесення азотних добрив значне зниження цукристості коренеплодів спостерігали лише за дози азоту 150 кг/га до 18,4%.

Осучаснення системи удобрення у 2019-2020 роках шляхом позакореневих підживлень мікродобривом «Folcrop combi» та

регулятором росту «Folcrop amin» на тлі біологізації удобрення буряків цукрових не впливало істотно на цукристість коренеплідів. В зазначених варіантах вона становила 18,5-18,7%.

Отже, у середньому за 2018-2020 рр. застосування азотних добрив в дозі 90 кг/га у передпосівну культивуацію весною на тлі внесення 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку забезпечило цукристість коренеплідів на рівні контролю без добрив. Внесення азотних добрив весною в дозі понад 90 кг/га (120-150 кг/га) супроводжувалось зниженням цукристості на 0,1-0,4%. Осучаснення системи удобрення шляхом проведення позакорневих підживлень мікродобривом «Folcrop combi» та регулятором росту «Folcrop amin» на тлі біологізації системи не впливало істотно на цукристість коренеплідів.

Аналіз збору цукру у 2018-2020 рр. показав, що на контролі без добрив збір цукру становив 7,17 т/га. Внесення 5 т/га соломи пшениці озимої без застосування мінеральних добрив було мало ефективним, збір цукру порівняно з контролем без добрив підвищилась на 0,15 т/га досягнувши величини 7,32 т/га (рис. 7.10).

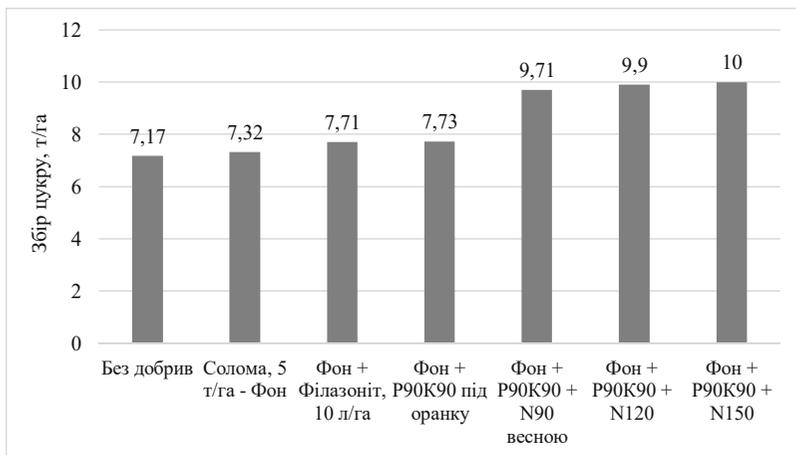


Рис. 7.10 Збір цукру за біологізації системи удобрення, ВДСС, 2018-2020 рр., т/га

Біологічна продуктивність незначно зростає за поєднаного внесення 5 т/га соломи + Філазоніт, 10 л/га та внесення неповного мінерального добрива на тлі 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ з осені під оранку:

збір цукру становив – відповідно 7,71 та 7,73 т/га з перевищенням контролю без добрив – на 0,54 та 0,56 т/га.

Ефективним агрохімічним засобом у підвищенні біологічної продуктивності буряків цукрових визначено внесення азотних добрив весною у передпосівну культивуацію на тлі біологізації системи удобрення. За внесення азоту у передпосівну культивуацію в дозі 90 кг/га на фоні 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку збір цукру становив 9,71 т/га з перевищенням контролю на 2,54 т/га.

Збільшення дози азотних добрив у передпосівну культивуацію до 120 та 150 кг/га супроводжувалось збором цукру – 9,90 та 10,0 т/га, що порівняно з дозою 90 кг/га було більшим – відповідно на 0,19 та 0,29 т/га. Враховуючи високу вартість азотних добрив внесення азотних весною понад 90 кг/га було мало ефективним.

Проведення кореляційно-регресійного аналізу показало істотну регресійну залежність між дозою азотних добрив весною та збором цукру з коефіцієнтом детермінації $r^2 = 0,9164-0,9965$, яка простежувалась в усі роки досліджень (рис. 7.11).

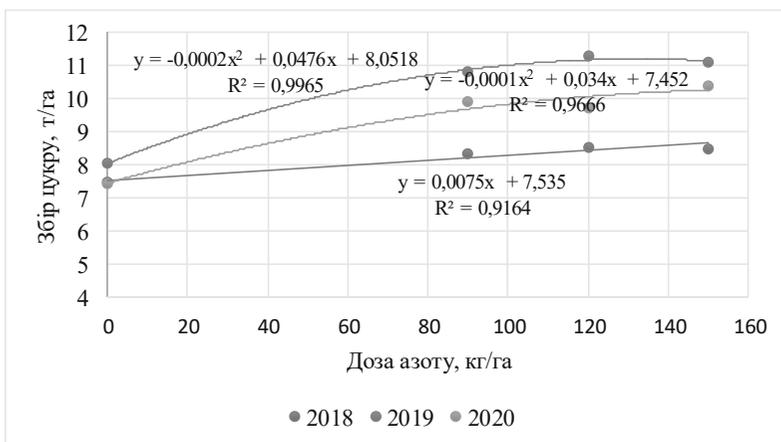


Рис. 7.11 Регресійна залежність між біологічним збором цукру та дозою внесення азотних добрив, ВДСС. 2018 рік – засушлива перша половина вегетації і надмірно волога друга половина; 2019 та 2020 роки – волога перша половина вегетації і суха друга половина.

Збільшення дози внесення азотних добрив з 90 до 150 кг/га по роках дослідження супроводжувалось незначним зростанням збору

цукру – в межах 0,15-0,49 т/га. Це є свідченням того, що найбільш оптимальною дозою азоту за вирощування буряків цукрових у даній ґрунтово-кліматичній зоні є 90 кг/га. Збільшення дози азоту до 150 кг/га тільки в окремі роки (2020) супроводжувалось зростанням збору цукру на 0,49 т/га, що економічно можна вважати доцільним.

Отже, в умовах сучасного виробництва за гострого дефіциту гною вирощування буряків цукрових на тлі біологізації системи удобрення є ефективним агрохімічним засобом. Найефективнішим визначено внесення 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку + N₉₀ весною у передпосівну культивуацію – збір цукру становив 9,71 т/га.

Важливим елементом сучасних технологій є осучаснення системи удобрення шляхом проведення позакореневих підживлень мікродобривами та регуляторами росту. Результати досліджень показали, що в середньому за 2018-2020 рр. внесення мікродобрива «Folcrops combi» у фазі змикання листків у рядках на тлі біологізації системи удобрення (5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку + N₉₀ весною у передпосівну культивуацію) забезпечило збір цукру 9,94 т/га, що порівняно з біологічним фоном удобрення було вищим на 0,23 т/га. За внесення додатково регулятора росту «Folcrops amin» збір цукру підвищився до 10,19 т/га з перевищенням біологічного фону удобрення – на 0,48 т/га (рис. 7.12).

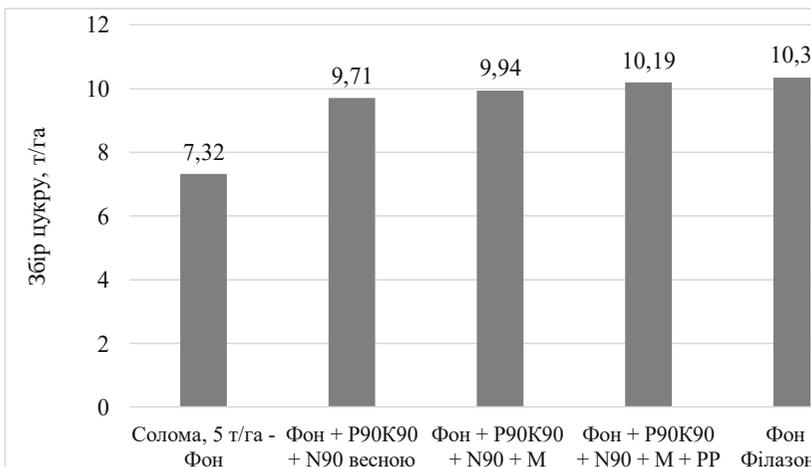


Рис. 7.12 Збір цукру за осучаснення системи удобрення, ВДСС, 2018-2020 рр., т/га Примітка: Філазоніт – деструктор соломи, М – мікродобриво «Folcrops combi» та PP – регулятор росту «Folcrops amin»

Ефективність позакоренових підживлень мікродобривом «Folgor combi» поєднано з регулятором росту «Folgor amin» істотно зросла за доповнення основного удобрення деструктором соломи Філазоніт, 10 л/га. За підживлення поєднано мікродобривом «Folgor combi» та регулятором росту «Folgor amin» на тлі 5 т/га соломи + Філазоніт, 10 л/га + $P_{90}K_{90}$ під оранку + N_{90} весною у передпосівну культивуацію збір цукру становив 10,54 т/га з перевищенням біологічного фону удобрення – на 0,83 т/га.

Отже, осучаснення системи удобрення на основі біологізації проведенням позакоренового підживлення буряків цукрових поєднано мікродобривом «Folgor combi» та регулятором росту «Folgor amin» дозволило підвищити збір цукру на 0,48-0,83 т/га.

У процесі виробництва цукру на заводі частина цукру, яка міститься у коренеплодах втрачається. Величина втрат залежить від технологічної якості коренеплодів, яка визначається такими параметрами як вміст небілкового азоту в коренеплодах, амінокислот, бетаїну, пурину, нітратів. Зазначені сполуки не видаляються у процесі дефекації-сатурації, переходять у мелясу і обумовлюють втрати в ній цукру [273].

Основними чинниками, які спричиняють втрати цукру у процесі його виробництва на заводі за даними П.М. Силіна [273] є вміст «шкідливого» азоту та зольних елементів у мелясі. «Шкідливий» азот і солі зольних елементів – калію, натрію, кальцію та магнію під час очищення дифузного соку не видаляється і утримують частину цукру від кристалізації.

Результати досліджень тимчасового досліді показали, що у середньому за 2018-2020 роки вміст зольних елементів у коренеплодах за застосування добрив підвищувався, що спричиняло деяке погіршення їх технологічної якості. На контролі без добрив вміст зольних елементів в коренеплодах був найменшим: вміст калію становив 3,20 мг-екв./100 г, натрію – 2,01, альфа-амінного азоту – 2,46 мг-екв./100 г сирової маси, що забезпечило чистоту нормально очищеного соку 91,8% і супроводжувалось втратами цукру в мелясі 2,25% (табл. 7.11).

Внесення 5 т/га соломи, поднано 5 т/га соломи + Філазоніт, 10 л/га та 5 т/га соломи + $P_{90}K_{90}$ – під оранку не впливали істотно на технологічну якість коренеплодів буряків. Вміст калію в зазначених варіантах знаходився в межах 3,20-3,64 мг-екв./100 г, натрію – 1,96-2,04, альфа-амінного азоту – 2,38-2,49 мг-екв./100 г сирової маси.

Поєднане застосування соломи та деструктора чи фосфорно-калійних добрив зберігало вміст зольних елементів на достатньо низькому рівні, забезпечило чистоту нормально очищеного соку на рівні 91,7-92,0% і супроводжувалось втратами цукру в мелясі на рівні 2,23-2,27%.

Таблиця 7.11 Технологічна якість коренеплідів буряків цукрових за біологізації та оцучаснення системи удобрення, ВДСС, 2018-2020 рр.

№ вар	Варіант	Вміст на 100 г буряків, мг-екв			Чисто-та соку, %	Втрати цукру в мелясі, %	Вихід цукру, %
		К	Na	а-N			
1	Без добрив (контроль)	3,20	2,01	2,46	91,8	2,25	14,3
2	Солома, 5 т/га - Фон	3,22	2,04	2,38	92,0	2,23	14,5
3	Фон + Філазоніт, 10 л/га	3,20	1,96	2,49	91,8	2,25	14,5
4	Фон + P ₉₀ K ₉₀ – під оранку	3,64	1,98	2,44	91,7	2,27	14,3
5	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₉₀ у передпосівну культивуацію	4,09	2,03	3,26	91,3	2,34	14,2
6	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₁₂₀ - « -	4,14	2,00	3,34	91,0	2,41	14,0
7	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₁₅₀ - « -	4,20	2,05	3,44	90,6	2,46	13,6
8	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₉₀ + М	4,05	2,03	3,12	91,4	2,30	14,2
9	Фон + P ₉₀ K ₉₀ під оранку + N ₉₀ + (М + РР)	4,07	2,00	3,17	91,4	2,29	14,0
10	Фон + Філазоніт + P ₉₀ K ₉₀ + N ₉₀	4,10	2,02	3,14	91,5	2,32	14,2
11	Фон + Філазоніт + P ₉₀ K ₉₀ + N ₉₀ + (М + РР)	4,03	2,00	3,13	91,5	2,30	14,1

Примітка: Філазоніт – деструктор соломі вносили перед її зароблянням у ґрунт, М – мікродобриво «Folcrop combi» та РР – регулятор росту «Folcrop amin» вносили позакоренево у фазі змикання листків у рядку.

Втрати цукру у мелясі істотно зростали за весняних строків внесення азотних добрив на тлі біологізації удобрення буряків цукрових. За внесення азоту у передпосівну культивуацію в дозі 90 кг/га на тлі 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку вміст калію в коренеплодах становив 4,09 мг-екв./100 г, натрію – 2,03, альфа-амінного азоту – 3,26 мг-екв./100 г сирової маси, що забезпечило

чистоту нормально очищеного соку 91,3% і супроводжувалось втратами цукру в мелясі 2,34%.

Збільшення дози азотних добрив у передпосівну культивуацію до 120 та 150 кг/га збільшило переважно вміст альфа-амінного азоту у коренеплодах. Зазначені дози азоту на тлі біологізації системи удобрення обумовили вміст калію в коренеплодах 4,14-4,20 мг-екв./100 г, натрію – 2,00-2,05, альфа-амінного азоту – 3,34-3,44 мг-екв./100 г сирі маси, що забезпечило чистоту нормально очищеного соку 90,6-91,0% і супроводжувалось втратами цукру в мелясі 2,41-2,46%. Внесення азотних добрив весною у передпосівну культивуацію в дозі 120-150 кг/га збільшило втрати цукру в мелясі на 0,07-0,12% порівняно з дозою 90 кг/га.

Осучаснення системи удобрення внесенням мікродобрива і регулятора росту у позакореневе підживлення буряків цукрових на тлі біологізації покращило технологічну якість коренеплодів, зменшило непродуктивні втрати цукру у процесі виробництва. За внесення поєднано мікродобрива «Folcrop combi» та поєднано Folcrop combi» + «Folcrop amin» у фазі змикання листків у рядках на тлі 5 т/га соломи + P₉₀K₉₀ під оранку + N₉₀ весною у передпосівну культивуацію вміст калію в коренеплодах становив 4,05-4,07 мг-екв./100 г, натрію – 2,00-2,03, альфа-амінного азоту – 3,12-3,17 мг-екв./100 г сирі маси, що забезпечило чистоту нормально очищеного соку 91,4% і супроводжувалось втратами цукру в мелясі 2,29-2,30%. Додавання деструктора Філазоніт, 10 л/га до зазначених систем удобрення не впливало на технологічну якість коренеплодів буряків цукрових.

Отже, на технологічну якість коренеплодів буряків цукрових впливало внесення повного мінерального добрива на тлі біологізації системи удобрення. За застосування азотних добрив весною у передпосівну культивуацію в коренеплодах збільшувався вміст альфа-амінного азоту, що погіршувало технологічну якість коренеплодів порівняно з внесенням повного мінерального добрива під оранку. Збільшення дози азотних добрив весною з 90 до 120 та 150 кг/га погіршило технологічну якість коренеплодів і збільшило втрати цукру в мелясі на 0,07% та 0,12%, відповідно. За поєднаного внесення мікродобрива «Folcrop combi» + «Folcrop amin» у фазі змикання листків у рядках на тлі біологізації системи удобрення за дози азоту весною 90 кг/га технологічна якість коренеплодів покращувалась, а втрати цукру в мелясі зменшувались на 0,04-0,05%.

Зона достатнього зволоження. На Уладово-Люлинецькій ДСС в умовах достатнього зволоження високу ефективність в посівах буряків цукрових показало застосування азотних добрив у поєднанні з позакореневими підживленнями мікродобривами. У середньому за 2020-2022 роки врожайність буряків цукрових на контролі без добрив становила 43,3 т/га з коливаннями по роках дослідження від 40,1 до 45,3 т/га. Незначно підвищилась врожайність за внесення соломи. Застосування 5 т/га соломи підвищило врожайність коренеплодів до контролю без добрив на 2,2 т/га за абсолютного показника 45,5 т/га (табл. 7.12).

Таблиця 7.12 Вплив доз азотних добрив та мікродобрив на продуктивність буряків цукрових, УЛДСС, 2020-2022 рр., т/га

№ вар	Варіант	Врожайність, т/га	Цукристість, %	Збір цукру, т/га
1	Без добрив (контроль)	43,3	18,2	7,9
2	Солома, 5 т/га - Фон	45,5	18,3	8,3
3	Фон + N ₉₀ P ₉₀ K ₁₃₀ під оранку	60,4	18,1	11,0
4	Фон + P ₉₀ K ₁₃₀ під оранку + N ₆₀ весною	60,5	18,1	11,0
5	Фон + P ₉₀ K ₁₃₀ + N ₉₀ - « -	64,5	18,0	11,6
6	Фон + P ₉₀ K ₁₃₀ + N ₁₂₀ - « -	66,1	17,9	11,9
7	Фон + P ₉₀ K ₁₃₀ + N ₉₀ + В позакоренево	65,8	18,2	12,0
8	Фон + P ₉₀ K ₁₃₀ + N ₉₀ + В, Мп, Мо, Zn, Fe позакоренево	67,0	18,3	12,3
	НІР ₀₅	3,6	0,4	
	Р, %	2,9	2,6	

Примітка: мікродобрива вносили позакоренево двічі – у фази змикання листків в рядках та міжряддях

Значному підвищенню врожайності сприяло поєднане внесення мінеральних добрив і соломи пшениці озимої. За внесення 5 т/га соломи + N₉₀P₉₀K₁₃₀ під оранку врожайність буряків цукрових становила 60,4 т/га зі зростанням до контролю без добрив на 17,1 т/га. Внесення добрив зменшило варіювання врожайності по роках дослідження: найменшу врожайність спостерігали у 2020 році – 58,6 т/га, найвищу у 2021 році – 62,1 т/га.

Ефективним в умовах достатнього зволоження визначено внесення азотних добрив весною у передпосівну культивуацію буряків цукрових. За внесення 5 т/га соломи + $P_{90}K_{130}$ під оранку + N_{60} у передпосівну культивуацію врожайність буряків цукрових становила 60,5 т/га зі зростанням до контролю без добрив на 17,2 т/га. За дози азотних добрив весною 60 кг/га досягалась врожайність коренеплодів на рівні дози азоту 90 кг/га внесеного з осені під оранку, що може бути наслідком зменшення непродуктивних втрат азоту із ґрунту, яке має місце у осінньо-зимовий період під час інтенсивних опадів.

Збільшення дози азоту у передпосівну культивуацію з 60 до 90 та 120 кг/га забезпечило подальше зростання врожайності буряків цукрових. За внесення 5 т/га соломи + $P_{90}K_{130}$ під оранку + N_{90} у передпосівну культивуацію врожайність буряків цукрових становила 64,5 т/га зі зростанням до контролю без добрив на 21,2 т/га; за дози азоту весною 120 кг/га – врожайність становила 66,1 т/га зі збільшенням до контролю без добрив на 22,8 т/га.

Підвищення врожайності буряків цукрових спостерігали за проведення двох позакореневих підживлень бором та композиційним мікродобривом, яке містило шість мікроелементів. За внесення 5 т/га соломи + $P_{90}K_{130}$ під оранку + N_{90} у передпосівну культивуацію + бор позакоренево у фазі змикання листків у рядах та міжряддях врожайність буряків цукрових становила 65,8 т/га зі зростанням до контролю без добрив на 22,5 т/га; за внесення композиційного мікродобрива – врожайність коренеплодів становила 67,0 т/га зі зростанням до контролю без добрив на 23,7 т/га.

Отже, за вирощування буряків цукрових в умовах достатнього зволоження на чорноземі вилугуваному ефективним визначено внесення азотних добрив весною у передпосівну культивуацію в дозі 90 кг/га на фоні $P_{90}K_{130}$ під оранку та проведення двох позакореневих підживлень композиційним мікродобривом у фазі змикання листків у рядах та міжряддях.

Застосування добрив на чорноземі вилугуваному спричинило незначне зниження цукристості коренеплодів буряків цукрових. У середньому за 2020-2022 рр. на контролі без добрив цукристість коренеплодів становила 18,2%, за внесення 5 т/га соломи була незначно вищою – 18,3%.

Застосування мінеральних добрив з осені під оранку в дозі $N_{90}P_{90}K_{130}$ неістотно знизило цукристість коренеплодів порівняно з контролем без добрив на 0,1% за абсолютного показника 18,1%.

Зниження цукристості коренеплодів спостерігали за весняних строків внесення азотних добрив. За дози азоту весною у передпосівну культивуацію 60 кг/га цукристість коренеплодів становила 18,1%, дози 90 кг/га – 18,0%, дози 120 кг/га – 17,9%. Внесення азотних добрив у передпосівну культивуацію в дозі 60-120 кг/га на тлі $P_{90}K_{130}$ під оранку знизило цукристість коренеплодів порівняно з контролем без добрив на 0,1-0,3%.

Стабілізації цукристості коренеплодів на тлі весняних термінів внесення азотних добрив сприяло проведення позакореневих підживлень мікродобривами у фазі змикання листків у рядках та міжряддях. Дворазове підживлення бором на тлі внесення 5 т/га соломи + $P_{90}K_{130}$ під оранку + N_{90} у передпосівну культивуацію забезпечило цукристість коренеплодів 18,2%, а підживлення композиційним мікродобривом – 18,3%, що було на рівні контролю без добрив, або незначно перевищувало його.

Отже, за весняних термінів внесення азотних добрив на тлі альтернативного органо-мінерального удобрення стабілізації цукристості коренеплодів на рівні контролю без добрив можна досягти шляхом проведення позакореневих підживлень борним чи композиційним мікродобривами у фазі змикання листків у рядках та міжряддях.

Збір цукру в умовах тимчасового досліді на контролі без добрив у середньому за 2020-2022 роки становив 7,9 т/га з коливаннями по роках дослідження від 6,9 до 8,5 т/га. За внесення 5 т/га соломи збір цукру підвищився на 0,4 т/га за абсолютного показника 8,3 т/га.

Поєднане внесення мінеральних добрив і соломи пшениці озимої істотно підвищило збір цукру. За внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{130}$ під оранку збір цукру становив 11,0 т/га зі зростанням до контролю без добрив на 3,1 т/га. У роки дослідження збір цукру в зазначеному варіанті варіював від 10,1 т/га у 2020 році до 11,8 т/га у 2021 році.

Ефективним в умовах достатнього зволоження визначено внесення азотних добрив весною у передпосівну культивуацію буряків цукрових. За внесення 5 т/га соломи + $P_{90}K_{130}$ під оранку + N_{60} у передпосівну культивуацію збір цукру становив 11,0 т/га, що було співставним внесенню 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{130}$ під оранку. Збільшення дози азоту у передпосівну культивуацію з 60 до 90 та 120 кг/га значно підвищило збір цукру. За внесення 5 т/га соломи + $P_{90}K_{130}$

під оранку + N₉₀ у передпосівну культивуацію збір цукру становив 11,6 т/га, дози азоту 120 кг/га – 11,9 т/га зі зростанням до контролю без добрив на 3,7 та 4,0 т/га. Відповідно.

Максимального збору цукру досягали за проведення двох позакореневих підживлень бором або композиційним мікродобривом у фази змикання листків у рядках та міжряддях на тлі внесення 5 т/га соломи + P₉₀K₁₃₀ під оранку + N₉₀ у передпосівну культивуацію: збір цукру становив 12,0 та 12,3 т/га зі зростанням до контролю без добрив на 4,1 та 4,4 т/га, відповідно.

Отже, за вирощування буряків цукрових в умовах достатнього зволоження на чорноземі вилугуваному найвищу біологічну продуктивність буряків цукрових забезпечила система удобрення, яка передбачала внесення азотних добрив весною у передпосівну культивуацію в дозі 90 кг/га на тлі 5 т/га соломи + P₉₀K₁₃₀ під оранку та проведення двох позакореневих підживлень композиційним мікродобривом у фази змикання листків у рядках та міжряддях.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу розроблено модель збору цукру залежно від доз внесення азотних добрив весною (рис. 7.13). Модель описується рівнянням:

$$y = -0,0003x^2 + 0,0682x + 7,9091$$

де y – збір цукру, т/га;

x – дози азотних добрив.

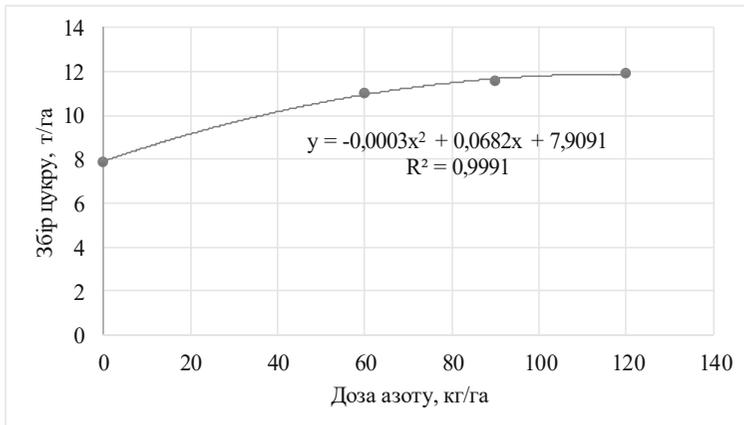


Рис. 7.13 Модель збору цукру залежно від доз внесення азотних добрив весною, УЛДСС, 2020-2022 рр.

Дана модель свідчать про тісний кореляційний зв'язок між дозами внесення азотних добрив весною та продуктивністю буряків цукрових ($R^2=0,9991$).

Технологічна якість коренеплодів буряків цукрових незначно знижувалась за внесення добрив. Найкращою вона була на контролі без добрив та за внесення 5 т/га соломи: вміст калію в коренеплодах становив 3,57-3,63 мг-екв./100 г, натрію – 0,61-0,64, альфа-амінного азоту – 1,36-1,32 мг-екв./100 г сирієї маси, що забезпечило чистоту нормально очищеного соку 92,3-92,5% і супроводжувалось втратами цукру в мелясі 1,40-1,42% (табл. 7.13).

Таблиця 7.13 Вплив доз азотних добрив та мікродобрив на технологічну якість коренеплодів буряків цукрових, УЛДСС, 2020-2022 рр.

№ вар	Варіант	Вміст на 100 г буряків, мг-екв			Чисто та соку, %	Втрати цукру в мелясі, %	Вихід цукру, %
		К	Na	a-N			
1	Без добрив (контроль)	3,57	0,61	1,36	92,3	1,42	15,88
2	Солома, 5 т/га - Фон	3,63	0,64	1,32	92,5	1,40	16,00
3	Фон + N ₉₀ P ₉₀ K ₁₃₀ під оранку	3,74	0,72	1,66	91,5	1,51	15,69
4	Фон + P ₉₀ K ₁₃₀ під оранку + N ₆₀ весною	3,83	0,67	1,70	91,4	1,53	15,67
5	Фон + P ₉₀ K ₁₃₀ + N ₉₀ - « -	3,80	0,76	1,82	91,2	1,54	15,56
6	Фон + P ₉₀ K ₁₃₀ + N ₁₂₀ - « -	3,87	0,70	1,89	91,0	1,56	15,44
7	Фон + P ₉₀ K ₁₃₀ + N ₉₀ + B позакоренево	3,76	0,70	1,73	91,3	1,52	15,78
8	Фон + P ₉₀ K ₁₃₀ + N ₉₀ + B, Mn, Mo, Zn, Fe позакоренево	3,78	0,74	1,68	91,4	1,51	15,89

Примітка: мікродобриво вносили позакоренево у фази змикання листків в рядках та міжряддях

Застосування мінеральних добрив з осені під оранку в дозі N₉₀P₉₀K₁₃₀ підвищило переважно вміст калію та альфа-амінного азоту в коренеплодах буряків цукрових до 3,74 та 1,66 мг-екв./100 г сирієї маси і супроводжувалось втратами цукру в мелясі 1,51%. Порівняно з контролем без добрив зазначена система удобрення збільшила втрати цукру в мелясі на 0,09%.

Збільшення непродуктивних втрат цукру у процесі виробництва спостерігали за внесення азотних добрив весною у передпосівну культивуацію. За дози азоту весною 60-120 кг/га на тлі 5 т/га соломи + $P_{90}K_{130}$ під оранку вміст калію в коренеплодах становив 3,80-3,87 мг-екв./100 г, натрію – 0,67-0,76, альфа-амінного азоту – 1,70-1,89 мг-екв./100 г сирі маси, що забезпечило чистоту нормально очищеного соку 91,0-91,4% і супроводжувалось втратами цукру в мелясі 1,53-1,56%. Порівняно з контролем без добрив зазначена система удобрення збільшила втрати цукру в мелясі на 0,11-0,14%.

Покращенню технологічної якості коренеплодів сприяло проведення позакореневих підживлень мікродобривами у фази змикання листків у рядках та міжряддях. За дворазового внесення борного або композиційного мікродобрив на тлі 5 т/га соломи + $P_{90}K_{130}$ під оранку + N_{90} у передпосівну культивуацію вміст калію в коренеплодах становив 3,76-3,78 мг-екв./100 г, натрію – 0,70-0,74, альфа-амінного азоту – 1,68-1,73 мг-екв./100 г сирі маси, що забезпечило чистоту нормально очищеного соку 91,3-91,4% і супроводжувалось втратами цукру в мелясі 1,51-1,52%. Порівняно з контролем без добрив зазначена система удобрення збільшила втрати цукру в мелясі на 0,09-0,10%.

Отже, за застосування альтернативної на основі соломи органо-мінеральної системи удобрення покращення технологічної якості коренеплодів можна досягти шляхом дворазового позакореневого підживлення буряків цукрових борним або композиційним мікродобривами у фази змикання листків у рядках та міжряддях.

7.2.2 Ефективність позакореневих підживлень буряків цукрових бором і кремнієм на тлі біологізації

Проведення позакореневих підживлень мікродобривами є одним із засобів осучаснення системи удобрення, яка дозволяє зменшити дефіцит мікроелементів для рослин у найбільш критичні фази їх росту і розвитку. Величина врожаю буряків цукрових значно залежить від проведення позакореневих підживлень мікродобривами в період формування листової апарату, тобто у фази змикання листків у рядку (6-8 листків) та міжряддях (10-12 листків). Найбільш затребуваним мікроелементом для буряків цукрових є бор. Він

впливає на основні фізіологічні процеси у рослинах, підвищує резистентність рослин до посухи, збільшує синтез та накопичення цукрів у коренеплодах, запобігає розвитку такої хвороби як гниль сердечка, тощо. Кремній є мікроелементом маловивченим для сільськогосподарських культур, включаючи буряки цукрові. Проте ряд наукових публікацій вказують на його важливість.

Дослідження проведені на Уладово-Люлинецькій ДСС у 2021-2023 рр. показали, що врожайність буряків цукрових на контролі без добрив у середньому за три роки становила 44,5 т/га з варіюванням по роках дослідження від 42,1 до 47,2 т/га. Застосування мінеральних добрив в дозі N₉₀P₆₀K₉₀ збільшило врожайність буряків цукрових порівняно з контролем без добрив на 17,4 т/га за абсолютного показника 61,9 т/га (табл. 7.14).

Таблиця 7.14 Продуктивність буряків цукрових за застосування кремнієвих та борних мікродобрив, УЛДСС, 2021-2023 рр.

№ вар	Варіант	Врожайність, т/га	Цукристість, %	Збір цукру, т/га
1	Без добрив (контроль)	44,5	18,4	8,2
2	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ - Фон	61,9	18,3	11,4
3	Фон + 0,3 Si (6-8 листків) + 0,3 Si (10-12 листків)	65,1	18,4	12,0
4	Фон + 0,3 Si+B (6-8 листків) + 0,3 Si+B (10-12 листків)	66,4	18,5	12,3
5	Фон + 0,5 Si (6-8 листків) + 0,5 Si (10-12 листків)	66,5	18,4	12,2
6	Фон + 0,5 Si+B (6-8 листків) + 0,5 Si+B (10-12 листків)	67,4	18,6	12,5
7	Фон + 0,7 Si (6-8 листків) + 0,7 Si (10-12 листків)	67,4	18,5	12,5
8	Фон + 0,7 Si+B (6-8 листків) + 0,7 Si+B (10-12 листків)	68,3	18,6	12,7
	НІР ₀₅	3,7	0,4	
	P, %	2,4	2,1	

Проведення двох позакореневих підживлень кремнієвим у фази 6-8 та 10-12 листків сприяло підвищенню врожайності. За сумарної дози кремнію у два підживлення 0,6 л/га врожайність буряків цукрових у середньому за 2021-2023 рр. підвищилась

порівняно з фоном мінеральних добрив ($N_{90}P_{60}K_{90}$) на 3,2 т/га, в тому числі у 2021 році – на 2,9, 2022 році – на 3,6, 2023 році – на 3,2 т/га, що було в межах статистичної похибки в усі роки дослідження.

Статистично достовірне підвищення врожайності буряків цукрових забезпечило позакореневе підживлення сумарною дозою кремнію 1,0 та 1,4 л/га. У середньому за 2021-2023 рр. за дози кремнію 1,0 л/га врожайність коренеплодів становила 66,5 т/га, дози 1,4 л/га – 67,4 зі зростанням до фону мінеральних добрив ($N_{90}P_{60}K_{90}$) – відповідно на 4,6 та 5,5 т/га. Статистично достовірне підвищення врожайності спостерігали в усі роки досліджень: у 2021 році – на 4,4 і 5,0, 2022 році – на 4,1 і 6,0, 2023 році – на 5,4 і 5,6 т/га. Неістотно вищою ефективність кремнієвого мікродобрива відмічена в умовах надмірно теплого і дещо посушливого 2023 року.

Ефективність позакореневих підживлень зростала за поєднаного внесення кремнію і бору. За внесення бору в дозі 1,0 кг/га та кремнію сумарною дозою 0,6-1,4 л/га врожайність буряків у середньому за 2021-2023 роки зросла до фону мінеральних добрив $N_{90}P_{60}K_{90}$ на 4,5-6,4 т/га і була статистично достовірною.

Найвищу врожайність буряків цукрових отримали за внесення позакоренево кремнію в дозі 0,7 л/га та бору в дозі 1 кг/га у фазі 6-8 листків та повторно у фазі 10-12 листків – врожайність коренеплодів 68,3 т/га, що перевищило фон мінеральних добрив на 6,4 т/га, контроль без добрив – на 23,8 т/га.

Ефективність поєднаного внесення кремнію і бору відмічена в усі роки дослідження. У 2021 році за дози кремнію 0,7 л/га та бору 1 кг/га у фазі 6-8 листків та повторно у фазі 10-12 листків врожайність коренеплодів зросла до фону мінеральних добрив $N_{90}P_{60}K_{90}$ на 5,5 т/га, 2022 році – на 7,4, 2023 році – на 6,4 т/га.

Отже, максимальне підвищення врожайності буряків цукрових забезпечило дворазове позакореневе підживлення кремнієм і бором у фазі 6-8 листків та повторно у фазі 10-12 листків за разової дози кремнію 0,7 л/га та бору 1 кг/га.

Застосування мікродобрив у позакореневе підживлення посилило синтез та накопичення цукрів у коренеплодах. Так, на контролі без добрив цукристість коренеплодів становила 18,4%, за внесення $N_{90}P_{60}K_{90}$ – 18,3%, за позакореневого підживлення кремнієм – 18,4-18,5%, поєднано кремнієм і бором – 18,5-18,6%.

Найвищого вмісту цукрів у коренеплодах досягали за поєднаного внесення кремнію сумарною дозою 1,0-1,4 л/га та бору в дозі 1 кг/га у фазі 6-8 листків та повторно у фазі 10-12 листків: цукристість коренеплодів в зазначених варіантах становила 18,6% з перевищенням фону мінеральних добрив на 0,3%.

По роках дослідження найвища цукристість коренеплодів була у 2023 році за дворазового внесення кремнію сумарною дозою 1,0 л/га та бору в дозі 1 кг/га – 18,9% з перевищенням фону мінеральних добрив на 0,4%. У 2021 та 2022 роках найвищий вміст цукрів в коренеплодах спостерігали за дворазового внесення кремнію сумарною дозою 1,4 л/га та бору в дозі 1 кг/га – відповідно 18,3% та 18,7% з перевищенням фону мінеральних добрив на 0,2 та 0,3%.

Аналіз показників збору цукру показав, що у середньому за 2021-2023 роки найменшим він був на контролі без добрив – 8,2 т/га, за застосування $N_{90}P_{60}K_{90}$ підвищився до 11,4 т/га, за проведення двох позакореневих підживлень кремнієм – до 12,0-12,5 т/га, кремнієм та бором – до 12,3-12,7 т/га.

Ефективність позакореневих підживлень залежала від дози внесення кремнію. Дворазове підживлення буряків цукрових кремнієм сумарною дозою 0,6 л/га підвищило збір цукру порівняно з фоном мінеральних добрив $N_{90}P_{60}K_{90}$ – на 0,6 т/га, дозою 1,0 л/га – на 0,8 т/га, дозою 1,4 л/га – на 1,1 т/га; за додаткового дворазового внесення бору в дозі 1,0 кг/га – відповідно на 0,9, 1,1 та 1,3 т/га.

У середньому за 2021-2023 рр. найефективнішим визначено внесення позакоренево кремнію в дозі 0,7 л/га та бору в дозі 1 кг/га у фазі 6-8 листків та повторно у фазі 10-12 листків на тлі $N_{90}P_{60}K_{90}$ – збір цукру становив 12,7 т/га, що перевищило фон мінеральних добрив на 1,3 т/га, контроль без добрив – на 4,5 т/га.

Результатами кореляційно-регресійного аналізу показали високу кореляційну залежність між дозою внесення кремнію у позакореневе підживлення та збором цукру. За внесення лише кремнію коефіцієнт детермінації становив $R^2=0,9824$, кремнію поєднано з бором – $R^2=0,9929$ (рис. 7.14).

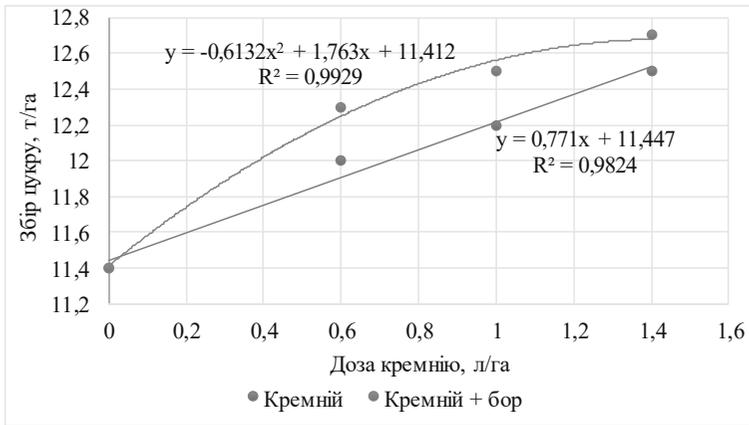


Рис. 7.14 Збір цукру залежно від дози внесення кремнію у позакореневе підживлення, УЛДСС, 2021-2023 рр., т/га; Примітка: перше позакореневе підживлення кремнієм та бором проводили у фазі 6-8 листків, друге – у фазі 10-12 листків; доза внесення кремнію – 0,3-0,7 л/га, бору – 1 кг/га

За проведення позакореневого підживлення лише кремнієм модель збору цукру описується лінійним рівнянням (А), поєднано кремнієм та бором – квадратичним рівнянням (Б):

$$A) y = 0,771x + 11,447$$

$$B) y = -0,6132x^2 + 1,763x + 11,412$$

де: y – збір цукру, т/га;

x – доза внесення кремнію.

Отже, застосування в умовах достатнього зволоження у позакореневе підживлення кремнієвих та борних мікродобрив значно підвищило продуктивність буряків цукрових. Позакореневе підживлення буряків цукрових у фазі 6-8 та повторно 10-12 листків кремнієм в дозі 0,7 л/га та бором в дозі 1 кг/га на тлі $N_{90}P_{60}K_{90}$ забезпечило врожайність коренеплодів – 68,3 т/га, цукристість – 18,8%, збір цукру – 12,7 т/га, де за рахунок мікродобрив врожайність коренеплодів підвищилась на 6,4 т/га, цукристість – на 0,3%, збір цукру – на 1,3 т/га.

Після проведення досліджень з вивчення ефективності осучаснення системи удобрення пшениці озимої і буряків цукрових можна зробити такі висновки:

1. За вирощування пшениці озимої в умовах нестійкого та достатнього зволоження Лісостепу України найвищої врожайності та якості зерна досягали за триразового внесення азотних добрив весною загальною дозою 110 кг/га, що включало внесення 60 кг/га азоту на мерзлоталу поверхню ґрунту раною весною та проведення двох позакореневих підживлень розчином сечовини у фазі ВВСН 31-32 дозою азоту 30 кг/га та ВВСН 75-77 дозою 20 кг/га – 6,90 т/га. У роки достатньої кількості опадів упродовж вегетаційного періоду азотні добрива істотніше впливали на врожайність зерна пшениці озимої, ніж у роки дефіциту опадів. Позакореневе підживлення сечовиною у фазі ВВСН 75-77 істотно покращило якість зерна пшениці. Збільшення вмісту білка в зерні не залежало від погодних умов і було стабільним упродовж років дослідження.

2. Для удобрення пшениці озимої по мерзлоталому ґрунту раною весною високу ефективність в останні роки показує внесення сульфату амонію замість амонійної селітри, що може бути наслідком зменшення вмісту сірки у ґрунтах Лісостепу.

3. Ефективним під пшеницю озиму визначено осучаснення системи удобрення шляхом позакореневого підживлення марганцем та кремнієм на тлі триразового внесення азотних добрив весною сумарною дозою 110 кг/га: врожайність зерна – 6,67 т/га, вміст білка – 12,5%, що було вищим порівняно з контролем без добрив на 1,99 т/га та 1,2%.

4. В умовах сучасного землеробства ефективним під буряки цукрові визначено альтернативну орґано-мінеральну систему удобрення, яка передбачала внесення замість гною соломи пшениці озимої. За заробляння у ґрунт соломи високу ефективність показало внесення компенсаційної дози азоту (N_{50}) або деструктора соломи (Філазоніт, 10 л/га) та проведення заходів з осучаснення системи удобрення.

5. За нестійкого зволоження на чорноземі вилугуваному ефективною визначено альтернативну осучаснену систему удобрення, яка передбачала поєднане внесення 5 т/га соломи + N_{50} + $N_{100}P_{100}K_{100}$ + Максимус (бор) + регулятор росту «Наномінераліс»: врожайність коренеплодів – 64,9 т/га, цукристість – 16,6%, збір цукру – 10,71 т/га зі збільшенням до контролю без добрив врожайності коренеплодів на 26,6 т/га, збору цукру – на 4,19 т/га.

6. За нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому найвища продуктивність буряків цукрових досягалась за біологізації та

осучаснення системи удобрення шляхом поєданого внесення 5 т/га соломи + Філазоніт, 10 л/га (деструктор) + $P_{90}K_{90}$ під оранку + N_{90} у передпосівну культивуацію + «Folcgor combi» + «Folcgor amin» у фазі змикання листків у рядках: врожайність коренеплодів – 60,9 т/га, збір цукру – 10,54 т/га зі зростанням до контролю без добрив – на 19,7 та 3,22 т/га. Зазначена система удобрення істотно покращила технологічну якість коренеплодів та зменшила втрати цукру в мелясі на 0,04-0,05%.

7. В умовах достатнього зволоження на чорноземі вилугуваному ефективним під буряки цукрові визначено внесення 5 т/га соломи + $P_{90}K_{130}$ під оранку + N_{90} у передпосівну культивуацію + бор або композиційне мікродобриво позакоренево у фазі змикання листків у рядах та міжряддях: збір цукру за внесення бору – 12,0 т/га, за внесення композиційного мікродобрива – 12,3 т/га зі збільшенням до контролю без добрив на 4,1 та 4,4 т/га, відповідно.

8. Ефективним для позакореневого підживлення буряків цукрових в умовах достатнього зволоження на чорноземі вилугуваному визначено внесення комбінації кремнієвого і борного мікродобрив. За проведення двох позакореневих підживлень кремнієм і бором у фази 6-8 та 10-12 листків на тлі $N_{90}P_{60}K_{90}$ врожайність коренеплодів – 68,3 т/га, цукристість – 18,8%, збір цукру – 12,7 т/га, де за рахунок мікродобрив врожайність коренеплодів підвищилась на 6,4 т/га, цукристість – на 0,3%, збір цукру – на 1,3 т/га.

Розділ 8 ЕНЕРГЕТИЧНА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ СІВОЗМІН

8.1 Енергетична ефективність вирощування культур у сівозмінах

У сучасному землеробстві досить актуальними стають питання пов'язані з мінімізацією енергетичних витрат за вирощування сільськогосподарської продукції [127, 318].

На думку В.М. Польового [248], Ю.О. Тараріка [293] формування сталих засад агарного виробництва, сьогодні, неможливе без запровадження енергоощадних і екологічно спрямованих систем удобрення. Ряд дослідників вважає, що сучасні агротехнології повинні забезпечувати енергетичну стабільність ґрунтів, тим самим, зберігаючи їх енергетичний потенціал для майбутніх поколінь, і досягати за цих умов мінімальних енергетичних витрат на отримання одиниці продукції [127, 256, 274].

Вибір системи удобрення дозволяє регулювати потоки енергії в системі ґрунт-рослина, впливає на інтенсивність процесів фотосинтезу, нормує обсяги надходження сонячної енергії в ґрунт, визначає характер її перерозподілу та зберігання [33, 134].

Ефективним агрохімічним заходом на шляху зменшення технологічних витрат та підвищення продуктивності землеробства, вважають В.В. Іваніна [132], Ю.О. Тараріко, О.А. Андрійченко [289] є введення елементів біологізації в системи удобрення. Використання на добриво побічної продукції сприяє швидкому відновленню енергетичних запасів органічної речовини ґрунту, мінімілізує енергетичне біогенне навантаження за рахунок рециркуляції та зменшення обсягів виносу біогенних елементів з ґрунту [293]. В умовах достатнього зволоження, на думку Я.П. Цвєя [318], ефективним агрохімічним заходом, що веде до підвищення продуктивності культур на фоні незначних енергетичних витрат, може бути поєднане застосування поживних сидеральних культур та нетоварної частини врожаю.

Вивчення впливу традиційних та альтернативних з елементами біологізації систем удобрення на енергетичну ефективність агротех.-нологій нами проводилось в умовах зерно-буракової сівозміни за різних ґрунтово-кліматичних умов вирощування культур. В основу енергетичної оцінки було взято коефіцієнт енергетичної ефективності (K_{ee}), який є узагальнюючим показником і відображає співвідношення енергоємності врожаю до витрат техногенної енергії на його отримання.

На чорноземі опідзоленому важкосуглинковому (за нестійкого зволоження) найвищий усереднений по сівозміні коефіцієнт енергетичної ефективності визначено на контролі без добрив – 6,6, змінюючись від 4,6 під горохом до 7,8 під буряками цукровими. Серед культур сівозміни цукрові буряки відзначались найвищою здатністю до акумуляції енергії сонця. Енергоємність врожаю цієї культури по ланках сівозміни коливалась в межах 161,3-187,0 ГДж/га, що порівняно з кукурудзою на зерно було більшим на 3,4-29,1 ГДж/га, озимую пшеницею – на 59,2-71,9 ГДж/га (табл. 8.1).

За мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозмінної площі) енергоємність врожаю в середньому по зерно-бураковій сівозміні порівняно з контролем без добрив підвищилась на 26,4 ГДж/га, енерговитрати – на 8,8 ГДж/га. На один ГДж енерговитрат на внесення мінеральних добрив приріст енергоємності врожаю в середньому по сівозміні становив 3 ГДж. При цьому коефіцієнт енергетичної ефективності агротехнологій порівняно з контролем без добрив знизився на 1,2.

Найенергозатратнішими були культури під які мінеральні добрива вносили безпосередньо: буряки цукрові – 44,5 ГДж/га, кукурудза на зерно – 32,2 ГДж/га, пшениця озима – 24,2-28,9 ГДж/га.

Коефіцієнт енергетичної ефективності порівняно з контролем без добрив знизився в буряків цукрових – на 2,0-2,5, кукурудзи на зерно – на 1,8, пшениці озимої – на 1,3-2,4, що можна пояснити швидшим підвищенням технологічних енерговитрат порівняно з темпами росту енергії врожаю. Під іншими культурами сівозміни, які використовували післядню добрив коефіцієнт енергетичної ефективності залишався досить високим, зберігаючи підвищення на 0,1-0,5.

Таблиця 8.1 Енергетична ефективність вирощування культури зерно-буякової сівозміни на чорноземі опідзоленому за різних систем удобрення, ВДСС, 1996-2010 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміної площі	Показник	Однина впнир	1996-2001 рр.	1997-2002 рр.	1998-2003 рр.	1999-2004 рр.	Горох 2000-2005 рр.	Пшениця озима 2001-2006 рр.	Кукурудза на зерно 2002-2007 рр.	Вико-овес 2003-2008 рр.	Пшениця озима 2004-2009 рр.	Бураки цукрові 2005-2010 рр.	В середньому на 1 га
				Ячміль врий	Конюшина	Пшениця озима	Бураки цукрові	Горох	Пшениця озима	Кукурудза на зерно	Вико-овес	Пшениця озима	Бураки цукрові	В середньому на 1 га
1	Без добрив	Енергосмість врожаю	Г/Дж/га	81	68	102	187	61	110	158	72	115	161	111
		Енерговитрати на 1 га	Г/Дж/га	15	9	16	24	13	17	22	11	18	22	17
		Ксе		5,5	7,3	6,3	7,8	4,6	6,4	7,3	6,3	6,4	7,3	6,6
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	Енергосмість врожаю	Г/Дж/га	103	71	118	234	65	140	179	83	151	234	138
		Енерговитрати на 1 га	Г/Дж/га	17	10	24	45	14	28	32	12	29	44	25
		Ксе		6,0	7,4	4,9	5,3	4,7	5,1	5,5	6,8	5,2	5,3	5,4
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	Енергосмість врожаю	Г/Дж/га	118	75	121	243	69	138	181	86	150	241	142
		Енерговитрати на 1 га	Г/Дж/га	18	10	24	47	14	27	33	13	29	46	26
		Ксе		6,6	7,4	5,0	5,2	4,9	5,2	5,5	6,5	5,2	5,3	5,5
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	Енергосмість врожаю	Г/Дж/га	117	77	124	243	70	141	183	87	149	253	145
		Енерговитрати на 1 га	Г/Дж/га	18	10	26	63	14	30	52	14	29	67	32
		Ксе		6,5	7,5	4,7	3,8	4,9	4,7	3,5	6,5	5,2	3,8	4,5
12	12 т/га гною + побічна продукція	Енергосмість врожаю	Г/Дж/га	112	73	118	224	71	136	177	93	142	211	136
		Енерговитрати на 1 га	Г/Дж/га	17	10	24	40	15	26	36	14	22	38	24
		Ксе		6,5	7,5	5,0	5,6	4,9	5,3	4,9	6,7	6,5	5,6	5,6

Внесення мінеральних добрив і гною ($N_{50}P_{42,5}K_{50} + 12$ т гною на 1 га сівозмінної площі) істотно збільшило енерговитрати на внесення останнього. Порівняно з мінеральною системою удобрення енерговитрати в середньому по сівозміні виростили на 6,8 ГДж/га і становили 32,2 ГДж/га. Натомість енерговіддача від внесення органічних добрив залишалась низькою і становила 0,9 ГДж приросту енергії врожаю на один ГДж енерговитрат.

Серед культур сівозміни за традиційної органо-мінеральної системи удобрення найменшу енергетичну ефективність мали буряки цукрові та кукурудза на зерно. Додаткове внесення під ці культури 40 т/га гною збільшило порівняно з мінеральною системою удобрення енерговитрати на буряках цукрових на 18,8-22,7, кукурудзі на зерно – на 19,3 ГДж/га і обумовило зниження коефіцієнтів енергетичної ефективності відповідно на 1,5 та 2,0. Культури, які використовували післядію добрив зберігали збільшення коефіцієнта енергетичної ефективності: ячмінь ярий на 1,0, конюшина – 0,2, горох – 0,3, вико-овес – 0,1.

Ефективним заходом підвищення енергетичної ефективності агротехнологій було поєднане внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{50}P_{42,5}K_{50} +$ побічна продукція на 1 га сівозмінної площі).

Незначне підвищення енерговитрат порівняно з мінеральною системою удобрення (на 0,6 ГДж/га сівозмінної площі) зумовлене, в основному, витратами на збирання додаткового врожаю, супроводжувалось ростом енергоємності врожаю в середньому по сівозміні на 4,4 ГДж/га. Енерговіддача від заорювання побічної продукції в середньому по сівозміні становила 7,3 ГДж приросту енергії врожаю на один ГДж енерговитрат.

Введення елементів біологізації в системи удобрення сприяло покращенню енергетичної ефективності вирощування усіх культур сівозміни. Так, культури, які в сівозміні використовували пряму дію мінеральних добрив (цукрові буряки, кукурудза на зерно, озима пшениця) мали приріст енергоємності врожаю співставний підвищенню енерговитрат. При цьому коефіцієнт енергетичної ефективності мав тенденцію до збільшення у межах 0,1. Культури, які за альтернативної системи удобрення використовували післядію добрив збільшували енергоємність врожаю швидшими темпами, ніж зростали енерговитрати. Цьому сприяло покращання мінерального живлення в результаті мінералізації побічної продукції і, як наслідок, зростання продуктивності культур, яке, в свою чергу, не супроводжувалось значним підвищенням енерговитрат. Коефіцієнт енергетичної ефек-

тивності вирощування ячменю ярого порівняно з мінеральною системою удобрення підвищився на 0,6, гороху – 0,2, вико-вівса – 0,2.

Високу енергетичну ефективність агротехнологій в зерно-буряковій сівозміні визначено за органічної системи удобрення (побічна продукція + 12 т гною на 1 га сівозмінної площі). Коефіцієнт енергетичної ефективності агротехнологій порівняно з мінеральною системою удобрення підвищився у середньому по сівозміні на 0,2; за органо-мінеральними системами удобрення з елементами біологізації – на 0,1-1,1. Однак, така система удобрення обумовила значне зниження показників продуктивності сівозміни. Енергоємність врожаю в середньому по сівозміні за альтернативної органічної системи удобрення була нижчою порівняно з мінеральною системою – на 2,1, органо-мінеральною з елементами біологізації – на 6,5-8,8 ГДж/га сівозмінної площі.

Отже, вирощування культур зерно-бурякової сівозміни на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому енергетично найефективнішим визначено за поєданого внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($K_{ee}=5,5$). Внесення лише мінеральних добрив знижувало продуктивність сівозміни, а поєднання їх з гноєм (12 т/га сівозмінної площі) істотно підвищувало енерговитрати та обумовило зниження коефіцієнта енергетичної ефективності до 4,5.

На чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому (за нестійкого зволоження) енергоємність врожаю культур на контролі без добрив становила в середньому по зерно-просапній сівозміні – 73,0, плодозмінній – 74,7 ГДж/га, коефіцієнт енергетичної ефективності – відповідно 4,5 та 5,3. Вирощування буряків цукрових із-за низької врожайності коренеплодів та високого рівня технологічних витрат супроводжувалось в обох сівозмінах низьким коефіцієнтом енергетичної ефективності (K_{ee}): зерно-просапній – 2,6-4,0, плодозмінній – 4,2 (табл. 8.2; 8.3).

За мінеральної системи удобрення (зерно-просапна сівозміна – $N_{50}P_{66}K_{66}$; плодозмінна – $N_{43}P_{43}K_{43}$ на 1 га сівозмінної площі) енергоємність врожаю культур сівозміни порівняно з контролем без добрив в середньому по зерно-просапній сівозміні підвищилась на 61,3, плодозмінній – на 42,9 ГДж/га, енерговитрати – відповідно на 11,1 та 8,3 ГДж/га. Приріст енергоємності врожаю на 1 ГДж енерговитрат на внесення мінеральних добрив в середньому по зерно-просапній сівозміні становив 5,5 ГДж, плодозмінній – 5,2 ГДж. При цьому коефіцієнт енергетичної ефективності агротехнологій порівняно з контролем без добрив у зерно-просапній сівозміні підвищився на 0,4, у плодозмінній – залишався на такому ж рівні.

Таблиця 8.2 Енергетична ефективність вирощування культур зерно-просапної сівозміни на чорноземі типовому вилугуваному за різних систем удобрення, БЦДСС, 1996-2007 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміної площі	Показник	Одиниця	Різна система удобрення												В середньому на 1 га сівозміни
				1996-1998. Релька оліїна	1997-1999 рр. Пшениця озима	1998-2004 рр. Бураки цукрові	1999-2001 рр. Горох	2000-2002 рр. Пшениця озима	2001-2003 рр. Бураки цукрові	2002-2004 рр. Кукурудза з/к	2003-2005 рр. Пшениця озима	2004-2006 рр. Бураки цукрові	2005-2007 рр. Ячмінь ярий	2005-2007 рр.		
11	Без добрив	Енергосмієність врожаю	Г/Дж/га	65	81	90	45	99	55	107	84	44	61	73		
		Енерговитрати на 1 га	Г/Дж/га	14	15	21	12	16	18	20	15	17	13	16		
		Ксе		4,7	5,5	4,2	3,8	6,2	3,0	5,5	5,6	2,6	4,7	4,5		
2	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆	Енергосмієність врожаю	Г/Дж/га	77	109	218	68	116	162	164	131	207	93	134		
		Енерговитрати на 1 га	Г/Дж/га	15	23	45	16	24	34	29	26	44	17	27		
		Ксе		5,0	4,7	4,8	4,3	4,9	4,8	5,7	5,1	4,8	5,6	4,9		
4	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + побічна продукція	Енергосмієність врожаю	Г/Дж/га	84	104	218	69	123	172	171	138	231	99	141		
		Енерговитрати на 1 га	Г/Дж/га	16	22	45	16	25	35	30	27	46	17	28		
		Ксе		5,2	4,7	4,8	4,4	4,9	5,0	5,7	5,2	5,1	5,7	5,1		
13	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га гною	Енергосмієність врожаю	Г/Дж/га	99	113	232	72	131	179	175	140	223	104	147		
		Енерговитрати на 1 га	Г/Дж/га	18	23	66	16	26	56	31	27	65	18	35		
		Ксе		5,6	5,0	3,5	4,5	5,1	3,2	5,6	5,2	3,4	5,7	4,2		

Таблиця 8.3 Енергетична ефективність вирощування культур плодозмінної сівозміни на чорноземі типовому вилугуваному за різних систем удобрення, БЦДСС, 2006-2012 рр.

№ ва р.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Показник	Одиниця виміру	Вико-овес 2006-2008 рр.	Пшениця озима 2007-2009 рр.	Бураки цукрові 2008-2010 рр.	Ячмінь ярий 2009-2011 рр.	Конюшина 2010-2012 рр.	Пшениця озима 2011-2012 рр.	В середньому на 1 га
11	Без добрив	Енергоємність врожаю	ГДж/га	79	92	89	47	58	84	75
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	12	16	21	12	9	15	14
		Кое		6,6	5,9	4,2	4,0	6,8	5,6	5,3
2	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃	Енергоємність врожаю	ГДж/га	104	122	204	78	78	119	118
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	14	26	47	14	10	24	22
		Кое		7,3	4,7	4,6	5,5	7,6	4,9	5,3
4	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	Енергоємність врожаю	ГДж/га	105	125	213	90	81	120	122
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	14	26	46	15	11	25	23
		Кое		7,3	4,8	4,6	6,0	7,7	4,9	5,4
13	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + 8,3 т/га гною	Енергоємність врожаю	ГДж/га	111	127	229	95	86	131	130
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	15	27	78	16	11	26	29
		Кое		7,3	4,8	3,0	6,1	7,9	5,1	4,5

Внесення мінеральних добрив і гною підвищило енерговитрати порівняно з мінеральною системою удобрення в середньому по зерно-просапній сівозміні на 7,4, плодозмінній – на 6,3 ГДж/га. При цьому енерговіддача від внесення органічних добрив залишалась низькою. На один ГДж енерговитрат на внесення гною приріст енергії врожаю в середньому по зерно-просапній сівозміні становив 1,7, плодозмінній – 1,9 ГДж/га. Це зменшило коефіцієнт енергетичної ефективності агротехнологій порівняно з мінеральною системою удобрення в середньому по зерно-просапній сівозміні на 0,7, плодозмінній – на 0,8.

Введення елементів біологізації в системи удобрення шляхом поєданого внесення мінеральних добрив і побічної продукції забезпечило високу енергетичну ефективність агротехнологій виро-

щування культур в обох сівозмінах. Порівняно з мінеральною системою удобрення енерговитрати в зерно-просапній сівозміні виростили на 0,7, плодозмінній – на 0,5, натомість енергоємність врожаю збільшилась – відповідно на 6,6 та 4,7 ГДж/га сівозмінної площі. На один ГДж енерговитрат на заорювання побічної продукції приріст енергії врожаю в середньому по обох сівозмінах становив 9,4 ГДж/га. Внесення мінеральних добрив і побічної продукції порівняно з мінеральною системою удобрення збільшило коефіцієнт енергетичної ефективності (K_{ee}) в середньому по зерно-просапній сівозміні на 0,2, плодозмінній – 0,1.

Поєднане внесення мінеральних добрив і побічної продукції підвищило коефіцієнт енергетичної ефективності агротехнологій в обох сівозмінах порівняно з традиційною органо-мінеральною системою на 0,9, що досягнуто за рахунок значного зниження енерговитрат пов'язаних з внесенням гною.

Підвищенню енергетичної ефективності агротехнологій сприяла реструктуризація зерно-бурякової сівозміни в напрямку зменшення частки просапних культур та збільшення частки бобових. Зменшення частки буряків цукрових в плодозмінній сівозміні до 16,7% порівняно з зерно-просапною сівозміною (30%) та зростання частки бобових – відповідно з 10 до 33%, знизило енерговитрати на 1 га сівозмінної площі на 2,1 і збільшило середню по сівозміні енергоємність врожаю – на 1,7 ГДж/га. Коефіцієнт енергетичної ефективності (K_{ee}) в середньому по плодозмінній сівозміні порівняно із зерно-просапною підвищився на контролі без добрив – на 0,8, за мінеральної системи удобрення – на 0,4, органо-мінеральної системи удобрення – на 0,3.

На чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому (за достатнього зволоження) найвищий коефіцієнт енергетичної ефективності агротехнологій в середньому по ланці сівозміні з горохом визначено на контролі без добрив – 6,4. За мінеральної системи удобрення K_{ee} порівняно з контролем без добрив за внесення рекомендованої дози добрив ($N_{50}P_{20}K_{30}$ на 1 га ланки сівозміни) знизився на 0,9, підвищеної ($N_{66,7}P_{26,7}K_{40}$ на 1 га ланки сівозміни) – на 1,3. На один ГДж енерговитрат на внесення мінеральних добрив приріст енергії врожаю в середньому по ланці сівозміні становив за рекомендованої дози добрив 3,2, підвищеної – 3,0 ГДж/га (табл. 8.4).

Найнижчу енергетичну ефективність агротехнологій визначено за традиційної органо-мінеральної системи удобрення. Внесення мінеральних добрив і гною ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + 13,3 т гною на 1 га ланки

сівозміни) значно підвищувало середньорічні енерговитрати в ланці сівозміни порівняно з контролем без добрив (на 16,1 ГДж/га) на фоні помірних темпів зростання енергії врожаю (на 42,6 ГДж/га). Коефіцієнт енергетичної ефективності в середньому по ланці сівозміни знизився порівняно з контролем без добрив на 1,7 і становив 4,7. Енерговіддача на 1 ГДж енерговитрат на внесення добрив становила 2,7 Гдж приросту енергії врожаю.

Таблиця 8.4 Енергетична ефективність вирощування культур у ланці польової сівозміни на чорноземі типовому вилугуваному за різних систем удобрення, УЛДСС, 2006-2010 рр.

№ ва р.	Внесено добрив на 1 га ланки сівозміни	Показник	Одиниця виміру	Горox 2006-2008 рр.	Пшениця озима 2007-2009 рр.	Буяки цукрові 2008-2010 рр.	В середньому на 1 га ланки сівозміни
1	Без добрив	Енергосмінь врожаю	ГДж/га	54	117	193	121
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	13	19	25	19
		К _е e		4,3	6,2	7,6	6,4
3	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	Енергосмінь врожаю	ГДж/га	54	125	259	146
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	13	24	44	27
		К _е e		4,3	5,3	5,9	5,5
4	N _{66,7} P _{26,7} K ₄₀	Енергосмінь врожаю	ГДж/га	54	130	282	156
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	13	25	53	30
		К _е e		4,3	5,2	5,4	5,1
5	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га гною	Енергосмінь врожаю	ГДж/га	56	126	309	164
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	13	24	68	35
		К _е e		4,4	5,3	4,5	4,7
6	13,3 т/га гною	Енергосмінь врожаю	ГДж/га	54	118	254	142
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	13	19	47	26
		К _е e		4,3	6,1	5,4	5,4
10	Сидерат (гірчичня біла)	Енергосмінь врожаю	ГДж/га	55	118	205	126
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	13	19	29	20
		К _е e		4,3	6,1	7,2	6,3
11	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	Енергосмінь врожаю	ГДж/га	56	126	261	148
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	13	24	46	28
		К _е e		4,4	5,2	5,7	5,4
12	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + побічна продукція	Енергосмінь врожаю	ГДж/га	57	130	275	154
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	13	25	48	29
		К _е e		4,4	5,3	5,8	5,4

За внесення 13,3 т/га гною коефіцієнт енергетичної ефективності агротехнологій становив 5,4. При цьому енергоємність врожаю була недостатньо високою – 141,8 ГДж/га і поступалась мінеральної системі удобрення на 4,2 ГДж/га. Приріст енергії врожаю на один ГДж росту енерговитрат в середньому по ланці сівозміни за внесення 13,3 т/га гною становив 2,8 ГДж.

Застосування зеленої маси поживної сидеральної культури гірчиці білої зберігало коефіцієнт енергетичної ефективності агротехнологій на достатньо високому рівні ($K_{ee}=6,3$), але така система удобрення не забезпечила помітного приросту продуктивності ланки сівозміни. Підвищення енергоємності врожаю порівняно з контролем без добрив в середньому по ланці сівозміни становило 4,8 ГДж/га. Приріст енергії врожаю на один ГДж енерговитрат в середньому по ланці сівозміни становив 4 ГДж/га.

Внесення мінеральних добрив і зеленої маси гірчиці білої ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат на 1 га ланки сівозміни) за енергетичною ефективністю прирівнювалось до мінеральної системи удобрення. Коефіцієнт енергетичної ефективності агротехнологій в середньому по ланці сівозміни становив 5,4, приріст енергії врожаю на один ГДж енерговитрат досягав 3,1 ГДж/га. Підвищення енергоємності врожаю і технологічних енерговитрат від заорювання на добриво зеленої маси сидерату на фоні мінеральних добрив було незначним і становило в середньому по ланці сівозміни – відповідно 1,8 та 0,9 ГДж/га.

Як енергетично ефективну визначено систему удобрення, яка поєднувала внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни). Така система порівняно з внесенням мінеральних добрив забезпечила значне підвищення енергії врожаю (5,1 ГДж/га ланки сівозміни) на фоні незначних технологічних енерговитрат (1,8 ГДж/га ланки сівозміни). Коефіцієнт енергетичної ефективності становив 5,4. Порівняно з традиційною органо-мінеральною системою удобрення поєднане внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції підвищило коефіцієнт енергетичної ефективності на 0,7. Приріст енергії врожаю на один ГДж росту енерговитрат в середньому по ланці сівозміни за внесення мінеральних добрив у поєднанні з сидератом і побічною продукцією становив 3,4 ГДж.

Отже, енергетично найефективнішою в ланці зерно-бурякової сівозміни з горохом за порівнянням зростання коефіцієнта енергетичної

ефективності та енергоємності врожаю визначено систему удобрення, яка поєднувала внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції рослинництва. Застосування лише мінеральних добрив знижувало енергоємність врожаю в середньому по ланці сівозміни на 8,1 ГДж/га, а поєднане внесення мінеральних добрив і гною обумовило значне підвищення енерговитрат (на 6,5 ГДж/га), що робило таку систему удобрення енергетично витратною.

8.2 Баланс енергії ґрунту за застосування добрив

Енергетична ефективність агротехнологій значно залежить від направленості і збалансованості енергетичних потоків у ґрунті [131]. Формування позитивного балансу енергії ґрунту забезпечує стабільність енергетичного балансу в агроєкосистемах і сприяє підвищенню енергетичної ефективності агротехнологій [274].

В умовах сучасного виробництва ефективним заходом впливу на енергетичний потенціал ґрунту є система удобрення. Застосування добрив нормує обсяги надходження енергії в ґрунт, впливає на її розподіл та зберігання. За даними В.В. Іваніни [128], С.В. Рогальського [256] внесення органічних добрив у системі удобрення культур сприяє збереженню енергетичного потенціалу ґрунту, а за високих обсягів надходження органічної речовини забезпечує розширене його відтворення. Стабільність енергетичного потенціалу чорнозему типового вилугуваного за орґано-мінеральної системи удобрення відмічалась в дослідженнях Я.П. Цвея [318].

На думку Ю.О. Тараріко [293] підвищення енергетичного потенціалу ґрунтів в сучасному виробництві можна досягти шляхом біологізації системи удобрення – застосування побічної продукції та зеленої маси післяжнивних сидеральних культур.

Результати досліджень свідчать, що впродовж ротації зерно-буракової сівозміни без внесення добрив на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому визначено щорічні втрати енергії ґрунту в кількості 24,0 ГДж/га. У структурі втрат домінувала енергія гумусу ґрунту – 71,1%, решта 29,9% втрат енергії пов'язані з від'ємним балансом елементів живлення у ґрунті (табл. 8.5).

За мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозмінної площі) сумарні за ротацію запаси енергії ґрунту порівняно з

контролем без добрив за азотом збільшилися – на 17,4 ГДж/га, фосфором – 4,3, калієм – 2,3 ГДж/га та посилилась мінералізація гумусу ґрунту, що призвело до падіння запасів енергії гумусу на 4,6 ГДж/га. Середньорічні втрати його енергії порівняно з контролем без добрив зменшувались на 1,9 ГДж/га, при цьому баланс енергії ґрунту залишався різко від’ємним – 22,1 ГДж/га сівозмінної площі. Тобто, мінеральна система удобрення не забезпечила стабільності енергії ґрунту.

Таблиця 8.5 Баланс енергії в 0-40 см шарі чорнозему опідзоленого за період ротації зерно-бурякової сівозміни, ВДСС, 1997-2009 рр.

№ ва р.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Баланс енергії, ± ГДж/га				Зміна енергії ґрунту, ± ГДж/га
		гумусу	N	P	K	
1	Без добрив	-170,5	-57,2	-4,5	-7,9	-24,0
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	-175,1	-39,8	-0,2	-5,6	-22,1
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	41,5	-14,7	0,7	-1,6	2,6
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	41,5	7,5	3,3	-0,4	5,2
12	12 т/га гною + побічна продукція	66,8	2,2	-0,8	0,3	6,9

Внесення мінеральних добрив і побічної продукції (N₅₀P_{42,5}K₅₀ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) сприяло зростанню енергії гумусу на кінець ротації на 41,5 ГДж/га, при цьому енергоємність ґрунту за азотом та калієм знизилась відповідно на 14,7 та 1,6 ГДж/га, що обумовлено їх від’ємним балансом. Введення елементів біологізації в системи удобрення забезпечило розширений баланс енергії ґрунту зі щорічним зростанням на 2,6 ГДж/га сівозмінної площі.

Розширене відтворення енергії ґрунту визначено за традиційної органо-мінеральної системи удобрення. Внесення мінеральних добрив і гною (N₅₀P_{42,5}K₅₀ + 12 т гною на 1 сівозмінної площі) збільшило на кінець ротації енергію ґрунту за гумусом на 41,5, за азотом – 7,5, за фосфором – 3,3 і стабілізувало енергію ґрунту за калієм. Позитивний баланс біогенних елементів досягнуто за надходження їх у ґрунт у складі гною. Щорічне підвищення енергії ґрунту за традиційної органо-мінеральної системи удобрення становило 5,2 ГДж/га, що на

2,6 ГДж/га більше, ніж за внесення мінеральних добрив і побічної продукції.

За орґано-мінеральної системи удобрення енергетичний баланс чорнозему опідзоленого щорічно зростав порівняно з контролем без добрив на 26,6-29,2 ГДж/га. Цьому сприяло внесення органічних добрив частка яких в енергетичному його балансі становила 72,7-79,8% ґрунтової енергії.

Найкращі показники енергетичного балансу чорнозему опідзоленого на кінець ротації встановлено за внесення гною і побічної продукції (побічна продукція + 12 т гною на 1 га сівозмінної площі). За рахунок інтенсивного збагачення ґрунту органічною речовиною запаси енергії ґрунту щорічно підвищувались на 6,9, що порівняно з орґано-мінеральною системою удобрення було більшим на 1,7-4,3, мінеральною – на 29,0 ГДж/га.

Отже, стабілізації енергетичного потенціалу чорнозему опідзоленого сприяло залучення до системи удобрення органічних добрив, а величина зростання енергії ґрунту прямо пропорційно залежала від кількості надходження органічної речовини у ґрунт.

В чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому (умови нестійкого зволоження) баланс енергії ґрунту вивчали залежно від системи удобрення та структури сівозміни. У зерно-просапній сівозміні (просапних культур 40%, бобових 10%) на контролі без добрив створювався щорічний дефіцит енергії ґрунту – 32,7, у плодозмінній (просапних 16,7%, бобових 33%) – 16,1 ГДж/га. Зменшення частки просапних культур у плодозмінній сівозміні та зростання частки бобових збільшувало накопичення енергії в ґрунті на 16,6 ГДж/га сівозмінної площі (табл. 8.6).

Основним джерелом втрат енергії ґрунту в обох сівозмінах визначено енергію гумусу. Від загальних втрат енергії частка енергії гумусу на контролі без добрив становила у зерно-просапній сівозміні – 76,7%, у плодозмінній – 69,1%. Втрати енергії біогенних елементів порівняно з втратами енергії гумусу у зерно-просапній сівозміні були меншими у 3,3 рази, у плодозмінній – 2,2 рази.

За мінеральної системи удобрення (зерно-просапна сівозміна – $N_{50}P_{66}K_{66}$, плодозмінна – $N_{43}P_{43}K_{43}$ на 1 га сівозмінної площі) в обох сівозмінах спостерігали високі щорічні втрати енергії ґрунту: у зерно-просапній – 28,1, у плодозмінній – 16,0 ГДж/га.

Таблиця 8.6 Баланс енергії в 0-40 см шарі чорнозему типового вилигуваного в різних ротациях зерно-буракової сівозміни, БЦДСС, 1996-2012 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміної площі	Баланс енергії в III ротацияі, ± Г/Дж/га				Зміна енергії ґрунту, ± Г/Дж/га сівозміни		Баланс енергії в IV ротацияі, ± Г/Дж/га				Зміна енергії ґрунту, ± Г/Дж/га сівозміни	
		ґумусу	N	P	K	ґумусу	±	ґумусу	N	P	K	ґумусу	±
11	Без добрив (без добрив)	-250,7	-67,0	-3,3	-5,2	-32,7	-66,7	-24,6	-1,9	-3,2	-16,1		
2	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆	-211,6	-68,3	2,9	-4,0	-28,1	-75,9	-16,8	0,4	-3,1	-16,0		
4	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + побічна продукція	-41,4	-43,7	3,8	-0,5	-8,1	39,1	-7,5	0,7	-1,6	7,9		
13	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га ГНОЮ	-66,7	-39,3	5,2	-0,3	-10,1	29,9	1,1	1,7	-1,2	5,3		

Примітка. Третя ротация – десятишлісна сівозміна, 1996-2006 рр.; четверта ротация – шестипшлісна сівозміна, 2006-2012 рр. (в четвертій ротацияі мінеральних добрив вносили – N₄₃P₄₃K₄₃ органічних – 8,3 т на 1 га сівозміни).

Покращення енергетичного балансу чорнозему типового вилугуваного середньосуглинкового виявлено за органо-мінеральної системи удобрення. У зерно-просапній сівозміні за внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{50}P_{66}K_{66}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) енергія гумусу ґрунту на кінець ротації порівняно з внесенням лише мінеральних добрив підвищилась на 170,2 ГДж/га, біогенних елементів – на 29,0; мінеральних добрив і гною ($N_{50}P_{66}K_{66}$ + 9 т гною на 1 га сівозмінної площі) – відповідно на 144,9 та 35,0 ГДж/га. При цьому у зерно-просапній сівозміні за органо-мінеральних систем удобрення не забезпечувалось стабільності енергетичного балансу ґрунту. За внесення мінеральних добрив і побічної продукції ґрунт щорічно втрачав енергії – 8,1; мінеральних добрив і гною – 10,1 ГДж/га сівозмінної площі.

За переходу до плодозмінної сівозміни з часткою просапних культур 16,7%, бобових – 33% за органо-мінеральної системи удобрення створювались умови для розширеного відтворення енергії ґрунту. За внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) запаси енергії ґрунту щорічно поповнювались на 7,9; мінеральних добрив і гною ($N_{43}P_{43}K_{43}$ + 8,3 т гною на 1 га сівозмінної площі) – на 5,3 ГДж/га.

Отже, внесення мінеральних добрив і гною та мінеральних добрив і побічної продукції в чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому забезпечило енергетичну стабільність лише у плодозмінній сівозміні з часткою просапних культур 16,7%, бобових – 33%.

На чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому (за достатнього зволоження) вирощування культур у ланці сівозміни з горохом на контролі без добрив створювало щорічний дефіцит енергії ґрунту – 26,8 ГДж/га ланки сівозміни. Основним джерелом втрат була енергія гумусу – 74,4%, азоту – 22,0% від загальних її втрат (табл. 8.7).

Щорічні втрати енергії ґрунту у ланці сівозміни зростали за внесення рекомендованої ($N_{50}P_{20}K_{30}$) та підвищеної ($N_{66,7}P_{26,7}K_{40}$) доз мінеральних добрив. Порівняно з контролем без добрив щорічні втрати енергії ґрунту за рекомендованої дози підвищились на 2,0 ГДж/га, підвищеної – на 5,1 і становили – відповідно 28,8 та 31,9 ГДж/га. Збільшення втрат енергії ґрунту стало наслідком посиленої мінералізації гумусу, частка якого в балансі енергії ґрунту була найбільшою.

Таблиця 8.7 Баланс енергії в 0-40 см шарі чорнозему типового вилугуваного у ланці сівозміни, УЛДСС, 2006-2010 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га ланки сівозміни	Баланс енергії, ± ГДж/га				Зміна енергії ґрунту, ± ГДж/га
		гумусу	N	P	K	
1	Без добрив (контроль)	-59,8	-17,7	-1,1	-1,9	-26,8
3	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	-71,3	-12,8	-0,6	-1,7	-28,8
4	N _{66,7} P _{26,7} K ₄₀	-82,8	-10,9	-0,4	-1,6	-31,9
5	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га гною	11,5	0,9	0,5	0,1	4,3
6	13,3 т/га гною	25,3	-4,5	-0,1	-0,5	6,7
10	Сидерат (гірчиця біла)	-20,7	-8,3	-0,9	-1,9	-10,6
11	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	-27,6	-2,8	-0,3	-1,3	-10,7
12	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + побічна продукція	50,6	6,2	0	-0,1	18,9

Посьдане застосування зеленої маси гірчиці білої і рекомендованої дози мінеральних добрив (N₅₀P₂₀K₃₀ + сидерат на 1 га ланки сівозміни) покращило енергетичний баланс чорнозему типового вилугуваного порівняно з мінеральною системою удобрення, але було недостатнім для створення нульового балансу енергії ґрунту. Щорічні втрати його енергії за внесення гірчиці білої становили 10,6, мінеральних добрив і сидерату – 10,7 ГДж/га ланки сівозміни.

Додатний баланс енергії в чорноземі типовому вилугуваному виявлено за внесення гною (13,3 т/га ланки сівозміни) та поєднання мінеральних добрив і гною (N₅₀P₂₀K₃₀ + 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни). У варіанті з внесенням гною запаси енергії ґрунту щорічно підвищувались на 6,7, мінеральних добрив і гною – на 4,3 ГДж/га ланки сівозміни.

Розширене відтворення енергії ґрунту визначено найвищим з поєданого внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції (N₅₀P₂₀K₃₀ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни). Введення елементів біологізація в систему удобрення забезпечило зростання енергії ґрунту щорічно на 18,9 ГДж/га ланки сівозміни.

Отже, за достатнього зволоження на чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому найвищу енергетичну стабільність ґрунту в ланці зерно-бурякової сівозміни з горохом забезпечило поєдане застосування мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції культур сівозміни.

8.3 Еколого-енергетична ефективність агротехнологій

В останні роки для визначення енергетичної ефективності агротехнологій широко використовують коефіцієнт енергетичної ефективності з урахуванням змін енергетичного потенціалу ґрунту (Кеег). Зазначений коефіцієнт – це співвідношення виходу енергії врожаю на одиницю витрат антропогенної енергії на вирощування культур та відновлення родючості ґрунту.

Такий методичний підхід дозволяє проводити еколого-енергетичну оцінку агротехнологій, враховувати їх вплив на продуктивність культур та зміни родючості ґрунту. Ю.О. Тараріко [293] виділяє п'ять рівнів енергетичної ефективності агротехнологій: Кеег <2 – ефективність дуже низька; 2-4 – низька; 4-6 – середня; 6-8 – висока; >8 – дуже висока.

На чорноземі опідзоленому важкосуглинковому вирощування культур без внесення добрив обумовило низьку енергетичну ефективність агротехнологій: $K_{eeг} = 2,7$. Порівняно з загальноприйнятим показником Кее, який не враховував змін енергії ґрунту, енергетична ефективність агротехнологій за показником Кеег була нижчою на 3,9, що свідчить про значні втрати енергії ґрунту в процесі вирощування культур (рис. 8.1).

Низький рівень енергетичної ефективності агротехнологій визначено за мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозмінної площі): $K_{eeг} = 2,9$. Формування енергії врожаю за цієї системи відбувається за значних втрат енергії ґрунту.

За традиційної органо-мінеральної системи удобрення забезпечувалось підвищення енергетичної ефективності агротехнологій. Внесення мінеральних добрив і гною ($N_{50}P_{42,5}K_{50} + 12$ т гною на 1 га сівозмінної площі) створювало середній рівень енергетичної ефективності агротехнологій: $K_{eeг} = 5,3$.

Енергетично ефективнішою виявилась альтернативна з елементами біологізації органо-мінеральна система удобрення. Внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{50}P_{42,5}K_{50} +$ побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) забезпечило високий рівень енергетичної ефективності агротехнологій в зерно-буряковій сівозміні

за показником Кеег – 6,1, що на 0,8 було вищим, ніж за традиційної органо-мінеральної системи удобрення. Підвищенню енергетичної ефективності агротехнологій за введення елементів біологізації в системи удобрення сприяло істотне зниження енергетичних витрат пов'язаних із застосуванням побічної продукції порівняно з внесенням гною.

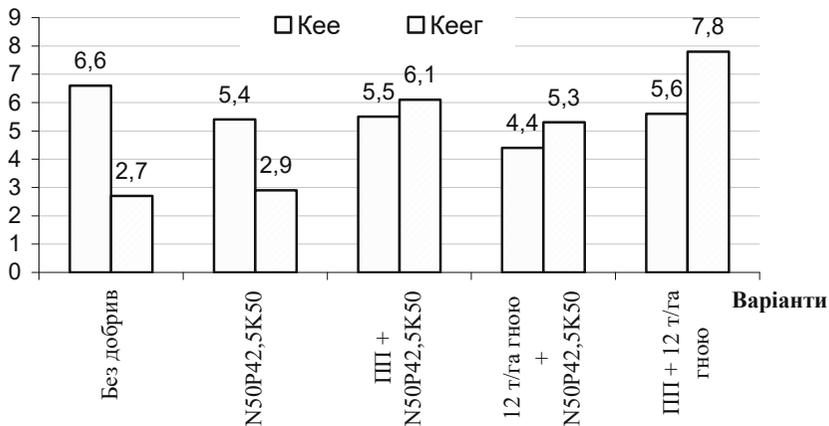


Рис. 8.1 Енергетична ефективність агротехнологій за різних систем удобрення, ВДСС, 1997-2009 рр.

ПП – побічна продукція культур;

Кее – коефіцієнт енергетичної ефективності без урахування змін енергії ґрунту;

Кеег – коефіцієнт енергетичної ефективності з урахуванням змін енергії ґрунту.

Найвищі показники енергетичної ефективності агротехнологій у зерно-буряковій сівозміні виявлено за органічної системи удобрення (12 т гною + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі): Кеег = 7,8. Цьому сприяло покращання енергетичного балансу ґрунту. За органічної системи удобрення внаслідок надходження органічної речовини до ґрунту помітно підвищувався енергетичний потенціал чорноземи опідзоленої.

На чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому (за нестійкого зволоження) енергетичну ефективність агротехнологій вивчали залежно від систем удобрення і структури сівозміни.

За вирощування культур без внесення добрив у зерно-просапній

сівозміні (просапних 40%, бобових 10%) Кеє становив 1,5, у плодозмінній (просапних 16,7%, бобових 33%) – 3,2. Зниження Кеє у зерно-просапній сівозміні порівняно з плодозмінною на 1,7 було наслідком стабілізації енергетичного потенціалу ґрунту за насичення сівозміни бобовими культурами і зменшення в ній частки просапних культур (рис. 8.2).

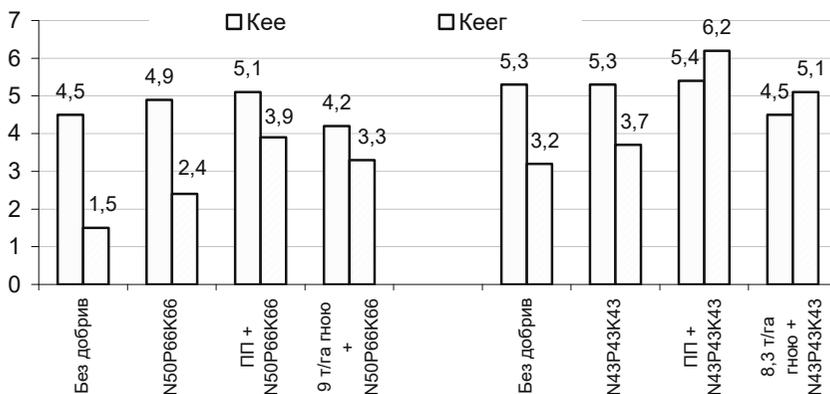


Рис. 8.2 Енергетична ефективність агротехнологій за різних систем удобрення, БЦДСС, 1996-2012 рр.

ПП – побічна продукція культур;

Кеє – коефіцієнт енергетичної ефективності без урахування змін енергії ґрунту;

Кеєг – коефіцієнт енергетичної ефективності з урахуванням змін енергії ґрунту.

Низьку енергетичну ефективність агротехнологій в обох сівозмінах виявлено за мінеральної системи удобрення. Внесення у зерно-просапній сівозміні N₅₀P₆₆K₆₆, плодозмінній – N₄₃P₄₃K₄₃ забезпечило енергетичну ефективність агротехнологій за показником Кеє відповідно 2,4 та 3,7.

Підвищення енергетичної ефективності агротехнологій забезпечувало поєднане внесення мінеральних добрив і ґною: у зерно-просапній сівозміні – N₅₀P₆₆K₆₆ + 9 т/га ґною, у плодозмінній – N₄₃P₄₃K₄₃ + 8,3 т/га ґною. Внесення ґною підвищило енергоємність врожаю культур та значно поповнило енергетичні запаси чорнозему типового вилугуваного надходженням у ґрунт органічної речовини та біогенних елементів. Кеєг у зерно-просапній сівозміні становив – 3,3, у плодозмінній – 5,1, що порівняно з мінеральною системою

удобрення було більшим – відповідно на 0,9 та 1,4.

Енергетично найефективнішою визначено систему удобрення, яка поєднувала внесення мінеральних добрив та побічної продукції (у зерно-просапній сівозміні – $N_{50}P_{66}K_{66}$ + побічна продукція; у плодозмінній – $N_{43}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція). Коефіцієнт енергетичної ефективності (Кеег) в зерно-просапній сівозміні становив 3,9, плодозмінній – 6,2, що порівняно з традиційною органо-мінеральною системою удобрення виявилось вищим відповідно на 0,6 та 1,1. Підвищення енергетичної ефективності відбувалось переважно за зменшення енерговитрат на побічну продукцію.

Отже, високий рівень енергетичної ефективності агротехнологій на чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому визначено у плодозмінній сівозміні за внесення мінеральних добрив і побічної продукції. У зерно-просапній сівозміні введення елементів біологізації в системи удобрення не забезпечувало стабільності енергетичного потенціалу ґрунту і зберігало енергетичну ефективність агротехнологій на низькому рівні.

На чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому (умови достатнього зволоження) низьку ефективність агротехнологій у ланці з горохом спостерігали у варіанті без добрив та за мінеральної системи удобрення. Так, у варіанті без добрив Кеег становив 2,7, за внесення $N_{50}P_{20}K_{30}$ та $N_{66,7}P_{26,7}K_{40}$ на 1 га ланки сівозміни – відповідно 2,6 та 2,5 (рис. 8.3).

Застосування зеленої маси гірчиці білої та її поєднання з мінеральними добривами ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат на 1 га ланки сівозміни) підвищило енергетичну ефективність агротехнологій за показником Кеег порівняно з мінеральною системою удобрення – відповідно на 1,5 та 1,3. При цьому енергетична ефективність агротехнологій зберігалась на низькому рівні: Кеег був в межах 3,9-4,1. Сидерати і мінеральні добрива недостатньо підвищували енергетичну ефективність агротехнологій.

Підвищення їх ефективності у ланці зерно-бурякової сівозміни з горохом визначено за внесення гною (13,3 т/га ланки сівозміни) та внесення його з мінеральними добривами ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + 13,3 т гною на 1 га ланки сівозміни). Гній порівняно із зеленою масою гірчиці білої підвищував енергетичну ефективність агротехнологій за показником Кеег на 3,1, а за поєднаного внесення гною і мінеральних добрив відносно аналогічного варіанту з гірчицею білою – на 1,4.

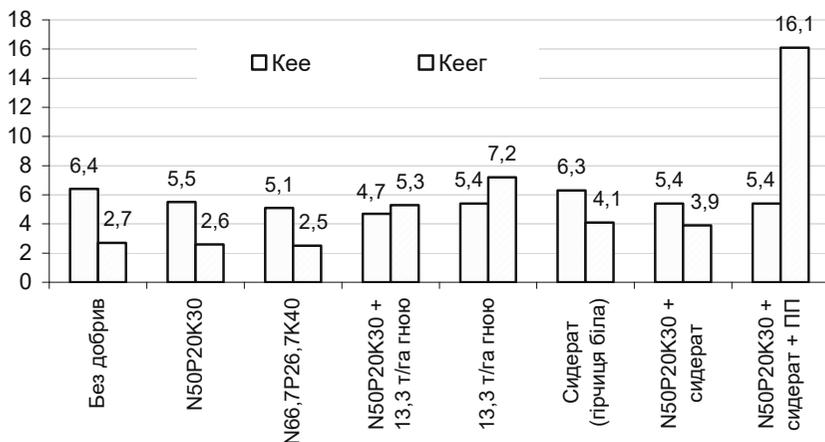


Рис. 8.3 Енергетична ефективність агротехнологій за різних систем удобрення, УЛДСС, 2006-2010 рр.

ПП – побічна продукція культур;

Kee – коефіцієнт енергетичної ефективності без урахування змін енергії ґрунту;

Keer – коефіцієнт енергетичної ефективності з урахуванням змін енергії ґрунту.

При цьому досягнуто високого та середнього рівня енергетичної ефективності – Keer відповідно становив 7,2 та 5,3. Внесення гною в дозі 13,3 т/га виявилось значно ефективнішим, ніж зелене добриво. При цьому енергетична ефективність агротехнологій за показником Keer істотно перевищувала загально прийнятий показник Kee, що свідчить про розширене відтворення енергії ґрунту.

Найвищої енергетичної ефективності агротехнологій досягнуто за внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції рослинництва (N₅₀P₂₀K₃₀ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни). Надходження у ґрунт значної кількості органічної речовини у складі зеленого добрива та побічної продукції формувало в ньому розширений баланс енергії на фоні помірних технологічних енерговитрат, що забезпечило високий рівень енергетичної ефективності агротехнологій. Показник Keer становив 16,1, що порівняно з традиційною органо-мінеральною системою удобрення (N₅₀P₂₀K₃₀ + 13,3 т гною) було більшим на 10,8, мінеральною (N₅₀P₂₀K₃₀) – на 13,5.

Отже, біологізація систем удобрення за внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції забезпечила найвищу енергетичну ефективність агротехнологій в ланці сівозміни з горохом. За біологізації систем удобрення приріст енергії в агроecosystemі (енергія ґрунту + енергія врожаю) на один ГДж енерговитрат в середньому по ланці сівозміни становив 6,1 ГДж/га. Порівняно з традиційною органо-мінеральною системою удобрення приріст енергії в агроecosystemі на один ГДж енерговитрат був вищим на 1,3 ГДж/га.

8.4 Економічна ефективність застосування добрив у сівозмінах

З переходом до ринкової економіки питання економічної та екологічної доцільної набувають особливої ваги і стають основою бізнес-планування діяльності підприємств. Система удобрення є основою підвищення рентабельності аграрного виробництва, але із-за високих цін на мінеральні добрива та високу собівартість застосування органічних добрив, які склались в аграрному секторі в останні роки, потребує нових екологічно збалансованих та економічно ефективних підходів [61].

Проведення економічного аналізу дає можливість встановити, які культури і за яких систем удобрення за безпечують найвищу окупність витрат на їх застосування, що дозволить оптимізувати удобрення окремих культур і сівозміни в цілому [248].

У проведених дослідженнях ми вивчали економічну ефективність систем удобрення за впровадження елементів біологізації (побічної продукції і пожнивних сидеральних культур) та порівнювали їх ефективність з традиційними мінеральною та органо-мінеральною системами удобрення.

На чорноземі опідзоленому важкосуглинковому (за нестійкого зволоження) за мінеральної, органічної та органо-мінеральних систем удобрення в умовах зерно-буракової сівозміни витрати на удобрення в середньому на 1 га сівозміни коливались від 1341 до 2133 грн (табл. 8.8).

Найбільші витрати визначено для традиційної органо-мінеральної системи удобрення. Тут питома вага витрат на удобрення в сумарному підсумку по сівозміні становила 35%, тоді як за мінеральної системи удобрення – 26-30%, внесення мінеральних і

побічної продукції – 26%, гною і побічної продукції – 23%. За органо-мінеральної системи удобрення із внесенням побічної продукції замість гною питома вага витрат на удобрення в загальних витратах по сівозміні знижувалась на 9%. Важливим показником економічної ефективності застосування добрив є величина умовно-чистого прибутку. За мінеральної системи удобрення у зерно-буряковій сівозміні величина умовно-чистого прибутку становила в межах 6089-6321 грн/га.

Таблиця 8.8 Економічна ефективність застосування добрив у зерно-буряковій сівозміні на чорноземі опідзоленому, ВДСС, 1996-2010 рр., грн/га

№ ва р.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Витрати		Вартість продукції		Прибуток		Окупність витрат на удобрення	Рентабельність, %
		всього	в т.ч. на удобрення	всього	в т.ч. від удобрення	всього	в т.ч. від удобрення		
1	Без добрив (контроль)	3527	-	9370	-	5843	-	-	166
2	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀	5170	1341	11491	2121	6321	780	1,58	122
23	N ₇₅ P _{42,5} K ₅₀	5391	1544	11506	2136	6115	592	1,38	113
19	N ₅₀ P _{63,7} K ₅₀	5489	1634	11578	2208	6089	574	1,35	111
25	N ₅₀ P _{42,5} K ₇₅	5363	1516	11516	2146	6153	630	1,42	115
3	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + побічна продукція	5226	1341	11761	2391	6535	1050	1,78	125
5	N ₅₀ P _{42,5} K ₅₀ + 12 т/га гною	6044	2133	11896	2526	5852	393	1,18	97
12	12 т/га гною + побічна продукція	4592	792	11460	2090	6868	1298	2,64	150

При цьому найприбутковішим визначено внесення рекомендованої дози добрив (N₅₀P_{42,5}K₅₀) зі співвідношенням N:P:K як 1:0,9:1. Збільшення у складі мінерального добрива дози одного з елементів живлення в 1,5 рази зменшувало умовно-чистий прибуток і було менш ефективним.

Величина умовно-чистого прибутку помітно зменшувалась за застосування традиційної органо-мінеральної системи удобрення

($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + 12 т гною на 1 га сівозмінної площі). Порівняно з внесенням мінеральних добрив величина умовно-чистого прибутку зменшилась у середньому на 1 га сівозміни на 469 грн.

Економічно ефективним у зерно-буряковій сівозміні визначено внесення мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі). Порівняно з внесенням мінеральних добрив умовно-чистий прибуток за введення елементів біологізації до системи удобрення збільшився у середньому на 1 га сівозміни на 214 грн і становив 6535 грн/га. За внесення побічної продукції замість гною умовно-чистий прибуток у середньому по сівозміні збільшився на 683 грн./га.

Високої ефективності добрив у сівозміні досягнуто за органічної системи удобрення з елементами біологізації (12 т гною + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі). Сума умовно-чистого прибутку тут становила 6868 грн/га. Однак, за чисто органічної системи удобрення порівняно з внесенням мінеральних добрив і побічної продукції вона була меншою – вартість валової продукції в середньому на 1 га знижувалась на 301 грн.

Важливим показником оцінки ефективності систем удобрення є окупність витрат на застосування добрив та рівень рентабельності вирощування культур. Розрахунки показують, що за мінеральної системи удобрення окупність витрат на застосування добрив в середньому на 1 га сівозміни становила 1,35-1,58 грн, поєданого внесення мінеральних добрив і гною – 1,18 грн, мінеральних добрив і побічної продукції – 1,78 грн, гною і побічної продукції – 2,64 грн; рівень рентабельності – відповідно 111-122%, 97%, 125% та 150%.

За мінеральної системи удобрення максимальна окупність витрат і рентабельність вирощування культур досягалась за дози $N_{50}P_{42,5}K_{50}$ зі співвідношенням N:P:K як 1:0,9:1 – 1,58 грн/га, рівень рентабельності – 122%. Підвищення дози одного з елементів живлення в 1,5 рази знижувало окупність витрат на удобрення в середньому на 1 га сівозміни на 0,16-0,23 грн, рівень рентабельності – на 7-11%.

Внесення побічної продукції замість гною за органо-мінеральної системи удобрення збільшило окупність витрат на добрива у середньому на 1 га сівозміни на 0,60 грн, рівень рентабельності – на 28%.

Отже, за нестійкого зволоження внесення мінеральних добрив і побічної продукції забезпечило отримання найвищого умовно-чистого

прибутку на фоні високої продуктивності сівозміни.

На чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому (за нестійкого зволоження) за різних систем удобрення витрати на удобрення в середньому на 1 га зерно-просапної сівозміни (третя ротація) були у межах 1778-2372 грн, плодозмінної реформованої (четверта ротація) – 1242-1790 грн (табл. 8.9).

Таблиця 8.9 Економічна ефективність застосування добрив у різноротаційних сівозмінах на чорноземі типовому вилугуваному, БЦДСС, 1996-2013 рр., грн/га

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозмінної площі	Витрати		Вартість продукції		Прибуток		Окупність витрат на удобрення	Рентабельність, %
		всього	в т.ч. на удобрення	всього	в т.ч. від удобрення	всього	в т.ч. від удобрення		
Десятипільна сівозміна, 1996-2007 рр.									
11	Без добрив (контроль)	3066	-	6204	-	3138	-	-	102
2	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆	5506	1778	10449	4245	4943	2467	2,39	90
4	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + побічна продукція	5572	1778	10974	4770	5402	2992	2,68	97
13	N ₅₀ P ₆₆ K ₆₆ + 9 т/га гною	6242	2372	11402	5198	5160	2826	2,19	83
Шестипільна сівозміна, 2006-2013 рр.									
11	Без добрив (контроль)	2758	-	5953	-	3195	-	-	116
2	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃	4639	1242	9164	3211	4525	1969	2,59	98
4	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + побічна продукція	4760	1242	9548	3595	4847	2353	2,90	103
13	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃ + 8,3 т/га гною	5348	1790	10060	4107	4712	2317	2,29	88

У структурі загальної суми обох сівозмін частку витрат на удобрення визначено найбільшою за традиційної органо-мінеральної системи удобрення: у зерно-просапній – 38%, у плодозмінній – 32%, тоді як за мінеральної системи удобрення та за внесення мінеральних добрив і побічної продукції їх частку на удобрення в обох сівозмінах

зменшилась на 6%.

Розрахунки умовно-чистого прибутку показали, що в середньому на 1 га зерно-просапної (просапних 40%, бобових 10%) та плодозмінної (просапних 16,7%, бобових 33%) сівозмін найвищий прибуток було отримано за поєднання внесення мінеральних добрив і побічної продукції – відповідно 5402 та 4847, тоді як за мінеральної системи удобрення величина умовно-чистого прибутку зменшилась – на 459 та 322 грн/га, органо-мінеральної на основі гною – на 242 та 135 грн/га.

Системи удобрення з внесенням мінеральних добрив і побічної продукції забезпечили в обох сівозмінах найвищу окупність витрат на добрива. Порівняно з внесенням мінеральних добрив окупність цих витрат за системи удобрення з введенням елементів біологізації підвищилась у середньому по зерно-просапній сівозміні – на 0,29 грн/га, плодозмінній – на 0,31 грн/га; за традиційної органо-мінеральної – відповідно на 0,49 та 0,61 грн/га. Рівень рентабельності за внесення мінеральних добрив і побічної продукції збільшився порівняно з мінеральною системою удобрення в середньому по зерно-просапній сівозміні – на 7%, плодозмінній – на 5%; традиційній органо-мінеральній – відповідно на 14% та 15%.

Отже, за нестійкого зволоження на чорноземі типовому вилугуваному середньосуглинковому поєднання внесення мінеральних добрив і побічної продукції забезпечило отримання найвищого умовно-чистого прибутку в обох сівозмінах, незалежно від їх структури та насиченості просапними і бобовими культурами.

На чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому (за достатнього зволоження) за мінеральної системи удобрення середньорічні витрати на удобрення в ланці сівозміни з горохом склались у межах 891-1188 грн/га (табл. 8.10).

Внесення мінеральних добрив і зеленої маси гірчиці білої або мінеральних добрив, гірчиці білої та побічної продукції збільшувало витрати на удобрення не істотно – до 937 грн/га ланки сівозміни.

Підвищення витрат на удобрення спостерігали за традиційної органо-мінеральної системи удобрення. За її застосування порівняно з внесенням лише мінеральних добрив витрати на удобрення в середньому по ланці сівозміни підвищились на 878 грн/га, або на 99% і становили 1769 грн/га.

В структурі загальної суми по ланці сівозміні частка витрат на добрива за мінеральної системи удобрення становила 18-22%, внесе-

ння мінеральних добрив і гною – 29%, лише гною – 18%, мінеральних добрив і зеленої маси гірчиці білої – 19%, мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції – 18%.

Таблиця 8.10 Економічна ефективність застосування добрив у ланці зерно-бурякової сівозміни на чорноземі типовому вилугуваному, УЛДСС, 2006-2010 рр., грн/га

№ ва р.	Внесено добрив на 1 га ланки сівозміни	Витрати		Вартість продукції		Прибуток		Окупність витрат на	Рентабельність, %
		всього	в т.ч. на удобрення	всього	в т.ч. від удобрення	всього	в т.ч. від удобрення		
1	Без добрив (контроль)	3825	-	10324	-	6499	-	-	156
3	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀	5036	891	12120	1796	7097	905	2,02	130
15	N _{73,3} P ₂₀ K ₃₀	5287	1080	12601	2277	7319	1197	2,11	126
18	N ₅₀ P ₃₀ K ₃₀	5152	1029	11962	1638	6810	609	1,59	124
20	N ₅₀ P ₂₀ K _{43,3}	5118	984	12047	1723	6930	739	1,75	126
4	N _{66,7} P _{26,7} K ₄₀	5455	1188	12820	2496	7365	1308	2,10	124
5	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + 13,3 т/га гною	6141	1769	13318	2994	7177	1225	1,69	117
6	13,3 т/га гною	4991	878	11825	1501	6834	623	1,71	134
10	Сидерат (гірчиця біла)	3930	46	10615	291	6685	245	6,33	157
11	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат	5056	937	12108	1784	7052	847	1,90	129
12	N ₅₀ P ₂₀ K ₃₀ + сидерат + побічна продукція	5158	937	12807	2483	7648	1546	2,65	137

Суму умовно-чистого прибутку в середньому на 1 га ланки сівозміни визначено найбільшою за системи удобрення з елементами біологізації з внесенням мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції – 7648 грн. За внесення гірчиці білої з мінеральними добривами порівняно з зазначеною системою удобрення умовно-чистий прибуток у середньому по ланці сівозміни знизився на 596 грн/га, або на 9%; лише зеленої маси гірчиці білої – на 963 грн, або на 14%.

Зниження умовно-чистого прибутку в середньому на 1 га ланки сівозміни порівняно з внесення мінеральних добрив, зеленої маси

гірчиці білої та побічної продукції виявлено для таких систем удобрення: мінеральної – на 283-838 грн, органо-мінеральної – на 471 грн, лише гною – на 814 грн.

За мінеральної системи удобрення найбільший умовно-чистий прибуток у середньому по ланці сівозміни отримано за дози $N_{66,7}P_{26,7}K_{40}$ – 7365 грн/га, що порівняно з рекомендованою дозою ($N_{50}P_{20}K_{30}$) було більшим на 268 грн, або на 4%.

Внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції забезпечило найвищу окупність витрат на удобрення та рівень рентабельності вирощування культур у ланці сівозміни з горохом – відповідно 2,65 грн/га ланки сівозміни та 137%. Порівняно з традиційною органо-мінеральною системою удобрення окупність витрат на удобрення в середньому по ланці сівозміни підвищилась на 0,96 грн/га, а рівень рентабельності – на 20%.

Отже, за достатнього зволоження на чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому економічно найефективнішим визначено органо-мінеральну систему удобрення з елементами біологізації, яка передбачала поєднане внесення мінеральних добрив, зеленої маси гірчиці білої та побічної продукції.

Після проведення досліджень з вивчення впливу систем удобрення на енергетичну та економічну ефективність вирощування культур можна зробити такі висновки:

1. За мінеральної системи удобрення відбувалися щорічні втрати енергії чорноземів від 16,0 до 28,8 ГДж/га та зниження рівня агротехнологій в сівозмінах ($К_{еег} = 2,4-3,7$). За зменшення частки просапних культур і збільшення частки бобових енергетична ефективність агротехнологій підвищувалась.

2. Застосування традиційної органо-мінеральної системи удобрення в сівозмінах з часткою просапних культур до 30% формувало додатній щорічний баланс енергії ґрунту на рівні +4,3-5,3 ГДж/га та підвищило енергетичну ефективність агротехнологій до середнього рівня ($К_{еег} = 5,1-5,3$). У зерно-просапній сівозміні (просапних 40%, бобових 10%) внесення $N_{50}P_{66}K_{66} + 9$ т гною на 1 га сівозмінної площі зберігало від'ємний щорічний баланс енергії чорнозему типового вилугуваного середньосуглинкового на рівні -10,1 ГДж/га та за безпечило низький рівень агротехнологій ($К_{еег} = 3,3$).

3. Внесення мінеральних добрив і побічної продукції визначено енергетично найефективнішим. В системах удобрення з елементами біологізації з часткою у сівозміні просапних культур до 30% сформо-

вано додатній баланс енергії ґрунту на рівні +2,6-7,9 ГДж/га та за безпечено високий рівень енергетичної ефективності агротехнологій (Кеег = 6,1-6,2). За достатнього зволоження енергетично найефективнішим визначено поєднання $N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозмін: щорічний баланс енергії ґрунту тут становив +18,9 ГДж/га, а рівень агротехнологій – як дуже високий (Кеег = 16,1). Внесення сидерату і мінеральних добрив не забезпечило стабільності енергетичного балансу ґрунту та супроводжувалось низьким рівнем агротехнологій.

4. За нестійкого зволоження системи удобрення з елементами біологізації з внесенням мінеральних добрив і побічної продукції забезпечили найвищу економічну ефективність вирощування культур зерно-буякової сівозмін: рівень рентабельності в середньому по сівозміні становив 97-125%, окупність витрат на удобрення – 1,78-2,90 рази, що порівняно з мінеральною системою удобрення виявилось більшим – відповідно на 3-7% та 0,20-0,31, за традиційної органо-мінеральної – на 14-28% та 0,49-0,61. За достатнього зволоження найбільший економічний ефект відмічено від поєданого внесення $N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозмін, де рівень рентабельності у середньому по ланці сівозмін становив 137%, окупність витрат на удобрення – 2,65 рази, що порівняно з мінеральною системою удобрення було більшим – відповідно на 7% та 0,63, традиційною органо-мінеральною – на 20% та 0,96.

ВИСНОВКИ

1. Стабілізація гумусного фонду чорноземних ґрунтів досягалась за 20-35 річного застосування органо-мінеральних традиційної та з елементами біологізації систем удобрення. Щорічне внесення вуглецю органічних добрив у кількості 0,9-1,1 т/га у плодозмінній сівозміні стабілізувало запаси гумусу ґрунту, а збільшення понад цієї дози забезпечило розширене його відтворення. Внесення $N_{43-50}P_{43}K_{43-50} + 8,3-12$ т/га гною у плодозмінній сівозміні (просапних 16,7-33%, бобових 30-33%) забезпечило щорічне підвищення вмісту гумусу – на 0,10-0,15; $N_{43-50}P_{43}K_{43-50} +$ побічна продукція – 0,12-0,20, тоді як у зерно-просапній (просапних 40%, бобових 10%) за дози $N_{50}P_{66}K_{66} + 9$ т/га гною формувався дегуміфікаційний тренд розвитку зі щорічними втратами гумусу 0,21, $N_{50}P_{66}K_{66} +$ побічна продукція – відповідно 0,12 т/га. За достатнього зволоження найвищої стабільності гумусового фонду чорнозему вилугуваного легкосуглинкового у ланці сівозміні горох-пшениця озима-буряки цукрові досягнуто за внесення $N_{50}P_{20}K_{30} +$ зелена маса гірчиці білої + побічна продукція зі щорічним підвищенням до 0,60 т/га. За органо-мінеральної традиційної та з елементами біологізації систем удобрення абсолютний вміст гумінових кислот у складі гумусу збільшувався і підвищувалась його гуматність.

2. Тривале упродовж 20-35 років застосування мінеральних добрив в сівозмінах Лісостепу обумовило дегуміфікаційний тренд розвитку чорноземних ґрунтів. В чорноземі опідзоленому за внесення упродовж 20-ти років дози добрив $N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га ріллі втрати гумусу в орному (0-30 см) шарі становили 0,34%, підорному – 0,16%; чорноземі вилугуваному середньосуглинковому за дози $N_{43}P_{43}K_{43}$ упродовж 6-ти років вони знизились на 0,08% та 0,03%; чорноземі вилугуваному легкосуглинковому (за достатнього зволоження) за дози $N_{50}P_{20}K_{30}$ упродовж 3-х років – на 0,08% та 0,05%. Збільшення частки просапних культур у сівозміні до 40% та відсутність багаторічних трав підвищили щорічні втрати гумусу в чорноземі вилугуваному середньосуглинковому удвічі.

3. За тривалого застосування органо-мінеральної системи удобрення виявлено стабілізацію азотного фонду чорноземів з переважаючим зростанням вмісту азоту у важкогідролізованих фракціях. Внесення $N_{50}P_{42,5}K_{50} +$ побічна продукція на 1 га сівозміні підвищило вміст загального азоту в чорноземі опідзоленому на кінець другої ротації, порівняно з контролем без добрив, на 230 мг/кг,

$N_{50}P_{42,5}K_{50} + 12$ т/га гною – на 290, з них азоту важкогідролізованих фракцій – відповідно на 171 та 192 мг/кг ґрунту. В чорноземі вилугуваному легкосуглинковому найвищий вміст загального азоту на кінець ланки горох-пшениця озима-буряки цукрові визначено за внесення $N_{50}P_{20}K_{30} +$ сидерат + побічна продукція та $N_{50}P_{20}K_{30} + 13,3$ т/га гною у кількості 2360 мг/кг, з приростом до контролю без добрив 60 мг/кг ґрунту.

4. Застосування упродовж 20-35 років середньорічної дози фосфорних добрив понад 39-43 кг P_2O_5 /га забезпечило підвищення вмісту рухомого фосфору у верхніх шарах чорноземів. У чорноземі опідзоленому за внесення $N_{50}P_{42,5}K_{50}$ на 1 га сівозміни вміст рухомого фосфору в орному (0-30 см) шарі ґрунту на кінець другої ротації підвищився до вихідного рівня на 14,3 мг/кг, $N_{50}P_{42,5}K_{50} +$ побічна продукція – на 23,4, $N_{50}P_{42,5}K_{50} + 12$ т/га гною – на 40,5, 12 т/га гною + побічна продукція – на 10,1; у підорному (30-40 см) – відповідно на 6,6, 5,7, 8,0 та 5,3 мг/кг ґрунту. За органо-мінеральної традиційної та з елементами біологізації систем удобрення інтенсивніше утворювалась група органічних фосфатів та знижувалось закріплення мінерального фосфору у нерозчинному залишку. Ефективним заходом стабілізації фонду рухомого фосфору в чорноземі вилугуваному (за достатнього зволоження) визначено поєднане внесення $N_{50}P_{20}K_{30} +$ сидерат + побічна продукція (40 кг/га P_2O_5) – вміст рухомого фосфору на кінець ланки горох-пшениця озима-буряки цукрові в орному (0-30 см) шарі становив 140, підорному – 109 мг/кг ґрунту.

5. У стабілізації калійного фонду чорноземних ґрунтів найефективнішими визначено органо-мінеральну та органічну з елементами біологізації системи удобрення. За внесення на чорноземі опідзоленому упродовж 20-ти років $N_{50}P_{42,5}K_{50}$ вміст рухомого калію в орному 0-30 см шарі підвищився на 11,6 мг/кг; $N_{50}P_{42,5}K_{50} + 12$ т/га гною – на 27,0; $N_{50}P_{42,5}K_{50} +$ побічна продукція – на 27,3; 12 т/га гною + побічна продукція – на 31,7; у підорному – відповідно на 9,1, 21,2, 18,9 та 20,3 мг/кг ґрунту. Застосування у сівозміні побічної продукції рослинництва обумовило високий рівень рециркуляції калію і за ефективністю прирівнювалось до внесення 12 т/га гною. За достатнього зволоження найвищої стабільності калійного фонду чорнозему вилугуваного легкосуглинкового досягнуто за внесення $N_{50}P_{20}K_{30} +$ сидерат + побічна продукція, де вміст рухомого калію за три роки збільшився на 5,0 і становив 80,4 мг/кг ґрунту.

6. Систематичне тривале застосування мінеральних добрив та їх внесення з побічною продукцією у сівозмінах Лісостепу підвищило кислотність ґрунтового розчину. У чорноземі опідзоленому за дози добрив $N_{50}P_{42,5}K_{50}$ гідролітична кислотність упродовж 20-ти років підвищилась в орному шарі на 0,95 мг-екв./100 г ґрунту, $N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + побічна продукція – на 0,89, сума ввібраних основ зменшилась – відповідно на 1,1 та 0,8 мг-екв./100 г ґрунту. За достатнього зволоження гідролітичну кислотність ґрунту на 0,35 мг-екв./100 г ґрунту підвищило застосування у сівозміні впродовж трьох років зеленої маси гірчиці білої; тоді як внесення $N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат – на 0,87; $N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція – на 0,81 мг-екв./100 г ґрунту.

7. За мінеральної системи удобрення ($N_{43-50}P_{43-66}K_{43-66}$) в умовах нестійкого зволоження досягнуто продуктивності сівозмін 6,96-7,71 т к.од./га, при цьому формувався різко від'ємний баланс азоту та калію у ґрунті – 21,8-68,7 і 48,4-67,2 кг/га, на тлі додатного балансу фосфору – 4,9-23,7 кг/га. За достатнього зволоження внесення $N_{50}P_{20}K_{30}$ забезпечило продуктивність ланки сівозміни горох-пшениця озима-буряки цукрові – 8,05 т к.од./га і супроводжувалось щорічним дефіцитом азоту у ґрунті – 48,9 кг/га, рухомого фосфору і калію – відповідно, по 17,0 і 68,5 кг/га.

8. Застосування зонально рекомендованих доз мінеральних добрив за нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому ($N_{120}P_{100}K_{140}$) забезпечило врожайність коренеплодів буряків цукрових 41,5-43,7 т/га, чорноземі вилугуваному середньосуглинковому ($N_{80-100}P_{100}K_{100}$) – 29,0-36,7 т/га; за достатнього зволоження на чорноземі вилугуваному легкосуглинковому ($N_{90}P_{60}K_{90}$) – 45,6 т/га; збір цукру – відповідно 6,18-7,21, 4,58-6,51 та 6,79 т/га. Кращим попередником під буряки цукрові за нестійкого зволоження визначено вико-овес.

9. За внесення під пшеницю озиму на чорноземі опідзоленому $N_{60-80}P_{50}K_{60}$ досягнуто врожайності зерна 5,00-6,59 т/га, чорноземі вилугуваному середньосуглинковому ($N_{40-60}P_{60}K_{60}$) – 4,39-5,88 т/га, чорноземі вилугуваному легкосуглинковому (N_{60}) – 5,99 т/га. Застосування мінеральних добрив збільшило вміст білка у зерні пшениці озимої порівняно з контролем без добрив на 1,7-2,1%. Кращими попередниками під пшеницю озиму за нестійкого зволоження визначено горох і кукурудзу на зелений корм. На чорноземі вилугуваному середньосуглинковому внесення $N_{40}P_{60}K_{60}$ у післядії 30 т/га гною підвищило врожайність зерна пшениці озимої по зазначених попередниках у прямій дії мінеральних добрив – на 0,28-0,40; у

післядії соломи лише після попередника кукурудзи на зелений корм – на 0,32 т/га.

10. 20-35 річне застосування органо-мінеральної традиційної та з елементами біологізації систем удобрення забезпечило найвищу продуктивність сівозмін. За нестійкого зволоження внесення $N_{43-50}P_{43-66}K_{43-66}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі забезпечило одержання 7,43-8,35 т к.од./га, $N_{43-50}P_{43-66}K_{43-66}$ + 8,3-12 т/га гною – 7,86-8,56 т к.од./га. На чорноземі опідзоленому введення елементів біологізації в систему удобрення ($N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + побічна продукція) підвищило продуктивність сівозміни до рівня мінеральної системи удобрення – на 0,22 т к.од./га, $N_{50}P_{42,5}K_{50}$ + 12 т/га гною – на 0,43; на чорноземі вилугуваному середньосуглинковому за внесення $N_{43-50}P_{43-66}K_{43-66}$ + побічна продукція – на 0,30-0,33, $N_{43-50}P_{43-66}K_{43-66}$ + 8,3-9 т/га гною – на 0,68-0,73 т к.од./га. Ефективність органічних добрив зростала з підвищенням зволоження. За достатнього зволоження на чорноземі вилугуваному легкосуглинковому найефективнішим визначено внесення $N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція і $N_{50}P_{20}K_{30}$ + 13,3 т/га гною – продуктивність ланки горох-пшениця озима-буряки цукрові становила 8,49 і 8,94 т к.од./га з підвищенням до мінеральної системи удобрення на 0,51 і 0,89 т к.од./га.

11. У чорноземних ґрунтах за традиційної та з елементами біологізації органо-мінеральної систем удобрення стабілізувався баланс елементів живлення. За нестійкого зволоження внесення $N_{43-50}P_{43-66}K_{43-66}$ формувало щорічний дефіцит легкогідролізованого азоту у ґрунті – 21,8-68,7 кг/га, рухомого калію – 48,4-67,2, надлишок рухомого фосфору – 4,9-23,7 кг/га, тоді як внесення $N_{43-50}P_{43-66}K_{43-66}$ + побічна продукція рослинництва зменшило дефіцит азоту – до 0,3-38,2 кг/га, калію – до 0,9-25,0, збільшило надлишок фосфору – до 5,7-31,6 кг/га. Внесення $N_{43-50}P_{43-66}K_{43-66}$ + 8,3-12 т/га гною формувало баланс азоту від -35,3 до +10,9, калію – від -4,0 до -26,0, фосфору – +22,4-42,4 кг/га. За достатнього зволоження внесення $N_{50}P_{20}K_{30}$ у ланці сівозміни горох-пшениця озима-буряки цукрові обумовило щорічний дефіцит легкогідролізованого азоту у ґрунті – 48,9 кг/га, рухомого фосфору – 17, рухомого калію – 68,5, а за внесення $N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція – їх дефіцит зменшився до 18,0, 9,7 та 22,5 кг/га; за $N_{50}P_{20}K_{30}$ + 13,3 т/га гною – сформовано додатній їх баланс – відповідно 3,3, 13,3 та 26,0 кг/га.

12. За 20-35 річного застосування органо-мінеральної системи удобрення одержано найвищу продуктивність буряків цукрових. В

умовах нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому за внесення $N_{120}P_{100}K_{140}$ + солома пшениці озимої, порівняно з мінеральною системою удобрення, збір цукру підвищився на 0,08-0,17 т/га, $N_{120}P_{100}K_{140}$ + 40 т/га гною – на 0-0,14; чорноземі вилугуваному середньосуглинковому $N_{80}P_{100}K_{100}$ + солома пшениці озимої – на 0,43-0,61, $N_{80}P_{100}K_{100}$ + 30 т/га гною – на 0,54-0,88 т/га; достатнього зволоження на чорноземі вилугуваному легкосуглинковому за внесення $N_{90}P_{60}K_{90}$ + сидерат + солома пшениці озимої – на 0,56, $N_{90}P_{60}K_{90}$ + 40 т/га гною – на 1,14 т/га. З підвищенням зволоження ефективність застосування гною під буряки цукрові порівняно із внесенням соломи помітно підвищувалась. Збір цукру в умовах нестійкого зволоження на фоні гною прирівнювався до внесення соломи або перевищував її на 2,2-5,1%, а за достатнього зволоження – на 7,9%.

13. За 20-35 річного внесення органічних та мінеральних добрив підвищилась врожайність культур у післядії. За нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому врожайність ячменю ярого у післядії $N_{120}P_{100}K_{140}$ + 40 т/га гною підвищилась порівняно з контролем без добрив на 1,82 т/га, конюшини – на 2,70; вико-вівса у післядії $N_{60}P_{75}K_{40}$ + 40 т/га гною – на 6,30; у післядії $N_{120}P_{100}K_{140}$ + солома пшениці озимої – відповідно по культурах на 1,91, 2,20 та 4,90 т/га. На чорноземі вилугуваному середньосуглинковому врожайність зерна ячменю ярого у післядії $N_{100}P_{100}K_{100}$ + 50 т/га гною становила 3,63 т/га, $N_{100}P_{100}K_{100}$ + солома пшениці озимої – 3,45, приріст до контролю без добрив – 1,80 та 1,62 т/га.

14. За 50 річного застосування альтернативного удобрення у сівозмінах (шоста ротація) найвищу біологічну продуктивність буряків цукрових отримали у плодозмінній сівозміні за внесення $N_{53}P_{43}K_{43}$ + побічної продукції на 1 га ріллі: врожайність – 48,2 т/га, цукристість – 16,1%, збір цукру – 7,74 т/га. У плодозмінній сівозміні також отримали найвищу врожайність пшениці озимої – 7,67 т/га, ячменю ярого – 4,01 т/га та зеленої маси вико-вівса – 37,9 т/га.

15. Високої врожайності пшениці озимої понад 7 т/га в умовах Лісостепу (ГТК = 1,1-1,5) досягали за осучаснення системи удобрення, яка передбачала триразове внесення азотних добрив весною загальною дозою 110 кг/га: на мерзлоталу поверхню ґрунту ранньою весною – 60 кг/га азоту та проведення двох позакореневих підживлень розчином сечовини у фази ВВСН 31-32 дозою азоту 30 кг/га та ВВСН 75-77 дозою 20 кг/га. На тлі інтенсивного азотного живлення високу

ефективність показало позакореневе підживлення марганцем та кремнієм.

16. Високої продуктивності буряків цукрових досягали за альтернативної осучасненої органо-мінеральної системи удобрення. За нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому (ГТК=1,1) ефективним визначено внесення 5 т/га соломи + Філазоніт, 10 л/га (деструктор) + $P_{90}K_{90}$ під оранку + N_{90} у передпосівну культивуацію + «Folcrop combi» + «Folcrop amin» у фазі змикання листків у рядках: врожайність коренеплодів – 60,9 т/га, збір цукру – 10,54 т/га; на чорноземі вилугуваному (ГТК=1,3) – внесення 5 т/га соломи + N_{50} + $N_{100}P_{100}K_{100}$ + Максимус (бор) + регулятор росту «Наномінераліс»: врожайність коренеплодів – 64,9 т/га, збір цукру – 10,71 т/га. За достатнього зволоження на чорноземі вилугуваному (ГТК=1,5) ефективним визначено внесення 5 т/га соломи + $P_{90}K_{130}$ під оранку + N_{90} у передпосівну культивуацію + бор або композиційне мікродобриво позакоренево у фазі змикання листків у рядах та міжряддях: врожайність коренеплодів – 65,8-67,0 т/га, збір цукру – 12,0-12,3 т/га.

17. За внесення у сівозміні мінеральних добрив і побічної продукції ($N_{43-50}P_{43-66}K_{43-66}$ + побічна продукція) у ґрунт щорічно поверталось азоту 19-30%, фосфору – 19-25%, калію – 34-50% від господарського виносу. Введення елементів біологізації в системи удобрення зменшило внаслідок рециркуляції хімічне навантаження на ґрунт у середньому по сівозмінах за сумою NPK у 1,41-1,58 рази: винос із ґрунту азоту зменшився у 1,33-1,45 рази, фосфору – у 1,15-1,30 рази, калію – у 1,56-1,92 рази.

18. За заорювання побічної продукції – буряків цукрових, кукурудзи на зерно, пшениці озимої винос елементів живлення із ґрунту цими культурами був меншим порівняно з кормовими культурами, продукція яких вилучалась із поля. Сумарний винос елементів живлення із ґрунту за вирощування буряків цукрових ($N_{90-120}P_{60-100}K_{90-140}$) після заробляння на добриво гички зменшився в 1,65-2,17, пшениці озимої після заорювання соломи ($N_{60-80}P_{50}K_{60}$) – 1,30-1,98, кукурудзи на зерно після застосування на добриво стебел ($N_{60}P_{75}K_{40}$) – 1,95, гороху після заробляння у ґрунт соломи – 1,23-1,52 рази. При цьому буряки цукрові виносили з ґрунту переважно азот і калій, кукурудза на зерно та пшениця озима – переважно азот.

19. Оптимальний режим трансформації побічної продукції у ґрунті визначено за співвідношення C:N=26-30:1: коефіцієнт гуміфікації соломи пшениці озимої – 21, стебел кукурудзи на зерно – 18,

соломи гороху – 31. Розширення вуглецево-азотного співвідношення понад 30 зменшувало коефіцієнт гуміфікації рослинних решток та депресивно впливало на динаміку нітратного азоту ґрунту, звуження співвідношення прискорювало мінералізацію рослинних решток та знижувало активність процесів гуміфікації. Формування оптимального вуглецево-азотного співвідношення та збільшення частки фосфору у складі побічної продукції за застосування її на добриво потребувало внесення компенсаційної дози мінеральних добрив. На ґрунтах середнього та підвищеного забезпечення рухомим фосфором оптимальною компенсаційною дозою мінеральних добрив за внесення соломи пшениці озимої (C:N=77:1) визначено додаткове на 1 т побічної продукції – N_9P_5 , соломи гороху (C:N=43:1) – N_5P_5 , стебел кукурудзи (C:N=57:1) – N_8P_5 . Гичка буряків цукрових та зелена маса гірчиці білої (C:N=15-18:1) вимагали внесення на 1 т побічної продукції лише компенсаційної дози фосфору – P_3 .

20. Коефіцієнти використання елементів живлення із ґрунту культурами зерно-бурякової сівозміни за вирощування їх в умовах нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому (середня забезпеченість рухомим фосфором, підвищена – калієм) становили: фосфору – 8,6-14,6%, калію – 18,1-39,6%; із мінеральних добрив (за дози $N_{50}P_{42,5}K_{50}$): азоту – 31,8-50,8%, фосфору – 12,8-22,8%, калію – 23,2-45,7%. За заробляння на добриво побічної продукції культури сівозміни з гички буряків цукрових використовували азоту – 5,3-21,0%, фосфору – 8,0-35,7%, калію – 6,3-12,2%; соломи пшениці озимої – відповідно 9,8-21,4%, 6,4-19,2%, 5,9-13,4%; соломи гороху – 13,6-16,3%, 13,2-16,3%, 11,6-16,6%, стебел кукурудзи на зерно – 12,2%, 11,3% та 5,9%.

21. Запропоновано за значень $ГТК \leq 1,1$ для розрахунку оптимальних доз внесення мінеральних добрив використовувати модифіковану формулу $ВНІС$ ($Д = (100 \cdot В - Г \cdot Кг - П \cdot Кп) : Кд$); за значень $ГТК > 1,1$ – нормативний метод розрахунку доз добрив у поєднанні з додатковим внесенням компенсаційного удобрення. Застосування модифікованої формули балансово-розрахункового методу підвищувало дозу внесення елементів живлення порівняно з рекомендованою (за результатами польових досліджень) на 9-23% та дозволяло повніше врахувати потребу культур сівозміни в елементах живлення за введення елементів біологізації в системи удобрення.

22. Найвищу енергетичну ефективність агротехнологій вирощування культур досягнуто у плодозмінних сівозмінах за поєданого

внесення мінеральних добрив і побічної продукції рослинництва. Введення елементів біологізації в системи удобрення ($N_{43-50}P_{43}K_{43-50}$ + побічна продукція на 1 га сівозмінної площі) в сівозмінах (просапних 16,7-30%, бобових 30-33%) за нестійкого зволоження формувало додатній щорічний баланс енергії ґрунту – 2,6-7,9 ГДж/га та забезпечило високий рівень енергетичної ефективності агротехнологій ($К_{еер}=6,1-6,2$). За достатнього зволоження енергетично найефективнішим у ланці сівозміни горох-пшениця озима-буряки цукрові визначено внесення $N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція на 1 га ланки сівозміни – баланс енергії ґрунту щорічно тут підвищувався на 18,9 ГДж/га, ефективність агротехнологій встановлено як дуже високу ($К_{еер}=16,1$).

23. За нестійкого зволоження внесення $N_{43-50}P_{43-66}K_{43-66}$ + побічна продукція забезпечило найвищу рентабельність вирощування культур у сівозмінах – 97-125% та окупність витрат на удобрення – 1,78-2,90, збільшення порівняно з мінеральною системою удобрення – 3-7% і 0,20-0,31, з органо-мінеральною ($N_{43-50}P_{43-66}K_{43-66}$ + 8,3-12 т/га гною) – 14-28% і 0,49-0,61. За достатнього зволоження найвищий економічний ефект у ланці сівозміни горох-пшениця озима-буряки цукрові визначено за внесення $N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція: рівень рентабельності у середньому по ланці сівозміни становив 137%, окупність витрат на удобрення – 2,65 рази, підвищення порівняно з мінеральною системою удобрення – на 7% і 0,63, органо-мінеральною традиційною ($N_{50}P_{20}K_{30}$ + 13,3 т/га) – на 20% і 0,96.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. За нестійкого зволоження для забезпечення сталих засад вирощування культур, які забезпечують збереження родючості ґрунтів, рекомендується застосовувати на добриво усю побічну продукцією сільськогосподарських культур поєднано з внесенням оптимальних доз мінеральних добрив:

А) у десятипільних сівозмінах:

- на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому (ГТК=1,1) рекомендується вносити $N_{50}P_{43}K_{50}$ + побічна продукція на 1 га ріллі: 1 – конюшина лучна; 2 – пшениця озима – $N_{60}P_{50}K_{60}$; 3 – буряки цукрові – $N_{120}P_{100}K_{140}$ + солома пшениці; 4 – горох – гичка буряків цукрових; 5 – пшениця озима – $N_{60}P_{50}K_{60}$ + солома гороху; 6 – кукурудза на зерно – $N_{60}P_{75}K_{40}$ + солома пшениці озимої; 7 – вико-овес – стебла кукурудзи; 8 – пшениця озима – $N_{80}P_{50}K_{60}$; 9 – буряки цукрові – $N_{120}P_{100}K_{140}$ + солома пшениці; 10 – ячмінь ярий з підсівом конюшини – гичка буряків цукрових;

- на чорноземі вилугуваному середньосуглинковому (ГТК=1,3) рекомендується вносити $N_{50}P_{66}K_{66}$ + побічна продукція на 1 га ріллі: 1 – редька олійна; 2 – пшениця озима – $N_{40}P_{60}K_{60}$; 3 – буряки цукрові – $N_{80}P_{100}K_{100}$ + солома пшениці; 4 – горох – $N_{40}P_{60}K_{60}$ + гичка буряків цукрових; 5 – пшениця озима – $N_{40}P_{60}K_{60}$ + солома гороху; 6 – буряки цукрові – $N_{80}P_{100}K_{100}$ + солома пшениці; 7 – кукурудза на зелений корм – $N_{100}P_{60}K_{60}$ + гичка буряків цукрових; 8 – пшениця озима – $N_{40}P_{60}K_{60}$; 9 – буряки цукрові – $N_{80}P_{100}K_{100}$ + солома пшениці; 10 – ячмінь ярий – $N_{0}P_{60}K_{60}$ + гичка буряків цукрових;

Б) у шестипільних сівозмінах:

- на чорноземі вилугуваному середньосуглинковому (ГТК=1,3) рекомендується вносити $N_{53}P_{43}K_{43}$ + побічна продукція на 1 га ріллі: 1 – вико-овес – солома пшениці; 2 – пшениця озима – $N_{60}P_{60}K_{60}$; 3 – буряки цукрові – $N_{100}P_{90}K_{90}$ + солома пшениці; 4 – ячмінь ярий – гичка буряків цукрових; 5 – конюшина – $N_{40}P_{40}K_{40}$; 6 – пшениця озима – $N_{90}P_{60}K_{60}$.

2. За достатнього зволоження на чорноземі вилугуваному легкосуглинковому (ГТК=1,5) рекомендується застосовувати на добриво усю побічну продукцією сільськогосподарських культур, зелену масу гірчиці білої (проміжна сидеральна культура) та мінеральні добрива. У ланці сівозміни горох-пшениця озима-буряки цукрові рекомендується вносити $N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна

продукція на 1 га ріллі: 1 – горох; 2 – пшениця озима – N_{60} + солома гороху; 3 – буряки цукрові – $N_{90}P_{60}K_{90}$ + зелена маса гірчиці білої + солома пшениці озимої.

3. Для розрахунку оптимальних доз мінеральних добрив у зерно-бурякових сівозмінах Лісостепу за застосування на добриво побічної продукції і зеленої маси сидеральних культур за $ГТК \leq 1,1$ рекомендовано застосовувати адаптовану формулу балансово-розрахункового методу (запропонованого ВНІС): $D = (100 \cdot B - Г \cdot Kг - П \cdot Kп) : Kд$; за значень $ГТК > 1,1$ – нормативний метод розрахунку оптимальних доз добрив і додаткове внесення компенсаційної дози азотних і фосфорних добрив.

4. Для досягнення високої врожайності пшениці озимої (понад 7 т/га) в умовах Лісостепу ($ГТК = 1,1-1,5$) рекомендується застосовувати осучаснену систему удобрення, яка передбачає триразове внесення азотних добрив весною загальною дозою 110 кг/га: на мерзлоталу поверхню ґрунту раною весною – 60 кг/га азоту та два позакореневі підживлення розчином сечовини у фазі ВВСН 31-32 дозою азоту 30 кг/га та ВВСН 75-77 дозою 20 кг/га. По мерзлоталому ґрунту рекомендується вносити сульфат амонію або амонійну селітру. На тлі інтенсивного азотного живлення рекомендується проводити позакореневе підживлення марганцем та кремнієм.

5. Для досягнення високої продуктивності буряків цукрових рекомендується застосовувати альтернативну осучаснену органо-мінеральну систему удобрення:

А) за нестійкого зволоження:

- на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому ($ГТК=1,1$) рекомендується вносити 5 т/га соломи + Філазоніт, 10 л/га (деструктор) + $P_{90}K_{90}$ під оранку + N_{90} у передпосівну культивуацію + «Folcrop combi» + «Folcrop amin» у фазі змикання листків у рядках: врожайність коренеплодів – 60,9 т/га, збір цукру – 10,54 т/га;

- чорноземі вилугуваному середньосуглинковому ($ГТК=1,3$) рекомендується вносити 5 т/га соломи + N_{50} + $N_{100}P_{100}K_{100}$ + Максимус (бор) + регулятор росту «Наномінераліс»: врожайність коренеплодів – 64,9 т/га, цукристість – 16,6%, збір цукру – 10,71 т/га;

Б) за достатнього зволоження:

- на чорноземі вилугуваному легкосуглинковому ($ГТК=1,5$) рекомендується вносити 5 т/га соломи + $P_{90}K_{130}$ під оранку + N_{90} у передпосівну культивуацію + бор або композиційне мікродобриво позакоренево у фазі змикання листків у рядках та міжряддях: врожайність коренеплодів – 65,8-67,0 т/га, збір цукру – 12,0-12,3 т/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамень Ф.Ф. Азотфіксація та основні напрями поліпшення азотного балансу ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 1999. № 2. С. 9-16.
2. Адамень Ф.Ф., Радченко Л.А., Женченко К.Г. Продуктивність зернопросапної сівозміни залежно від рівня мінерального живлення. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 11. С. 11-13.
3. Балаєв А.Д. Органічна речовина та шляхи її відновлення в чорноземах Лісостепу і Степу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. с.-г. наук : спец. 06.01.03. «Агроґрунтознавство і агрофізика». К.: НАУ, 1997. 46 с.
4. Балаєв А.Д., Наумовська О.І., Целюгін В.П. Солома як органічне добриво на чорноземних ґрунтах. *Збірник наукових праць ІЗ НААН*. 2003. Спец. вип. С. 38-42.
5. Балаєв А.Д., Наумовська О.І., Надточій П.П. Продуктивність зернобурякової сівозміни Лісостепу при застосуванні ґрунтозахисних технологій. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 10. С. 21-24.
6. Барштейн Л.А., Шкаредний І.С., Якименко В.М. Результати вивчення сівозмін на Білоцерківській дослідно-селекційній станції. *Система землеробства у буряківництві*. К.: Аграрна наука, 1997. С. 21–32.
7. Барштейн Л.А., Шкаредний І.С. Добривам – максимальну віддачу. *Цукрові буряки*. 1998. № 5. С. 10-11.
8. Барштейн Л.А., Шкаредний І.С., Якименко В.М. Сівозміни, обробіток ґрунту та удобрення в зонах бурякосіяння. *Наукові праці ІЦБ*. 2002. 480 с.
9. Барштейн Л.А., Шкаредний І.С., Якименко В.М. Солома як добриво. *Сівозміни, обробіток ґрунту та удобрення в зонах бурякосіяння*. 2002. С. 433-440.
10. Барштейн Л.А., Якименко В.Н., Одреховський А.Ф. Влияние удобренний на урожайность культур, баланс элементов питания и плодородие почвы в Лесостепи Украины. *Агротехника*. 1997. № 7. С. 12-19.
11. Барштейн Л.А., Шкаредний І.С., Одрехівський О.Г. Залежність родючості ґрунту та продуктивності цукрових буряків від сівозмін та добрив. *Землеробство*. 1998. № 72. С. 85-90.
12. Барштейн Л.А., Шкаредний І.С., Якименко В.М. Питание и продуктивность корнеплодов. *Сахарная свекла*. 1996. № 9. С. 16-17.
13. Бацула О.О., Чесняк Г.Я. Розрахунок балансу гумусу в ґрунті та норм органічних добрив для його бездефіцитного вмісту. *Забезпечення бездефіцитного балансу гумусу в ґрунті*. К.: Урожай, 1987. С. 103-107.

14. Бацула О.О., Скрильник Є.В., Кравець Т.Ф. Вплив добрив і рослинних решток на гумусний стан ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 1998. Вип. 59. С. 115-121.

15. Бацула О.О., Скрильник Є.В., Кравець Т.Ф. Вплив добрив і рослинних решток на стан гумусу у ґрунті. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2002. № 56. С. 118-124.

16. Бацула О.О., Лісовий М.В. Оновлені підходи до управління родючістю ґрунтів у сучасних умовах. *Технологія відтворення родючості ґрунтів у сучасних умовах*. Київ-Харків, 2003. С. 10-19.

17. Бацула О.О., Головачов Е.А., Дерев'яно Р.Г. Забезпечення бездефіцитного балансу гумусу в ґрунті. К.: Урожай, 1987. 127 с.

18. Безуглий М.Д., Заришняк А.С., Лісовий М.М., Седіло Г.М. Оптимізація основних ланок землеробства в західному регіоні України. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 2. С. 5-10.

19. Бергульова Л.Я., Барштейн Л.А., Корнієнко В.І. Гумусний стан ґрунтів у сівозмiнах рiзної структури та удобрення. *Сбiрник наукових праць ВНiС*. 1986. С. 25-35.

20. Бердников А.М. Зеленое удобрение – биологизация земледелия, урожай. Черниговское НПО Элита, 1992. 189 с.

21. Бердніков О.М., Нимитюк Ю.А. Роль сидерації в сучасному землеробстві. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 3. С. 12-15.

22. Біляниська Т.М. До питання поліпшення фосфатного режиму в ґрунтах України. *Вісник аграрної науки*. 2001. № 6. С.14-16.

23. Богданович Р.П., Кудлай М.О. Вплив різних норм і видів органічних добрив на показники гумусного стану чорнозему типового. *Вісник аграрної науки*. 2007. № 9. С. 12-15.

24. Бойко П.І. Наукові і технологічні основи вирощування кукурудзи в сівозмiнах Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора с.-г. наук: спец. 06.00.01 «Загальне землеробство». Київ, 1997. 56 с.

25. Бойко П.І., Коваленко Н.П. Проблеми екологічно врівноважених сівозмiн. *Вісник аграрної науки*. 2003. №8. С.9-13.

26. Бомба М.Я., Періг Г.Т., Рижук С.М. Землеробство з основами ґрунтознавства, агрохімії та агроекології. К.: Урожай, 2003. 400 с.

27. Боронин Н.К., Носко Б.С., Филон И.И. Влияние длительного применения минеральных и органических удобрений на фосфатный режим типичного чернозема и продуктивность культур в условиях различной влагообеспеченности. *Агрохимия*. 1994. № 7. С. 3-13.

28. Буджерак А.І. Реакція ячменю на післядію удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2001. №1. С. 21-24.

29. Бужерак А.І., Кривда Ю.І. Азотний фонд і гумусний стан чорноземів реградованих при різних рівнях застосування добрив. *Вісник аграрної науки*. 2005. № 9. С. 15-19.

30. Будоный Ю.В. Эффективность застосування соломи на чорноземі типовому в умовах лівобережного Лісостепу. *Збірник наукових праць Інституту землеробства УАН*. 2003. С. 32-38.

31. Бузанов И.Ф., Тонкаль Е.А., Остроушко А.И. Влияние удобрений и предшественников и технологические качества корней. *Сахарная свекла*. 1971. № 7. С. 24-26.

32. Бука А.П., Гамов Л.Г. Эффективность применения удобрений в зерносвекловичном севообороте на оподзоленном чернозёме левобережной Лесостепи УССР. *Агротехника*. 1983. № 4. С. 49-52.

33. Бука А.Я., Друженко А.В. Енергетична оцінка застосування добрив у Лівобержному Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2002. № 3. С. 13-15.

34. Булигін С.Ю. Грунтово-економічна та агроекологічна оцінка збитків від спалювання стерні. *Вісник аграрної науки*. 2002. № 7. С. 62-65.

35. Булигін С.Ю. Формування екологічно сталих ландшафтів. К.: Урожай, 2005. 295 с.

36. Булигін С.Ю., Дегтярьов В.В., Крохін С.В. Гумусний стан чорноземів України. *Вісник аграрної науки*. 2007. № 2. С. 13-16.

37. Вернадський В.І. Вибрані праці. К.: Наукова думка, 1969. 439 с.

38. Відтворення родючості ґрунтів в ґрунтозахисному землеробстві. М.К. Шикуча, С.С. Антоненко, В.О. Андрієнко : за ред. М.К. Шикучи. К.: Оранта, 1998. 680 с.

39. Визначення групового складу гумусу за методом І. В. Тюріна у модифікації М.М. Кононової та Н.П. Бельчикової, спалювання за Б.А. Нікітіним (ННЦ ІГА) : МВВ 31-497058-006-2002. *Методики визначення складу та властивостей ґрунтів*. Харків : Друкарня № 13, 2004. Кн. 1. С. 107-128.

40. Вільямс В.Р. Ґрунтознавство. К.: Держсільгоспвидав України, 1953. 593 с.

41. Власюк П.А. Агрофизические основы питания сахарной свеклы. К.: Изд-во АН СССР, 1950. 255 с.

42. Власюк П.А., Лисовал П.З. Влияние органических и минеральных удобрений на повышение урожая основных культур севооборота. *Агробиология*. 1965. № 1. С. 10-17.

43. Волкогон В.В. Мікробіологічні аспекти відтворення родючості ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 9. С. 9-14.

44. Волкогон В.В., Надкернична О.В. Мікробіологічні процеси у землеробстві. Київ: Агрпарна наука, 2006. 312 с.
45. Волкогон В.В., Пиріг О.В., Британ Т.Ю. Спрямованість ґрунтово-мікробіологічних процесів за впливу органічних і мінеральних добрив. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 5. С. 18-26.
46. Волкогон В.В., Токмакова Л.М., Трепач А.О. Рухомість фосфатів у кореневій зоні пшениці озимої за дії бактерій *Rhizobium radiobacter*. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 3. С. 13-16.
47. Волощук М.Д., Дука Л.В., Сеньків Г.Й. Продуктивність коротко ротатійних сівозмін західного регіону України. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 4. С. 27-31.
48. Гаврилук М.М. Хліб з пшениць Київщини. *Насінництво*. 2012. № 6. С. 1-7.
49. Гамалей В.І., Шкарівська Л.І. Гумусний стан темно-сірих опідзолених ґрунтів за різних умов використання. *Вісник аграрної науки*. 2006. № 10. С. 65-69.
50. Гамалей В.І., Шкарівська Л.І. Гумусний стан темно-сірого опідзоленого ґрунту за різних систем удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 12. С. 19-22.
51. Гамалей В.І., Драган М.І., Шкарівська Л.І. Гумусний стан опідзолених ґрунтів північного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 1. С. 24-27.
52. Гамаюнова В.В., Смірнова І.В., Євтушенко О.Т., Бакланова Т.В. Ресурсоощадні елементи технології вирощування пшениці озимої як захід зерновиробництва. *Зернові культури*. 2022. № 2. С. 135-143. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0243>
53. Гангур В.В., Кочерга А.А., Пипк О.С., Лень О.І. Ефективність мікродобрив за умови обробки насіння та листового підживлення посівів пшениці озимої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 2. С. 46-51.
54. Гетманец А.Я. Отношение углерода к азоту в черноземах Украины и влияние на него внесения удобрений. *Почвоведение*. 1971. № 4. С. 35-41.
55. Гетманец А.Я. Азот в земледелии чернозёмной зоны. *Агрохимия*. 1977. № 7. С. 3-10.
56. Глеваский И.В., Зубенко В.Ф., Мельниченко А.С. Свекловодство. Киев: Вища школа, 1989. 207 с.

57. Гораш О.С., Кучер А.В. Залежність продуктивного кущіння пшениці твердої ярої від норм висіву насіння та внесення мінеральних добрив. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 10. С. 19-21.

58. Городний Н.М., Сердюк А.Г., Каленский В.П. Влияние длительного применения удобрений в севообороте Лесостепи Украины на воспроизводство плодородия почв и продуктивность сельскохозяйственных культур. *Натуралис*. 1996. № 2. С. 6-8.

59. Городній М.М., Сердюк А.Г., Копілевич В.А. Агрохімія. К.: Вища школа, 1995. 526 с.

60. Господаренко Г.М. Розробка та обґрунтування інтегрованої системи удобрення в польовій сівозміні на чорноземі опідзоленому правобережного Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеню д-ра. с.-х. наук: спец: 06.01.04. "Агрохімія". К.: 2001. 39 с.

61. Господаренко Г.М. Основи інтегрованого застосування добрив (монографія). К.: Нічлава, 2002. 344 с.

62. Господаренко Г.М., Черно О.Д., Любич В.В., Рябовол Я.С., Крижанівський В.Г. Урожайність та хлібопекарські властивості зерна пшениці озимої при різних дозах і строках застосування азотних добрив. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 3. С. 21-31. <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.03.02>

63. Господаренко Г.М., Черно О.Д. Якість зерна пшениці озимої за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2016. № 1. С. 11-15.

64. Гошко В. Мікроелементи для пшениці. *Зерно*. 2006. № 11. С. 53-56.

65. Греков В.О., Дацько Л.В. Розрахунок балансу гумусу. *Посібник українського хлібороба*. К., 2009. С. 202-203.

66. Гриник І.В., Бакун Ю.О., Єгоров О.В. Продуктивність сівозмін Полісся залежно від способів використання соломи на добриво. *Збірник наукових праць ІЗ НААН*. 2003. Спец. вип. С. 42-48.

67. Гринник І.Г., Бакун О.І., Бакун Ю.О., Єгоров О.В. Родючість ґрунту і ефективність використання ріллі в сівозмінах Полісся залежно від способів застосування соломи на добриво. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 1. С. 16-20.

68. Громовик А.И. Гумусный фонд черноземов выщелоченных и его изменение при длительном применении удобрений. *Земледелие*. 2012. № 2. С. 13-15.

69. Ґрунти. Визначання рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова: ДСТУ 4115–2002. [Чинний від 2003–

01–01]. К.: Держспоживстандарт України, 2003. 9 с. (Національний стандарт України).

70. Грунтозахисна біологічна система землеробства в Україні. За ред. М.К. Шкиули. К.: Оранта, 2000. 389 с.

71. Данюк М.С. Альтернатива удобрення – запорука сталих врожаїв буряків цукрових. *Матеріали III міжнародної наукової інтернет-конференції «Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика»* 20-22 жовтня 2021; Київ, 2021. С. 89-90.

72. Данюк М.С., Іваніна В.В. Підвищення продуктивності буряків цукрових в умовах сучасного виробництва. *Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених з нагоди Дня працівника сільського господарства «Сучасна наука: стан та перспективи розвитку»* 17 листопада 2021; Херсон, 2021. С. 29-32.

73. Данюк М.С. Оптимізація дози азотних добрив за альтернативного удобрення буряків цукрових. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Шляхи інноваційного розвитку агропромисловості в Україні»* 15 червня 2022; Рівне, 2022. С. 64-66.

74. Данюк М.С., Іваніна В.В. Біологізація системи удобрення та продуктивність буряків цукрових. *Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції»* 23 червня 2022; Вінниця, 2022. С. 115-117.

75. Дацько Л.В. Розрахунок балансу поживних речовин у землеробстві. *Посібник українського хлібороба*. К., 2009. С. 202-203.

76. Дегодюк Е.Г., Бацула О.О. Органічна речовина ґрунтів і її регулювання. *Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва*. К.: Урожай, 1992. С. 42-44.

77. Дегодюк Е.Г., Никифорова Л.І., Гамалей В.І. Регулювання калійного режиму ґрунтів. *Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва*. К.: Урожай, 1992. С. 114-122.

78. Дегодюк Е.Г., Гаврилов В.Л., Кривонос Г.М. Регулювання фізико-хімічних властивостей ґрунтів та кальцій і магній у навколишньому середовищі. *Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва*. К.: Урожай, 1992. С. 35-41.

79. Дегодюк Е.Г., Никифорова Л.І., Гамалей В.І. Регулювання фосфатного режиму ґрунтів. *Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва*. К.: Урожай, 1992. С. 100-113.

80. Дегодюк С.Е., Бобер Л.В., Вербицька О.А. Вплив тривалого застосування добрив на відтворення органічної речовини. *Збірник*

наукових праць інституту землеробства УААН. 2001. Вип. 3. С. 18-22.

81. Дегоднок С.Е., Бобер Л.В., Літвінова О.А. Вплив тривалого внесення добрив на вміст і якість гумусу сірого лісового ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 1. С.57-60.

82. Дегоднок Е.Г., Бобер Л.В., Предко О.І. Система удобрення зернових культур на сірому лісовому ґрунті. *Землеробство: Міжвідомчий науковий збірник*. 2004. Вип. 76. С. 10-15.

83. Дегоднок Е.Г., Гамалей В.І. Трансформація послеуборочних остатков и содержание водорастворимого гумуса в черноземе типичном. *Агрохимия*. 2004. № 2. С. 13-22.

84. Дегтярьов В.В. Гумус чорноземів Лісостепу і Степу України. Х.: Майдан, 2011. 360 с.

85. Демиденко О.В., Шаповал І.С., Бойко П.І., Величко В.А. Обіг азоту в різноротаційних сівозмінах Лівобережного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 7. С. 59-67.

86. Дідора В.Г., Тишковський В.В. Біологічна активність ґрунту залежно від альтернативної системи удобрення в коротко ротаційних сівозмінах. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 11. С. 12-15.

87. Драган М.І. Ефективність соломи при удобренні проса в Лісостепу. *Збірник наукових праць ІЗ НААН*. 2003. Спец. вип. С. 99-105.

88. Драган М.І., Гамалей В.І., Любич О.Г. Агрегатний склад сірого лісового ґрунту за різних агротехнічних заходів. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 2. С. 11-16.

89. Драган М.І., Грищенко Р.Є., Любич О.Г., Стопа С.П. Ефективність застосування соломи пшениці озимої під круп'яні культури на сірих лісових ґрунтах. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 7. С. 19-22.

90. Дрейкот А.П. Удобрение сахарной свеклы [перевод с англ. А.В. Гаделия]. К.: Колос, 1977. 280 с.

91. Дуда Г.Г., Жемела Г.П. Значение соотношения основных элементов питания удобрений в повышении урожая и качества зерна озимой пшеницы. *Агрохимия*. 1970. № 8. С. 82-84.

92. Єремко Л.С., Сидоренко А.С., Олєпір Р.В., Агафанова С.О. Продуктивність окремих сільськогосподарських культур за застосування регуляторів росту рослин. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2009. № 1. С. 43-45.

93. Єрмолаєв М.М., Шиліна Л.І., Літвінов Д.В. Вплив сівозміни й удобрення на родючість чорнозему типового. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 10. С. 49-53.

94. Жемела Г.П. Добрава, урожай і якість зерна. К.: Урожай, 1991. 136 с.

95. Жердецький І.М. Технологічна якість коренеплодів цукрових буряків залежно від позакореневого застосування добрив. *Цукрові буряки*. 2010. № 4. С. 18-20.

96. Загорча К.Л. Оптимизация системы удобрений в полевых севооборотах. Кишинев: Шпица, 1990. 287 с.

97. Заришняк А.С. Оптимізація доз і способів внесення мінеральних добрив під цукрові буряки в сучасних умовах. *Шляхи підвищення родючості ґрунтів у сучасних умовах сільськогосподарського виробництва*. К.: «Аграрна наука», 1999. С. 58-61.

98. Заришняк А.С., Балюк С.А., Лісовий М.В., Комариста А.В. Баланс гумусу і поживних речовин в ґрунтах України. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 1. С. 28-32.

99. Заришняк А.С., Іваніна В.В., Шиманська Н.К. Вплив добрив на родючість ґрунту і продуктивність сівозміни. *Збірник наукових праць ІБКЦБ*. 2012. Вип. 13. С. 299-306.

100. Заришняк А.С., Іваніна В.В., Шиманская Н.К., Мазур Г.Н. Действие удобрений в различных севооборотах. *Сахарная свекла*. 2011. № 8. С. 19-22.

101. Заришняк А.С., Руцька С.І., Колібабчук Т.В. Добрива, врожайність та винос елементів живлення. *Цукрові буряки*. 2002. № 1. С. 6-7.

102. Заришняк А.С., Руцкая С.И., Калибабчук Т.В. Влияние систематического внесения удобрений и вида зерносвекловичного севооборота на продуктивность культур в зоне Центральной Лесостепи Правобережья Украины. *Агротехника*. 2003. № 6. С. 30-36.

103. Заришняк А.С., Савчук К.І. Норми і способи внесення мінеральних добрив під цукрові буряки. *Цукрові буряки*. 2005. № 5. С. 8-9.

104. Заришняк А.С., Сышко А.А. Утилизация отходов животноводства и растениеводства под сахарную свеклу. *Сахарная свекла*. 2007. № 8. С. 19-20.

105. Заришняк А.С., Сипко А.О. Відтворення родючості ґрунту і продуктивність цукрових буряків. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 8. С. 16-17.

106. Заришняк А.С., Жердецький І.М., Дернова Г.В. Залежність технологічної якості коренеплодів цукрових буряків від застосування мікродобрив. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 2. С. 17-19.

107. Заришняк А.С., Іваніна В.В., Шиманська Н.К. Продуктивність цукрових буряків залежно від систем органо-мінерального удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 10. С. 17-20.

108. Заришняк А.С., Іваніна В.В., Колібабчук Т.В. Оптимізація удобрення зернових культур в зернобуряковій сівозміні. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 12. С. 15-18.

109. Заришняк А.С., Іваніна В.В., Колібабчук Т.В. Стабілізація біогенного балансу та продуктивність зернобурякової сівозміні. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 4. С. 26-30.

110. Заришняк А.С., Іваніна В.В., Колібабчук Т.В. Трансформація вуглецю в чорноземі опідзоленому за різних систем удобрення зернобурякової сівозміні. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 8. С. 12-17.

111. Заришняк А.С., Іваніна В.В. Влияние удобрений на продуктивность зерносвекловичного севооборота. *Агрохимия*. 2013. № 9. С. 40-46.

112. Заришняк А.С., Іваніна В.В., Шиманская Н.К. Влияние удобрений на содержание гумуса почвы и продуктивность звена севооборота. *Сахарная свекла*. 2013. № 9. С. 34-36.

113. Заришняк А.С., Іваніна В.В., Колібабчук Т.В. Калійний режим чорнозему опідзоленого за тривалого удобрення зерно-бурякової сівозміні. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 6. С. 10-14.

114. Заришняк А.С., Іваніна В.В., Колибабчук Т.В. Оптимизация питания сахарной свеклы в звеньях севооборота. *Сахарная свекла*. 2013. № 3. С. 14-16.

115. Заришняк А.С., Іваніна В.В., Колибабчук Т.В. Фосфатный режим чернозема оподзоленного при длительном применении удобрений. *Агрохимия*. 2014. № 4. С. 20-26.

116. Заришняк А.С., Сипко А.О., Горобець А.М. Застосування відходів тваринництва та рослинництва як органічних добрив під цукрові буряки. *Цукрові буряки*. 2006. № 6. С. 8-9.

117. Заришняк А.С., Цвей Я.П., Іваніна В.В. Оптимізація удобрення та родючості ґрунту в сівозмінах. К.: «Аграрна наука», 2015. 207 с.

118. Захарченко И.Г., Пироженов Г.С., Медведь Г.К. Методические указания по изучению баланса питательных веществ. Киев, 1974. 72 с.

119. Золотов В.И. Устойчивость кукурузы к засухе – основы биологии, экологии и сортовой агротехники. Днепропетровск: Новая идеология, 2010. 274 с.

120. Зубенко В.Ф., Шиян П.Н. Использование сахарной свеклой азота удобрений в зависимости от условий их применения. *Агрохимия*. 1979. № 6. С. 3-12.

121. Зубенко В.Ф., Шаповал М.П., Нориця Е.І. Цукрові Буряки. К.: Урожай, 1983. 144 с.

122. Зубенко В.Ф., Тонкаль Е.А., Барштейн Л.А. Применение удобрений под сахарную свеклу по зонам свеклосеяния. К., 1986. 42 с.

123. Зубенко В.Ф., Иващенко А.А., Саблук В.Т. [и др.]. Свекловодство. Проблемы интенсификации и ресурсосбережения: под ред. В. Ф. Зубенко. К.: НПП ООО «Альфа-стевия ЛТД», 2005. 400 с.

124. Зубець М.В., Ситник В.П., Третяк А.М. та ін. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Лісостепу України. Київ: Логос, 2004. 776 с.

125. Іваніна В.В. Баланс елементів живлення залежно від системи удобрення у різноротаційних сівозмінах. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства»*. 2012. Вип. 3-4. С. 26-33.

126. Іваніна В.В. Динаміка фізико-хімічних властивостей чорнозему опідзоленого за тривалого використання добрив в зернобуряковій сівозміні. *Агробіологія*. 2012. Вип. 9(96). С. 68-72.

127. Іваніна В.В. Енергетична ефективність агротехнологій за різних систем удобрення зернобурякової сівозміни. *Цукрові буряки*. 2012. № 6 (90). С. 17-19.

128. Іваніна В.В. Зміна енергопотенціалу чорнозему опідзоленого за різних систем удобрення зерно-бурякової сівозміни. *Агроекологічний журнал*. 2012. № 3. С. 37-40.

129. Іваніна В.В., Колібабчук Т.В., Кулеша П.О. Резерви підвищення продуктивності цукрових буряків і стабілізації родючості ґрунту. *Збірник наукових праць ІБКЦБ*. 2012. Вип. 14. С. 61-64.

130. Іваніна В.В., Шиманська Н.К., Мазур Г.М. Біологізація системи удобрення в формуванні калійного режиму чорнозему типового вилугуваного. *Агробіологія*. 2013. Вип. 10(100). С. 100-103.

131. Іваніна В.В. Енергетичний баланс чорнозему типового вилугуваного та ефективність агротехнологій залежно від системи удобрення. *Збірник наукових праць ІБКЦБ*. 2013. Вип. 18. С. 99-101.

132. Іваніна В.В. Заходи біологізації в підвищенні енергетичної ефективності агротехнологій. *Збірник наукових праць ІБКЦБ*. 2013. Вип. 17. Т. 2. С. 106-110.

133. Іваніна В.В., Шиманська Н.К., Мазур Г.М. Заходи біологізації в формуванні фосфатного режиму чорнозему типового. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 12. С. 21-24.

134. Іваніна В.В. Роль добрив в підвищенні енергетичної ефективності агротехнологій. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 3. С. 20-24.

135. Іваніна В.В., Зацерковна Н.С., Шиманська Н.К., Савчук К.А. Влияние норм и соотношения элементов питания на урожайность. *Сахарная свекла*. 2013. № 4. С. 13-15.

136. Іваніна В.В. Біологізація удобрення культур у сівозмінах: монографія. Київ: «Компринт», 2016. 328 с.

137. Іваніна В.В., Коротенко І.М. Вплив доз і способів унесення азотних добрив на врожайність та якість зерна пшениці озимої. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 11(100). С. 5-10.

<https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202211-01>

138. Іваніна В.В., Прокоп'юк Т.П. Вплив азотного живлення та мікродобрив на врожайність і якість зерна пшениці озимої. *Вісник аграрної науки*. 2024. № 10(859). С. 20-25.

<https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202410-03>

139. Іваніна В.В., Прокоп'юк Т.П. Врожайність та винесення елементів живлення пшеницею озимою залежно від удобрення та структури сівозмін. *Зернові культури*. 2024. № 2. С. 20-26.

140. Іваніна В.В., Прокоп'юк Т.П. Азотне живлення та мікродобрива – основа стабільних врожаїв пшениці озимої в умовах потепління. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Наукові читання до 100-річчя від дня народження Філіпева Івана Дмитровича – видатного вченого у галузі агрохімії та ґрунтознавства»* 20 вересня 2024; Одеса, 2024. С. 159-161.

141. Іваніна В.В., Данюк М.С. Енергетична продуктивність буряків цукрових та баланс елементів живлення у ґрунті за біологізації вирощування. *Біоенергетика*. 2022. № 1-2(19-20). С. 43-45.

142. Іваніна В.В., Данюк М.С. Вплив альтернативних систем удобрення на фонд мінерального азоту ґрунту та продуктивність буряків цукрових. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 10. С. 5-11.

<https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202210>

143. Іваніна В.В., Данюк М.С. Фотосинтетична та біологічна продуктивність буряків цукрових залежно від системи удобрення. *Науково-теоретичний журнал «Землеробство та рослинництво: теорія і практика»*. 2022. № 3(5). С. 19-25.

<https://doi.org/10.54651/agri.2022.03.02>

144. Іваніна В.В., Данюк М.С. Оптимізація азотного живлення у підвищенні продуктивності буряків цукрових. *Новітні агротехнології*. 2022. № 10(1). <https://doi.org/10.47414/na.10.1.2022.265665>

145. Іваніна В.В., Шаповаленко Р.М., Дубовий Ю.П. Регулятори росту у підвищенні продуктивності буряків цукрових. *Новітні агротехнології*. 2019. № 7. <http://jna.bio.gov.ua/article/view/204810>

146. Іванов В.П., Прасол В.І., Міщенко Ю.Г., Коваленко М.П.

Побічна продукція та проміжні культури як фактор стабілізації родючості ґрунту. *Збірник наукових праць ІЗ НААН*. 2003. Спец. вип. С. 48-51.

147. Іоніцой Ю.С. Роль волого забезпечення в життєздатності гібридів буряків цукрових різного походження. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 4. С. 24-28.

148. Іутинська Г.О. Ґрунтова мікробіологія: навчальний посібник. Київ: Арістей, 2006. 284 с.

149. Кавунець В.П., Русанов В.І., Кочмарський В.С. та ін. Вплив добрив і попередників на врожайність та якість насіння озимої пшениці. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства УААН»*. 2005. № 4. С. 112-120.

150. Канівець В.І., Черствий С.М. Мінералізація та гуміфікація рослинних решток і ґною в чорноземі вилугуваному легкосуглинковому. *Вісник аграрної науки*. 2001. № 9. С. 9-12.

151. Кашпик М.В. Відтворення органічної речовини чорноземів як передумова органічного виробництва. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 9. С. 8-13.

152. Карасюк І.М., Перебитюк А.С. Влияние удобрения на поступление питательных веществ в растения, урожай и качество сахарной свеклы. Влияние удобрений на урожай и его качество. 1978. С. 61-64.

153. Карпусь М.М., Славов В.П., Лапа М.А. Деталізована поживність кормів зони Лісостепу України. К.: Аграрна наука, 1995. 348 с.

154. Квасніцька Л.С., Єрмолаєв М.М. Баланс азоту в коротко ротацийних сівозмiнах з бобовими культурами. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 9. С. 11-14.

155. Квасніцька Л.С. Вплив сівозмінного чинника та удобрення на врожайність і показники якості зерна пшениці озимої в польових сівозмiнах Лісостепу правобережного. *Вісник аграрної науки*. 2015. № 4. С. 19-22.

156. Кисіль В.І. Біологічне землеробство: тенденції в світі та позиція України. *Вісник аграрної науки*. 1997. № 10. С. 9-13.

157. Кисель В.І. Биологическое земледелие в Украине: проблемы и перспективы. Харьков: Штрих, 2000. 162 с.

158. Кисіль В.І., Акімова Р.В., Жеребна Л.О. Біологічне землеробство як фактор стійкості агроєкосистем. *Вісник Харківського ДЕУ*. 2001. № 4. С. 53-54.

159. Кисіль В.І. Агрохімічні аспекти екологізації землеробства. Харків: «ІЗ типографія», 2005. 167 с.

160. Клуб 100 центнерів. Сорти та оптимальні системи вирощування озимої пшениці. Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, Компанія Сингента, Швейцарія. Київ: Логос, 2012. 130 с.

161. Козлов М.В., Плішко А.А. Агрохімічне забезпечення високопродуктивних технологій вирощування зернових культур. К: Урожай, 1991. 232 с.

162. Ковальчук В. П., Васильєв В. Г., Бойко Л. В., Зосімов В. Д. Сучасні методи хімічного аналізу ґрунту і рослин. Київ: Інститут цукрових буряків НААНУ. 2010. 250 с.

163. Корми, комбікорми, комбікормова сировина. Методи визначання вмісту азоту і сирого протеїну: ДСТУ 7169:2010. [Чинний від 2011–07–01]. К.: Держспоживстандарт України, 2011. 18 с. (Національний стандарт України).

164. Кравець І.С. Зміни в азотному фонді та баланс азоту чорнозему опідзеленого Правобережного Лісостепу України за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.- г. наук : спец. 06.01.04 «Агрохімія». К., 2001. 20 с.

165. Кравченко М.С., Огієнко Н.І. Біоенергетична ефективність вирощування бобово-злакових травосумішок на чорноземі типовому. *Вісник аграрної науки*. 2006. № 7. С.11-13.

166. Крамарев С.М., Скрышник Л.Н. Агроэкологическая оценка применения минеральных удобрений в агроценозах кукурузы в условиях степной зоны Украины. *Агрохимия*. 2000. № 2. С. 68-72.

167. Кривенко А.І. Оптимізація норм і термінів підживлення пшениці озимої азотними добривами у Південному Степу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2018. № 4. С. 55-61.

168. Кудрявицька А.М. Вплив тривалого застосування добрив на продуктивність фотосинтезу та врожайність пшениці ярої. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 4. С. 24-27.

169. Кутова А.М. Вплив добрив на продуктивність і якість зерна пшениці озимої. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 9. С. 64-67.

170. Лазурський О.В. Гній і мінеральні добрива у польових сівозмінах. К.: Урожай, 1972. 218 с.

171. Лактионов Н.И. Органическая часть почвы в агрономическом аспекте. Харьков, 1998. 121 с.

172. Лактионова Т.Н. Изменение физических свойств чернозема при внесении навоза. *Почвоведение*. 1990. № 8. С. 73-82.

173. Лебедь Е.М., Суворинов А.М., Медведь В.А., Пишта С.Д. Влияние предшественников на урожай кукурузы. *Бюллетень института*

кукурузы. 1992. Вып. 75. С. 35-39.

174. Лисовал А.П., Правилон Н.В. Фосфатный режим лугово-чернозёмной карбонатной почвы Лесостепи УССР при высоки уровне химизации. *Агротехника*. 1991. № 2. С. 8-14.

175. Лісовал А.П., Сорокотяг Н.П., Коваленко О.Г. Зміна сполук вуглецю, азоту і фосфору чорноземних ґрунтів і продуктивність культур при тривалому застосуванні засобів хімізації. *Науковий вісник НАУ*. 2000. № 32. С. 129-134.

176. Лісовал А.П., Коваленко О.Г. Вплив довготривалого застосування добрив на вміст у ґрунті рухомих фосфатів і баланс фосфору. *Науковий вісник НАУ*. 2002. № 57. С. 240-244.

177. Лісовал А.П., Макаренко В.М., Кравченко С.Н. Система застосування добрив. К.: Вища школа, 2002. 319 с.

178. Лісовий М.В. Застосування мінеральних добрив та відновлення родючості ґрунтів в умовах сучасного землеробства. *Вісник аграрної науки*. 1997. № 9. С. 10-15.

179. Лісовий М.В., Комариста А.В. Баланс гумусу і поживних речовин в ґрунтах степової зони України. *Вісник аграрної науки південного регіону*. Одеса, 2008. С. 25-28.

180. Лісовий М.В., Комариста А.В., Шимель В.В. Баланс гумусу і поживних речовин в ґрунтах Харківської області. *Вісник центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2009. Вип. 6. С. 194-203.

181. Лісовий М.В. Нормативні показники якості зерна пшениці озимої на чорноземах Лісостепу і Степу. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 8. С. 5-7.

182. Литвиненко М.А. Реалізація генетичного потенціалу. Проблеми продуктивності та якості зерна сучасних сортів озимої пшениці. *Науково-виробничий журнал «Насінництво»*. 2010. № 6. С. 1-6.

183. Лифенко С.П., Геврек Г.Г. Якість зерна та урожайні властивості насіння озимої м'якої пшениці залежно від агрофону. *Збірник наукових праць Селекційно-генетичного інституту «ННЦ насіннізнавства та сортівивчення УААН»*. 2009. № 14. С. 69-77.

184. Любарская Л.С. Особенности питания сахарной свеклы по периодам роста. Исследования по агротехнике и физиологии сахарной свеклы: *Труды Всесоюзного ин-та свекловичного производства*. К., 1949. Вып. 2. С. 148-156.

185. Мазур Г.А., Ткаченко М.А., Медвідь Ю.Г. Ефективність використання побічної продукції на сірих лісових ґрунтах. *Збірник*

наукових праць ІЗ УААН. 2003. С. 23-28.

186. Мазур Г.А. Роль гумусу в родючості та відтворення його вмісту. *Вісник аграрної науки*. 2000. № 9. С. 12-16.

187. Мазур Г.А. Відтворення і регулювання родючості легких ґрунтів. К.: Аграрна наука, 2008. 306 с.

188. Мазур Г.М. Вплив систем удобрення цукрових буряків у сівозміні на їх продуктивність і винос елементів живлення. *Збірник наукових праць ІЦБ*. 2003. Вип. 5. С. 240-247.

189. Мазуркевич Л.І., Кохан С.С., Василюк П.Н. Урожай зерна озимієї пшениці та хлібопекарсько-технологічні властивості борошна в залежності від внесення добрив. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 1998. С. 230-235.

190. Макаренко В.М. Влияние условий минерального питания на продуктивность озимой пшеницы в интенсивном севообороте Лесостепи Украины. *Сборник научных трудов УСХА*. 1994. С. 44-52.

191. Маклюк О.І. Використання мікробіологічного потенціалу ґрунту в органічному землеробстві. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 12. С. 52-54.

192. Мартынович Л.И., Мартынович Н.Н. Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие чернозема оподзоленного Центральной Лесостепи Правобережья УССР. Сообщение 1. Влияние систематического применения удобрений на баланс питательных веществ и органического вещества почвы в зерносвекловичном севообороте. *Агрехимия*. 1989. № 1. С. 30-39.

193. Мартынович Л.И., Мартынович Н.Н. Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие чернозема оподзоленного Центральной Лесостепи Правобережья УССР. Сообщение 2. Влияние систематического применения удобрений на азотный режим почвы в зерносвекловичном севообороте. *Агрехимия*. 1990. № 5. С. 27-40.

194. Мартынович Л.И., Мартынович Н.Н. Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие чернозема оподзоленного Центральной Лесостепи Правобережной УССР. Сообщение 3. Влияние систематического применения удобрений на фосфатный режим почв в зерносвекловичном севообороте. *Агрехимия*. 1990. № 6. С. 25-32.

195. Мартынович Л.И., Мартынович Н.Н. Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие чернозема оподзоленного Центральной Лесостепи Правобережья УССР. Сообщение 4. Влияние систематического применения удобрений на

калийный режим почвы в зерносвекловичном севообороте. *Агрoхимия*. 1992. № 6. С. 23-28.

196. Мартынович Н.Н., Мартынович Л.И. Влияние систематического применения удобрений на продуктивность зерносвекловичного севооборота. *Агрoхимия*. 1985. № 8. С. 57-69.

197. Мартынович Н.Н., Мартынович Л.И. Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие чернозема оподзоленного Центральной Лесостепи Правобережья Украины. Сообщение 7. Влияние систематического применения удобрений на урожай культур зерносвекловичного севообороте. *Агрoхимия*. 1994. № 11. С. 3-11.

198. Мартынович Н.Н., Мартынович Л.И. Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие чернозема оподзоленного Центральной Лесостепи Правобережья Украины. Сообщение 8. Влияние систематического применения удобрений на продуктивность зерносвекловичного севооборота. *Агрoхимия*. 1995. № 8. С. 57-69.

199. Марчук І.У., Яценко Л.А. Форми азотних сполук у лучно-чорноземному карбонатному ґрунту при довгостроковому застосуванні добрив. *Вісник ХДАУ*. 2001. № 7. С. 35-38.

200. Медведев В.В., Лактионова Т.Н., Кобзарь Н.О. О влиянии навоза на структурное и гумусное состояние чернозема типичного. *Агрoхимия и почвоведение*. 2001. № 62. С. 21-26.

201. Медведєв В.В. Мониторинг почв України. Концепція. Предварительные результаты. Задачи. Харьков: Антиква, 2002. 428 с.

202. Медведєв В.В. Європейська політика охорони ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 5. С. 5-11.

203. Медведєв В.В. Структура ґрунту (методи, генезис, класифікація, еволюція, географія, моніторинг, охорона). Харьков, 2008. 405 с.

204. Медведєв В.В., Чесняк Г.Я., Лактіонова Т.М. Родючість ґрунтів: моніторинг та управління. К.: Урожай, 1992. 248 с.

205. Медведєв В.В., Лактіонова Т.М., Донцова Л.В. Просторовий і часовий дефіцити зволоження сільськогосподарських культур на орних землях України. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 3. С. 9-13.

206. Медведовский О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. К.: Урожай, 1988. 208 с.

207. Мельничук А.А., Киверга П.А. Роль біологічного азоту в формуванні врожаю озимої пшениці та збагачення азотного балансу

грунту. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. К., 1998. С. 147-152.

208. Месель-Веселяк В.Я. Виробництво зернових культур в Україні: потенційні можливості. *Економіка АПК*. 2018. № 5. С. 5-14.

209. Методи аналізів ґрунтів і рослин. С.Ю. Булигін, С.А. Балюк, С.А. Міхновська [та ін.] : за ред. С.Ю. Булигіна, С.А. Балюка. Книга 1. Х., 1999. 158 с.

210. Мірошніченко М., Доценко О., Савченко Ю., Гладкіх Є., Галушка С. Стратегія та особливості внесення азотних добрив під озиму пшеницю. *Пропозиція*. 2015. № 1. С. 58-63.

211. Мірошніченко М.М., Носко Б.С., Гладкіх Є.Ю., Панасенко Є.В., Круподеря Ю.О., Арцих Р.С., Голота Є.В. Агрохімічні прийоми адаптації сільськогосподарських культур до екстремальних погоднокліматичних умов. *Вісник аграрної науки*. 2016 № 3. С. 5-10.

212. Молдован В.Г., Квасніцька Л.С. Вплив сівозмін і удобрення на вміст гумусу в чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 8. С. 13-16.

213. Молдован В.Г., Квасніцька Л.С. Залежність показників родючості чорнозему опідзоленого від сівозмінного чинника та систем удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 5. С. 16-18.

214. Моргун В.В., Санін Є.В., Швартау В.В. Сорти та оптимальні системи вирощування озимої пшениці. Клуб 100 центнерів. *Інститут фізіології рослин та генетики НАН України, компанія Сингента, Швейцарія*. Київ: Колос, 2012. 132 с.

215. Мусієнко М.М. Фізіологія рослин. Київ: Либідь, 2005. 808 с.

216. Національна доповідь «Про стан родючості ґрунтів України / Редкоп. С.А. Балюк, В.В. Медведєв, О.Г. Тараріко [та ін.]. К., 2010. 111 с.

217. Нікіфоренко Л.І., Предко О.І. Процеси гумусоутворення і гумусовий стан ґрунту залежно від системи удобрення в сівозміні. *Землеробство*. 1995. Вип. 70. С. 3-11.

218. Носко Б.С. Фосфатний режим ґрунтів і ефективність добрив. К., 1990. 224 с.

219. Носко Б.С., Сайко В.Ф. Удобрення польових культур при інтенсивних технологіях вирощування. К., 1990. 146 с.

220. Носко Б.С., Бацула А.А., Чесняк Г.Я. Гумусное состояние почв Украины и пути его регулирования. *Почвоведение*. 1992. № 10. С. 33-39.

221. Носко Б.С., Дуда Г.Г. Про наслідки агроекологічного моніторингу на базі багаторічних дослідів з добривами. *Тези доп. IV з'їзду ґрунтознавців і агрохіміків України*. Харків, 1994. С. 6-7.

222. Носко Б.С., Бабынин В.И. Калийный режим чернозема

типичного и урожай сахарной свеклы при внесении калийных удобрений. *Агротехника*. 1995. № 11. С. 15-25.

223. Носко Б.С., Лисовый Н.В., Столяр В.М. Калий в почвах Украины и эффективность калийных удобрений. Харьков: ИПА, 1998. 177 с.

224. Носко Б.С., Прокошев В.В. Калийні добрива в землеробстві України. Базель: Міжнародний інститут калію, 1999. 55 с.

225. Носко Б.С., Юнакова Т.А., Копоть Н.П. Багаторічна та сезонна динаміка вмісту рухомого фосфору та ступеня рухомості за різних рівнів інтенсифікації сільськогосподарського використання. *Агротехніка і ґрунтознавство*. 2003. Вип. 64. С. 5-11.

226. Носко Б.С. Шляхи збереження чорноземів України. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 1. С. 24-27.

227. Носко Б.С. Фосфор у землеробстві України. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 7. С. 14-17.

228. Носко Б.С. Антропогенна еволюція чорноземів. Харків: «13 типографія», 2006. 239 с.

229. Носко Б.С., Гладкіх Є.Ю. Післядія мінеральних добрив на калійний фонд чорнозему типового. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 10. С. 14-16.

230. Носко Б.С., Гладкіх Є.Ю. До проблеми трансформації та тривалості післядії фосфорних добрив у чорноземах. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 5. С. 11-15.

231. Носко Б.С., Медведєв В.В., Непочатов О.П., Скороход В.І. Роль добрив у підвищенні ефективності землеробства в посушливих умовах. *Вісник аграрної науки*. 2000. № 5. С. 11-15.

232. Носко Б.С., Бабинін В.І., Буракова Л.М., Копоть Н.П. Післядія добрив на фосфатний режим чорноземів України. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 12. С. 17-22.

233. Носко Б.С., Юнакова Т.А., Булакова Л.Н. Подвижность остаточных фосфатов и фосфорная буферность чернозема типичного. *Агротехника*. 2004. № 6. С. 5-10.

234. Орехівський В.Д., Кривенко А.І., Соломонов Р.В., Почколіна С.В. Урожайність і баланс елементів живлення у посівах озимих зернових культур залежно від строку сівби у південному степу України. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2022. № 4 (98).

235. Оконенко А.С., Берштейн В.И. Калий, фотосинтез и фосфорный метаболизм у свеклы. Киев: Наукова думка, 1969. С. 3-212.

236. Орловський Н.И. Основы биологии сахарной свеклы. К.:

Госсельхозиздат УССР, 1961. 323 с.

237. Орловський М.Й. Альтернативна система удобрення цукрових буряків. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 9. С. 78-80.

238. Орлюк А.П., Гончар О.М., Усик Л.О. Генетичні маркери пшениці. Київ, 2006. 144 с.

239. Осипчук В.А., Барштейн Л.А., Слободяник В.К. Эффективность промежуточных культур в свекловичных севооборотах. Актуальные вопросы свекловодства в зоне достаточного увлажнения правобережной Лесостепи УССР. К.: Изд-во ВНИС, 1984. С. 137-141.

240. Пабат І.А., Горбатенко А.І., Горобець А.Г. Використання післяжнивних решток і гною у сівозмінах степу. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 9. С. 11-15.

241. Парфенюк Г.І. Цукрові буряки: біологізація інтенсивних технологій. *Цукрові буряки*. 2002. № 6. С. 9-12.

242. Патица В.П., Омелянець Т.Г., Гриник І.В., Петриченко В.Ф. Екологія мікроорганізмів. Київ: Основа, 2007. 188 с.

243. Петриченко В.Ф., Тихонович І.А., Коць С.Я., Патица М.В., Мельничук Т.М., Патица В.П. Сільськогосподарська мікробіологія і збалансований розвиток агроєкосистем. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 6. С. 10-14.

244. Петрова О.Т. Вміст гумусу в ґрунті на початку і в кінці ротації сівозмін багатofакторного стаціонару. *Цукрові буряки*. 2004. № 6. С. 6-7.

245. Петрова О.Г., Одрехівський В.Р., Дубовий Ю.П. Баланс елементів живлення в сівозмінах багатofакторного дослідження за другу ротацію. *Система землеробства в буряківництві*. К.: Аграрна наука, 1997. С. 179–184.

246. Польовий В.М. Особливості агрохімічної деградації ґрунту залежно від удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2005. № 3. С. 23-25.

247. Польовий В.М. Диференціація систем удобрення цукрових буряків залежно від господарсько-економічних умов їх вирощування. *Вісник аграрної науки*. 2005. № 10. С. 16-18.

248. Польовий В.М. Оптимізація систем удобрення у сучасному землеробстві. Монографія. Рівне: Волинські обереги, 2007. 320 с.

249. Польовий В.М. Відновлення родючості агрохімічно деградованих ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 2. С. 37-40.

250. Почвенно-экологические условия возделывания сельскохозяйственных культур : под ред. В.В. Медведева. К.: Урожай. 1991. 176 с.

251. Преодоляк М.О. Вплив обробітку ґрунту та удобрення на рухомі гумусові речовини в чорноземі типовому. *Вісник аграрної*

науки. 2010. № 4. С. 70-72.

252. Примак І.Д., Панченко О.Б., Войтовик М.В., Панченко І.А., Карпенко В.Г. Вплив систем основного обробітку і удобрення під культури короткоротаційної сівозміни на агрохімічні властивості ґрунту. *Агробіологія*. 2019. № 1. С. 20-30.

253. Ремесло В.Н., Сайко В.Ф. Об одном важном резерве повышения урожайности и качества озимой пшеницы. *Зерновое хозяйство*. 1979. № 7. С. 30-31.

254. Ремесло В.Н. Приемы и методы повышения урожайности полевых культур. К.: Урожай, 1981. 120 с.

255. Рибкін А.В. Вплив сидератів на продуктивність цукрових буряків. *Вісник аграрної науки*. 2002. № 4. С. 77-78.

256. Рогальський С.В. Відтворення енергетичного потенціалу ґрунту у Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2001. № 4. С. 75-76.

257. Романенко О.Л., Стрекаловська О.В., Романенко Н.О. та ін. Добрива та регулювання якості зерна пшениці озимої. *Зб. наук. праць «Хранение і переработка зерна»*. 2006. № 3. С. 19-21.

258. Руцкая С.И., Тонкаль Е.А., Оголенко Н.А. Эффективные системы удобрения в интенсивном земледелии. Киев: УкрНИИНТИ Госплана УССР, 1990. 44 с.

259. Руцкая С.И., Тонкаль Е.А., Правилова В.П. Роль биологического азота в зерново-свекловичном севообороте. Экологические проблемы интенсивного земледелия в работах свеклосеяния. К., 1991. С.71-81.

260. Савченко Ю., Мірошніченко М.М. Вплив весняного живлення озимої пшениці сульфатом амонію на врожайність та якість зерна. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. 2013. Вип. 17(1). С. 186-192.

261. Сайко В.Ф. Зерно України. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 9. С. 5-10.

262. Сайко В.Ф. Землеробство на шляху до ринку. К.: Ін-т землеробства УААН. 1997. 48 с.

263. Сайко В.Ф., Бойко П.І. Сівозміни у землеробстві. Київ: Аграрна наука, 2002. 146 с.

264. Сайко В.Ф. Проблема забезпечення ґрунтів органічною речовиною. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 5. С. 5-8.

265. Сайко В.Ф. Проблема і шляхи нагромадження та використання біологічного азоту в сучасному землеробстві України. *Збірник наукових праць ННЦ “Інститут землеробства УААН”*. 2006. Спец. вип. С. 240-248.

266. Сайко В.Ф. Наукові основи землеробства в контексті змін

клімату. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 11. С. 5-10.

267. Сайко В.Ф. Використання на удобрення побічної продукції рослинництва в Україні. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник "Землеробство"*. 2009. Вип. 81. С. 3-9.

268. Сайко В.Ф. Наукові основи землеробства у зв'язку зі світовою економічною кризою. *Посібник українського хлібороба: науково-виробничий щорічник*. 2010. С. 64-68.

269. Сайко В.Ф., Малиєнко А.М., Мазур Г.А. Устойчивость земледелия: Проблемы и пути решения. К.: Урожай, 1993. 320 с.

270. Свекловодство. Проблемы интенсификации и ресурсосбережения. В.Ф. Зубенко, А.А. Иващенко, В.Т. Саблук [и др.]; под ред. В.Ф. Зубенко. К.: НПП ООО «Альфа-стевия ЛТД», 2005. 400 с.

271. Сеньків Г.Й., Дука Л.В., Мацишин М.М. Формування балансу гумусу в різних типах сівозмін Західного Лісостепу України. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Х., 1998. Ч. 2. С. 58-59.

272. Сергєєв В.В., Бенцаровський Д.М., Кисіль В.І. Агрохімічні пріоритети охорони родючості ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 11. С. 5-7.

273. Силян П.М. Технологическая оценка сахарной свеклы. *Сахарная промышленность*. 1961. № 11. С. 21-24.

274. Сінченко В.М. Ефективність сучасного землеробства на основі його енергетичного базису. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 11. С. 14-17.

275. Сидоров А.А., Семинишен Н.Г. Дозы удобрений и продуктивность свеклы. *Сахарная свекла*. 1982. № 8. С. 34-35.

276. Скрильник Є.В., Кутова А.М., Філімончук Я.С., Москаленко В.П. Вплив антропогенних факторів на гумусний стан і вміст поживних речовин у чорноземі типовому. *Вісник аграрної науки*. 2015. № 9. С. 12-16.

277. Скрильник Е., Кутова А., Артем'єва К. Як правильно підживити пшеницю. *The Ukrainian Farmer*. 2016. № 2. С. 56.

278. Сніговий В.С. Вплив рослинних решток проміжних культур на показники родючості ґрунтів в умовах зрошення. *Збірник наукових праць ІЗ НААН*. 2003. Спец. вип. С. 18-23.

279. Созінов О.О., Шпаар Д. Альтернативне землеробство: зарубіжний досвід і перспективи в Україні. *Вісник аграрної науки*. 1993. № 8. С. 3-17.

280. Сологуб Ю.І. Ефективність сидератів та побічної продукції на добриво при вирощуванні цукрових буряків / Ю.І. Сологуб // *Збірник наукових праць ІЗ землеробства УААН*. 1999. Вип. 3. С. 20-24.

281. Сорокотяга Н.П. Трансформація сполук вуглецю і азоту в лучно-

чорноземному ґрунті Лісостепу України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.- г. наук : спец. 06.01.04 «Агрохімія». К., 2004. 21 с.

282. Справочник свекловода / под. ред. В.Ф. Зубенко. К.: Урожай, 1991. 240 с.

283. Стан родючості ґрунтів України та прогноз його змін за умов сучасного землеробства : за ред. В.В. Медведєва і М.В. Лісового. Харків: Штрих, 2001. 97 с.

284. Стрельникова М.М. Повышение качества зерна пшеницы. Киев: Урожай, 1971. 176 с.

285. Ступенко О.В. Вплив внесення соломи і сидератів на баланс азоту мінеральних добрив і продуктивність сівозміни. *Вісник аграрної науки*. 2005. № 4. С. 23-26.

286. Тараріко О.Г. Охорона родючості ґрунтів у контексті продовольчої безпеки. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 9. С. 5-9.

287. Тараріко О.Г., Греков В.О., Дацько Л.В. Механізми і технології контролю родючості ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 11. С. 16-19.

288. Тараріко Ю.О. Застосування соломи на добриво у зерно-просапній сівозміні. *Землеробство*. 1994. Вип. 69. С. 64-67.

289. Тараріко Ю.О., Андрійченко О.А. Біоенергетична оцінка ефективності застосування добрив в зерно просапних сівозмінах. *Агроекологічний журнал*. 2001. № 2. С.14-17.

290. Тараріко Ю.О., Глущенко Л.Д. Вплив систематичного застосування органічних і мінеральних добрив на біологічні процеси та гумусний стан чорнозему типового. *Вісник аграрної науки*. 2002. № 11. С. 18-20.

291. Тараріко Ю.О. Кругообіг біогенних елементів за різних систем удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 11. С. 18-24.

292. Тараріко Ю.О., Пісковий М.Б. Вплив біопрепаратів і полі мінеральних добрив на трансформацію органічної речовини і поживний режим чорнозему типового. *Вісник аграрної науки*. 2005. № 5. С.16-22.

293. Тараріко Ю.А. Формирование устойчивых агроэкосистем. К.: ДИА, 2007. 560 с.

294. Тонкаль Е.А. Система удобрення культур в сівозмінах. Науково обґрунтовані системи ведення сільського господарства в Лісостепу УРСР. К., 1968. С. 90-115.

295. Тонкаль Е.А., Охмакевич В.С., Кулик В.Д. Место внесения навоза в свекловичных севооборотах. *Сахарная свекла*. 1972. № 3. С. 35-38.

296. Тонкаль Е.А. Основы применения минеральных удобрений под сахарную свеклу в севообороте: авторефер. дис. на соискание науч.

степени доктора с.-х. наук: спец. 06.01.04 «Агрохимия». К., 1973. 48 с.

297. Тонкаль Е.А., Чередничек И.И. Лучше использовать удобрение под сахарную свеклу. *Сахарная свекла*. 1975. № 10. С. 27-29.

298. Тонкаль Е.А. Основы применения удобрений под сахарную свеклу. Удобрение сахарной свеклы. К.: ВНИС, 1975. С. 3-9.

299. Тонкаль Е.А., Охмакевич В.С. Влияние минеральных удобрений на продуктивность сахарной свеклы в зависимости от ее места в севообороте. *Сахарная свекла, основы агротехники*. К.: Урожай, 1979. С. 118-154.

300. Тонкаль Е.А., Шиманская Н.К. Удобрения улучшают качество сахарной свеклы. *Сахарная свекла*. 1981. № 10. С. 35-36.

301. Трускавецький Р.С. Буферна здатність ґрунтів та їх основні функції. Харків: Нове слово, 2003. 224 с.

302. Улич Л.І., Василюк П.М. Урожайний потенціал та адаптивні властивості нових сортів пшениці м'якої озимої в умовах Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 12. С. 25-28.

303. Улич О.Л. Екологічна спроможність ново зареєстрованих сортів пшениці озимої м'якої. *Вісник аграрної науки*. 2015. № 1. С. 51-55.

304. Фатеев А.И. Локальный способ внесения удобрений. Почвенно-агрохимические аспекты. Харьков: КП «Друкарня № 13», 2002. 160 с.

305. Фатеев А.И., Пашенко Я.В. Основы применения микроудобрений. Харьков: Изд-во «Типография № 13», 2005. 120 с.

306. Филон И.И., Шеларь И.А. Изменение содержания азота и его различных форм в черноземе типичном и темно-серой лесной почве северной Лесостепи Украины при длительном применении удобрений. *Агрохимия*. 1996. № 7. С. 3-9.

307. Филон И.И., Шеларь И.А. Содержание калия в черноземе типичном и темно-серой лесной почве при их сельскохозяйственном освоении и длительном применении удобрений. *Агрохимия*. 1999. № 1. С. 21-27.

308. Філон І.І. Агроекологічний стан чорнозему типового при окультуренні та продуктивність і якість урожаю рослин. Харків, 2000. 88 с.

309. Филон И.И., Шеларь И.А. Влияние длительного применения удобрений на физико-химические свойства темно-серой почвы и подвижность в ней ионов алюминия. *Агрохимия*. 2001. № 4. С. 5-9.

310. Филон И.И., Шеларь И.А. Изменение содержания фосфора в черноземе типичном и темно-серой лесной почве под влиянием удобрений. *Вісник аграрної науки*. 2001. № 3. С. 13-16.

311. Харченко Н.А. Применение суперфосфата, обогащенного боратом кальция, на семенниках. *Сахарная свекла*. 1983. № 11. С. 34-35.
312. Хелемский М.З., Варшавский Б.Я. Что такое технологические качества сахарной свеклы? *Сахарная свекла*. 1971. № 1. С. 31-33.
313. Христенко А.А. Уровень динамического равновесия фосфатных систем пахотных почв. *Агрохимия*. 2004. № 5. С. 76-84.
314. Цвей Я.П. Продуктивність зернобурякової сівозміни. *Збірник наукових праць Інституту землеробства УААН*. 2004. Вип. 2-3. С. 19-23.
315. Цвей Я.П. Уміст мінерального азоту і його міграція у чорноземних ґрунтах залежно від системи удобрення цукрових буряків. *Вісник аграрної науки*. 2005. № 2. С. 14-17.
316. Цвей Я.П. Фракційний склад гумусу чорнозему типового в коротко ротатійних сівозмінах. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 11. С. 13-15.
317. Цвей Я.П. Наукове обґрунтування відтворення родючості ґрунтів та підвищення продуктивності зерно-бурякових сівозмін Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. с.-г. наук: спец. 06.01.01. «Загальне землеробство». К., 2010. 41 с.
318. Цвей Я.П. Біоенергетична оцінка продуктивності різноротатійних сівозмін. *Збірник наукових праць ІБКЦБ*. 2011. Вип. 12. С. 46-55.
319. Цвей Я.П. Родючість ґрунтів і продуктивність сівозмін: монографія. К.: «Компрінт», 2014. 416 с.
320. Цвей Я.П., Бондар С.О., Кісілевська М.О. Склад гумусу чорноземів залежно від системи удобрення в коротко ротатійних сівозмінах. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 9. С. 5-9.
321. Цвей Я.П., Горб А.Є., Шиманська Н.К. Обґрунтування системи удобрення озимої пшениці в Лісостепу України. *Збірник наукових праць Інституту агроєкології та біотехнології*. 1999. Вип. 3. С. 66-70.
322. Цвей Я.П., Горобець А.М. Продуктивність коротко ротатійних сівозмін в Лісостепу України. *Цукрові буряки*. 2006. № 6. С. 10-11.
323. Цвей Я.П., Іваніна В.В., Петрова Е.Т. Влияние системы удобренй на содержание гумуса в зерносвекловичном севообороте. *Сахарная свекла*. 2012. № 9. С. 24-26.
324. Цвей Я.П., Іваніна В.В., Петрова О.Т. Груповий та фракційний склад гумусу чорнозему типового в різноротатійних сівозмінах. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 1. С. 15-20.
325. Цвей Я.П., Іваніна В.В., Петрова Е.Т., Дубовий Ю.П. Влияние севооборота и системы удобрения на фосфатный режим чернозема

выщелоченного. *Земледелие*. 2014. № 2. С.17-20.

326. Цвей Я.П., Іваніна В.В., Петрова О.Т., Дубовий Ю.П. Вплив тривалого внесення добрив на калійний режим чорнозему типового вилугуваного в різноротаційних сівозмінах. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 4. С. 17-20.

327. Цвей Я.П., Іваніна В.В., Петрова Е.Т., Дубовой Ю.П. Динамика фосфатного режима чорнозема выщелоченного при длительном применении удобрений. *Плодородие*. 2013. № 4. С. 28-31.

328. Цвей Я.П., Іваніна В.В., Ременюк Ю.О. Зміна агрохімічних показників чорнозему типового залежно від довготривалого застосування добрив у Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 7. С. 11-15.

329. Цвей Я.П., Іваніна В.В., Воронюк Н.Н., Дубовой Ю.П. Об эффективности элементов биологизации в зерносвекловичном севообороте. *Сахарная свекла*. 2013. № 5. С. 18-20.

330. Цвей Я.П., Іваніна В.В., Цебро Ю.М., Петрова О.Т., Одреховський А.Ф., Климчук С.М. Баланс елементів живлення у зерно-буряковій сівозміні залежно від системи удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 1. С. 33-37.

331. Цвей Я.П., Касянчук Ф.П. Використання поживної гірчиці при вирощуванні цукрових буряків. *Цукрові буряки*. 2004. № 3. С. 14-15.

332. Цвей Я.П., Карачка В.П., Петрова О.Т. Формування поживного режиму чорнозему від добрив у посівах цукрових буряків. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 12. С. 23-26.

333. Цвей Я.П., Кісілевська М.О., Ременюк Ю.О. Залежність родючості чорноземних ґрунтів від системи удобрення і чергування культур у сівозміні. *Вісник аграрної науки*. 2007. № 11. С. 5-7.

334. Цвей Я.П., Мазур Г.М. Особливості впливу системи удобрення цукрових буряків на фонд обмінного калію чорнозему вилугуваного. *Агроекологічний журнал*. 2001. № 1. С. 55-57.

335. Цвей Я.П., Недашківській О.І., Кіселевська М.О. Родючість ґрунту в короткоротаційних сівозмінах Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 10. С. 11-15.

336. Цвей Я.П., Недашківський А.І., Горобець Н.А. Продуктивність цукрових буряків в короткоротаційних сівозмінах. *Цукрові буряки*. 2003. № 5. С. 10-12.

337. Цвей Я.П., Недашківській О.І., Кісілевська М.О. Залежність родючості чорноземних ґрунтів від системи удобрення і чергування культур у сівозміні. *Вісник аграрної науки*. 2007. № 11. С. 5-7.

338. Цвей Я.П., Недашківський О.І., Кісілевська М.О. Формування поживного режиму чорнозему при удобренні цукрових буряків у коротко

ротаційних сівозмiнах. *Вiсник аграрної науки*. 2004. № 2. С. 11-14.

339. Цвей Я.П., Петрова О.Т., Климчик С.М. Баланс елементiв живлення в сiвозмiнах Лiсостепу. *Науковий вiсник Нацiонального аграрного унiверситету*. 2008. Вип. 129. С. 239-244.

340. Цвей Я.П., Шиманська Н.К. Агроекологiчна оцiнка балансу системи удобрення зерно-бурякової сiвозмiни Лiсостепу України. *Збiрник наукових праць iнституту агроекологiї та бiотехнологiї УААН*. 2000. Вип. 4. С. 92-98.

341. Цвей Я.П., Шиманська Н.К. Гумусовий стан чорнозему в процесi довготривалого застосування добрив. *Агроекологiчний журнал*. 2002. № 3. С.73-75.

342. Цвей Я.П., Шиманська Н.К. Продуктивнiсть цукрових бурякiв i винесення елементiв живлення залежно вiд системи удобрення. *Вiсник Львiвського державного аграрного унiверситету*. 2005. Вип. 5. С. 205-208.

343. Цвей Я.П., Шиманська Н.К. Баланс азоту в сiвозмiнах. *Вiсник аграрної науки*. 2004. № 12. С.14-17.

344. Черепанов В.П., Якименко В.Н. Баланс елементов питания в свекловичном севообороте при разных дозах удобрений. *Агрoхимия*. 1980. № 8. С. 49-56.

345. Черенков А.В., Гасанова I.I., Костиря I.В., Остапенко М.А., Бiлозор I.В. Вплив попередникiв, мiнеральних добрив та способiв сiвби на урожайнiсть i якiсть зерна пшеницi озимої в пiвденному Степу України. *Зерновi культури*. 2019. Т. 2. № 2. С. 237-244. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0031>

346. Чесняк Г.Я. Закономiрнiсть вiмiсту гумусу i шляхи забезпечення його бездефiцитного балансу в чорноземах типових при iнтенсифiкацiї землеробства. *Агрoхимiя i ґрунтознавство*. 1982. Вип. 43. С. 18-23.

347. Чесняк Г.Я., Полупан М.І. Вбирна здатнiсть чорноземiв та шляхи її полiпшення. Як зберегти i пiдвищити родочiсть чорноземiв. К.: Урожай, 1984. С. 48-58.

348. Шакалiй С.М. Якiсть зерна пшеницi м'якої озимої за використання позакореневого пiдживлення в умовах лiвобережного Лiсостепу України. *Науковi доповiдi НУБiП*. 2017. № 1. С. 76-84. <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2017.01.007>

349. Шаповаленко Р.М. Бiологiзацiя в досягненнi високої продуктивностi бурякiв цукрових. *Матерiали III Мiжнародної науково-практичної конференцiї «Рослинництво XXI столiття: виклики та iнновацiї. До 120-ти рiччя кафедри рослинництва НУБiП України»* 25-26 вересня 2019; Київ, 2019. С. 56-57.

350. Шевчук М.Й., Веремєєнко С.І., Лопушняк В.І. Агрохімія. Частина 1. Теоретичні основи формування врожаю. Луцьк: ВОРВП «Надстир'я», 2012. 196 с.

351. Шевчук М.Й., Веремєєнко С.І., Лопушняк В.І. Агрохімія. Частина II. Добрива та їх вплив на біопродуктивність ґрунту. Луцьк: ВОРВП «Надстир'я», 2012. 440 с.

352. Шеленов В.В., Чебаков Н.Н., Вергунов В.А., Кочмарский В.С. Пшеница: история, морфология, биология, селекция. Мироновка, 2009. 573 с.

353. Шидула М.К., Антонєць С.С., Андрієнко В.О. [та ін.]. Відтворення родючості ґрунтів в ґрунтозахисному землеробстві : за ред. М. К. Шидули. К.: Оранта, 1998. 680 с.

354. Шидула М.К. Концепція ґрунтозахисного біологічного землеробства. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні. К.: ПФ «Оранта». 2000. С. 24-78.

355. Шидула М.К., Балаєв А.Д., Демиденко О.В. Ґрунтоутворювальна і ґрунтозахисна роль соломи та інших післяжнивних решток в агроценозах. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 4. С. 27-32.

356. Шиманська Н.К. Вплив біологічного азоту на продуктивність культур сівозміни. Система землеробства у буряківництві. К.: Аграрна наука. 1997. С. 135-139.

357. Шиян П.Н., Ляшенко А.Н., Прокопчук Б.Т. Изучение азотного питания сахарной свеклы с применением ¹⁵N. Минеральное питание и продуктивность растений. К.: Наукова думка, 1978. С. 66-74.

358. Шиян П.Н. Потребление сахарной свеклой азота из почвы и удобрений. *Агрoхимия*. 1983. № 6. С. 3-10.

359. Шиян П.Н. Дифференцированная оценка использования сахарной свеклой азота из фондов почвы и удобрений. *Агрoхимия*. 1984. № 8. С. 3-11.

360. Шиян П.Н., Бондаренко В.М. Использование сахарной свеклой азота удобрений и почвы. *Химия в сельском хозяйстве*. 1985. № 1. С. 20-24.

361. Шиян П.Н. Разработка научных основ оптимизации и диагностики азотного питания сахарной свеклы: авторефер. дис. на соискание науч. степени доктора биол. наук: спец. 06.01.04 «Агрoхимия». К., 1986. 50 с.

362. Шиян П.Н., Бондаренко В.М. Изучение трансформации азота аммиачной селитры в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой. *Почвоведение*. 1990. № 11. С. 104-115.

363. Шиян П.М. Оптимізація азотного живлення цукрових буряків і

його діагностика. Оптимізація азотного живлення при інтенсивних технологіях. К.: Урожай. 1992. С. 49-61.

364. Шкаредний І.С., Глущенко І.В., Кісілевська М.О., Мельник І.О. Трансформація гумусу при різних системах землеробства. Система землеробства у буряківництві. *Ювілейний збірник, присвячений 75-річчю Інституту цукрових буряків*. К.: Аграрна наука, 1997. С. 171-178.

365. Шляхи підвищення родючості ґрунтів у сучасних умовах сільськогосподарського виробництва : за ред. Б.С. Носка. К.: Аграрна наука, 1999. 108 с.

366. Якименко В.Н., Барштейн Л.А., Шкаредний І.С. Вплив умов вирощування сільськогосподарських культур на їх врожайність та використання елементів живлення. *Збірник наукових праць ІЦБ УААН*. 2000. Вип. 2. С. 58-64.

367. Якименко В.Н., Теселько В.Л., Кожуховський Н.Н. Продуктивність культур зерносвекловичних севооборотов при різних нормах удобрення в центральній Лесостепі УРСР. *Агрохімія*. 1984. № 6. С. 22-31.

368. Якименко В.М., Шкаредний І.С., Одреховський А.Ф. Солома як добриво під цукрові буряки. *Цукрові буряки*. 1999. № 5. С. 9-11.

369. Якименко В.Н. Эффективность калийных удобрений на почвах с различной обеспеченностью калием. *Агрохимия*. 1995. № 12. С. 71-75.

370. Якименко В.Н. Изменение содержания форм калия по профилю почвы при различном калийном балансе в агроценозах. *Агрохимия*. 2007. № 3. С. 5-11.

371. Якість ґрунту. Визначення нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського: ДСТУ 4729:2007. [Чинний від 2008–01–01]. К.: Держспоживстандарт України, 2008. 14 с. (Національний стандарт України).

372. Якість ґрунту. Визначення рН (ISO 10390:2005, IDT) : ДСТУ ISO 10390:2007. [Чинний від 2009–10–01]. К. : Держспоживстандарт України, 2007. 13 с. (Національний стандарт України).

373. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини: ДСТУ 4289:2004. [Чинний від 2005–07–01]. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 14 с. (Національний стандарт України).

374. Якість ґрунту. Визначення гідролітичної кислотності : ДСТУ 7537:2014. [Чинний від 2015–04–01]. К.: Держспоживстандарт України, 2015. 11 с. (Національний стандарт України).

375. Ященко Л.А. Вплив довготривалого застосування добрив в зерно-буряковій сівозміні на вміст і форми калію в лучно-чорноземному карбонатному ґрунті. *Науковий вісник НАУ*. 2000. № 26. С. 154-157.

376. Ященко Л.А. Агрохімічне обґрунтування підвищення продуктивності цукрових буряків на лужно-чорноземному карбонатному ґрунті Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. степеня. канд. с.-г. наук.: спец. 06.01.04 Агрохімія. Київ, 2003. 19 с.

377. Abedi T., Alemzadeh A., Kazemeini S.A. (2011). Wheat yield and grain protein response to nitrogen amount and timing. *Australian Journal of Crop Science*, 5(3), 330-336.

378. Abera G., Wolde-Meskel E., Bakken L. R. (2013). Effect of organic residue amendments and soil moisture on N mineralization, maize (*Zea mays* L.) dry biomass and nutrient concentration. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(9), 1263-1277.
<https://doi.org/10.1080/03650340.2012.722623>

379. Ahmed A.G., Tawfik M.M., Hassanein M.S. (2011). Foliar feeding of potassium and urea for maximizing wheat productivity in sandy soil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(5), 1197-1203.

380. Armstrong M., Miford G., Jackstone J. (2000). Revised fertilizer recommendations for the sugar beet crop. *British Sugar Beet Review*, 68, 2-6.

381. Babulicova M. (2014). The influence of fertilization and crop rotation on the winter wheat production. *Plant Soil Environment*, 60(7), 297-302. <https://doi.org/10.17221/3/2014-pse>

382. Bagherzadeh A., Navabi Kalat S. M., Hajian J. (2014). Effects of residual wheat straw and nitrogen fertilizer on yield and quality of sugar beet in a semi-arid region. *Sugar Tech*, 16 (2), 189-194.
<https://doi.org/10.1007/s12355-013-0253-6>

383. Bardgett R.D. (2005). The biology of soils. Field community and ecosystem approach. Oxford University Press, 242.

384. Barshad I., Kishk F.M. (1970). Factors, affecting potassium-fixation and cation-exchange capacity of soil vermiculite clays. *Clays and Clay Minerals*, 18, 127-137.

385. Batjes N.H. (1996). Total carbon and nitrogen in soils of the world. *European J. Soil Science*, 47,151-163.

386. Beegle D.B., Carton O.T., Bailey J.S. (2000). Nutrient management planning: justification, theory, practice. *Journal of Environment Quality*, 29, 72-79.

387. Bernston G.M., Aber J.D. (2000). Fast nitrate immobilization in N saturated temperate forest soils. *Soil biology and biochemistry*, 32, 151-156.

388. Bhatta M., Regassa T., Rose D.J., Baenziger P.S., Eskridge K.M., Santra D.K. (2017). Genotype, environment, seeding rate, and topdressed nitrogen effects on end-use quality of modern Nebraska winter wheat. *Science of food and agriculture*, 97(15), 5311-5318.

<https://doi.org/10.1002/jsfa.8417>

389. Blandino M., Marinaccio F., Reyneri A. (2016). Effect of late-season nitrogen fertilization on grain yield and on flour rheological quality and stability in common wheat, under different production situations. *Italian Journal of Agronomy*, 11, 107-113.

<https://doi.org/10.4081/ija.2016.745>

390. Blumenthal J.M. (2001). Fertilizing sugar beet. Sugar beet production guide. *University of Nebraska Cooperative Extension*, 75-80.

391. Boh M., Germer J., Muller T., Sauerborn J. (2013). Comparative effect of human urine and ammonium nitrate application on maize (*Zea mays* L.) grown under various salt (NaCl) concentrations. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(5), 703-711.

392. Bobrecka-Jamro D., Kruczek G., Romaniak M., Jarecki W., Buczek J. (2013). Effect of the dose and method of top-dressing with nitrogen on the yield and quality of winter wheat grain. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura*, 12(4), 19-30.

393. Bukhari M.A., Ahmad Z., Ashraf M.Y., Afzal M., Nawaz F., Nafees M., Jatoi W.N., Malghani N.A., Shah A.N., Manan A. (2021). Silicon mitigates drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) through improving photosynthetic pigments, biochemical and yield characters. *Silicon*, 13, 4757-4772.

<https://doi.org/10.1007/s12633-020-00797-4>

394. Campbell C.A., Lafond G.P., Zentner R.P. (1991). Influence of fertilizer on soil organic matter in a thin black chernozem in western Canada. *Soil Biology and Biochemistry*, 23(5), 443-446.

395. Carter J.N., Traveller D.J. (1981). Effect of time on nitrogen up taken by sugar beet, its growth and yield. *Agronomy Journal*, 73, 665-671.

396. Casagrande M., David C., Valantin-Morison M., Makowski D., Jeuffroy M. (2009). Factors limiting the grain protein content of organic winter wheat in south-eastern France: a mixed-model approach. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(4), 565-574.

397. Clive A.E. (1987). The conception of integrated systems in sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture*, 4, 148-152.

398. Darmody R.G., Peck T.R. (1997). Soil organic matter through time at the University of Illinois Morrow Plots. *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems*, 11, 161-169.

399. Delin S., Stenberg M. (2014). Effect of nitrogen fertilization on nitrate leaching in relation to grain yield response on loamy sand in Sweden. *European Journal of Agronomy*, 52, 291-296.

<https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.08.007>

400. Dewdar M. D. H., Abbas M. S., Gaber E. I., Abd El-Aleem H. A. E. (2015). Influence of time addition and rates of boron foliar application on growth, quality and yield traits of sugar beet. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(2), 231-238.

401. Dhaliwal S.S., Naresh R.K., Mandal A., Singh R., Dhaliwal M.K. (2019). Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 1-2, 107-121. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100007>

402. Doran J.W., Sarrantonio A., Liebig M.A. (1996). Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy*, 56, 1-54.

403. Draucott A.P., Cooke C.W. (1966). The effect of potassium fertilizers on quality of Sugar beet. *Symptoms*, 131-135.

404. Draycott A.P., Christenson D.R. (2003). Nutrients for sugar beet production. *Soil-Plant Relationships. CABI: Wallingford*, 7-181.

405. Duval R., Machet J.M., Maupas F. (2003). Critical curve for the dilution of nitrogen under sugar beet. Sugar beet growth and growth modeling. *Advances in sugar beet research*, 5, 47-62.

406. Duxbury M. (1984). Factors effecting phosphorus loss from cultivated organic soils. *Journal of Environment quality*, 13, 111-114.

407. Efretue A., Gooding M., White E., Spink J., Hackett R. (2016). Effect of nitrogen fertilizer application timing on nitrogen use efficiency and grain yield of winter wheat in Ireland. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 55(1), 32-47. <https://doi.org/10.1515/ijaf-2016-0006>

408. Eswaran H.E., Van Den Berg E., Reich P. (1993). Organic carbon in soils of the world. *Soil Science South America Journal*, 57, 192-194.

409. Fox R.L. (1981). External phosphorus requirements of crops. *American Society of Agronomy and Soil Science*, 40, 223-239.

410. Gaudin A.C.M., Westra S., Loucks C.E.S., Janovicek K., Martin R.C., Deen W. (2013). Improving resilience of northern field crop systems using inter-seeded red clover: A review. *Agronomy*, 3, 148-180.

411. Gerieke S. (1996). Phosphate fertilizing and quality of the sugar beet crop. *Zucker*, 24, 663-670.

412. Gholami A., Akhlaghi S., Shahsavani H., Farrokhi N. (2011). Effects of urea foliar application on grain yield and quality of winter wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(6), 719-727. <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.550377>

413. Gobarah M. E., Tawfik M. M., Zaghoul S. M., Amin G. A. (2014). Effect of combined application of different micronutrients on

productivity and quality of sugar beet plants (*Beta vulgaris* L.). *International Journal of Plant and Soil Science*, 3(6), 589-598.

<https://doi.org/10.9734/IJPSS/2014/8193>

414. Graf V., Reichenbach H. (1972). Factors of mica transformation potassium. *Soil*, 33-42.

415. Gupta U., Solanki H. (2013). Impact of boron deficiency on plant growth. Review article. *International Journal of Bioassays*, 2(7), 1048-1050.

416. Haile D., Nigussie D., Ayana A. (2012). Nitrogen use efficiency of bread wheat: Effects of nitrogen rate and time of application. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(3), 389-410.

<https://doi.org/10.4067/S0718-95162012005000002>

417. Han X., Xu C., Dungait J. A. J., Bol R., Wang X., Wu W., Meng F. (2018). Straw incorporation increases crop yield and soil organic carbon sequestration but varies under different natural conditions and farming practices in China: a system analysis. *Biogeosciences*, 15(7), 1933-1946. <https://doi.org/10.5194/bg-15-1933-2018>

418. Harrison R., Ellis S., Cross R., Hodgson O.P. (2002). Emissions of nitrous oxide and nitric oxide associated with the decomposition of arable crop residues on a sandy loam soil in Eastern England. *Agronomic*, 22, 731-738.

419. Hasanen G. H., Elsokkary I. H., Kamel M. Z., Abd Elsamea A. M. (2013). Influence of nitrogen and organic fertilization on growth, yield and quality of sugar beet growth in calcareous soil. *Journal of Plant Production*, 4(5), 733-743. <https://doi.org/10.21608/jpp.2013.73063>

420. Hawkesford M.J., Araus J.L., Park R., Calderini D., Miralles D., Shen T., Zhang J., Parry M.A.J. (2013). Prospects of doubling global wheat yields. *Food Energy Security*, 2, 34-48. <https://doi.org/10.1002/fes3.15>

421. Hellal F. A., Taalab A. S., Safaa A. M. (2009). Influence of nitrogen and boron nutrition on nutrient balance and sugar beet yield grown in calcareous soil. *Ozean Journal of Applied Sciences*, 2, 1-10.

422. Higgs B., Johnston A.E., Salter J.L., Dawson C.J. (2000). Some aspects of achieving sustainable phosphorus use in agriculture. *Journal of Environment Quality*, 29, 80-87.

423. Hoefl R.G. (2010). Maize (*zea mays* l.) USA: corn; French: mais; Spanish: maiz; Italian: mais; German: mais. *University of Illinois*, 32, 12-68.

424. Hoffmann D.C., Märländer B. (2001). Entwicklung und Perspektiven von Trtrag und technischer Qualität. *Zuckerrübe*, 4, 218–225.

425. Hollies J. (2000). Phosphate and potash removal by crops. *Potash Development association*, 1-4.

426. Hospodarenko H., Mostoviak I., Karpenko V., Liubych V.,

Novikov V. (2022). Yield and quality of winter durum wheat grain depending on the fertiliser system. *Scientific Horizons*, 25(3), 16-25. [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(3\).2022.16-25](https://doi.org/10.48077/scihor.25(3).2022.16-25)

427. Ivanina V., Shapovalenko R., Strilets O., Senchuk S. (2021). Sugar beet fertilisation for sustainable yield under climate change conditions. *Zemdirbyste-Agriculture*, 108(4), 355-362. <https://doi.org/10.13080/z-a.2021.108.045>

428. Jaggard K.W., Armstrong M.J. (2009). A meta-analysis of sugarbeet yield responses to nitrogen fertilizer measured in England since 1980. *Journal of Agricultural Science*, 147, 287-301.

429. Jankowski K.J., Hulanicki P.S., Sokolski M., Hulanicki P., Dubis B. (2016). Yield and quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to different systems of foliar fertilization. *Journal of Elementology*, 21(3), 715-728. <https://doi.org/10.5601/jelem.2015.20.4.1036>

430. Jenkinson D.S. (1976). The nitrogen economy of the Broadbalk experiments. Nitrogen balance in the experiment. *Report Rothamstead Experimental Station*, 2, 103-109.

431. Jenkinson D.S., Johnson A.E. (1977). Soil organic matter in the Hoosfield barley experiment. *Report Rothamstead Experimental Station*, 2, 87-102.

432. Jenkinson D.S. (1990). An introduction to global nitrogen cycle / D.S. Jenkinson. *Soil Use and Management*, 6, 56-61.

433. Kandil E.E., Abdelsalam N.R., Abd El Aziz A.A., Ali H.M., Siddiqui M. H. (2020). Efficacy of nanofertilizer, fulvic acid and boron fertilizer on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield and quality. *Sugar Tech*, 22, 782-791. <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00837-8>

434. Karaca A., Cetin S., Turgay O., Kizilkaya R. (2011). Soil enzymes as indication of soil quality. *Soil Enzimology*, 22, 119-148.

435. Kern J.S. (1994). Spatial patterns of soil organic carbon in the contiguous United States. *Soil Science South America Journal*, 58, 439-455.

436. Kessel W.C. (1988). Durch Grundungung Bodenfruchtbarkeit heben, Erosionvermidern, Nematodes reduzieren. Nahsstoffe binden, Futtegrundladg sichern. *Zucherrube*, 4, 202-204.

437. Kozlovský O., Balík J., Černý J., Kulhánek M., Kos M., Prášilová M. (2009). Influence of nitrogen fertilizer injection (CULTAN) on yield, yield components formation and quality of winter wheat grain. *Plant soil environment*, 55, 536-543.

438. Lamb J.A., Sims A.L., Smith L.J., Rehm G.W. (2001). Fertilizing sugar beet in Minnesota and North Nebraska. *University of Minnesota*.

Extension Service Guide, 21-34.

439. Litke L., Gaile Z., Ruza A. (2018). Effect of nitrogen fertilization on winter wheat yield and yield quality. *Agronomy Research*, 16(2), 500-509. <https://doi.org/10.15159/AR.18.064>

440. Liu Z., Gao F., Liu Y., Yang J., Zhen X., Li X., Li Y., Zhao J., Li J., Qian B., Yang D., Li X. (2019). Timing and splitting of nitrogen fertilizer supply to increase crop yield and efficiency of nitrogen utilization in a wheat-peanut relay intercropping system in China. *The Crop Journal* 2019, 7(1), 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.08.006>

441. Mader P. (2004). Soil fertility in sustainable farming systems. *Journal of the Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry*, 1, 37-40.

442. Magdoff F. (1997). Nutrient cycling, transformations and flows: Implications for a more sustainable agriculture. *Advances in Agronomy*, 60, 2-73.

443. Mandic V., Krnjaja V., Tomic Z., Bijelic Z, Simic A., Muslic D., Gogic M. (2015). Nitrogen fertilizer influence on wheat yield and use efficiency under different environmental conditions. *Chilean journal of agricultural research*, 75(1), 92-97.

<https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000100013>

444. Martyniuk S., Piķuła D., Koziel M. (2019). Soil properties and productivity in two long-term crop rotations differing with respect to organic matter management on an Albic Luvisol. *Scientific Reports*, 9, Article 1878. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37087-4>

445. Marlander B., Hoffmann C., Koch H.J., Ladewig E., Merkes R., Petersen J., Stockfisch N. (2003). Environmental situation and yield performance of the sugar beet crop in Germany: heading for sustainable development. *Journal Agronomy Crop Science*, 189, 201-226.

446. Mekdad A.A. (2015). Sugar beet productivity as affected by nitrogen fertilizer and foliar spraying with boron. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(4), 181-196.

447. Mengel K., Kirkby E.A. (1987). Principles of Plant Nutrition. Bern, 436.

448. Milford G.F., Armstrong M.J., Jarvis P.J. (2000). Effect of potassium fertilizer on the yield, quality and potassium offtake of sugar beet crops growth on soils of different potassium status. *Journal of agricultural science*, 135, 1-10.

449. Muller S. (1986). Wirkung von differenzierter Herbst Und Fruhjahrsstickstoffdüngung auf Ertrag und Qualität der Zuckerrüben. *Zuckerrübe*, 36(1), 20-27.

450. Munson R.D. (1985). Potassium in agriculture. Madison, 387.

451. Murphy D.W. (2000). Soluble nitrogen in agricultural soils. *Biology Fertilizers' Soils*, 30, 374-387.

452. Nafziger E.D., Sawyer J.E., Hoefft R.G. (2004). Formulating recommendations for corn in the corn belt using recent data. North Carolina. Potash and phosphate Inst. Brookings, South Dakota. *Soil fertility conference*, 27-30.

453. Nyle C. B., Ray R.W. (2002). The nature and properties of soils. New Jersey: Upper Saddle River, 960.

454. Olsen S.R., Khasawneh F.E. (1980). Use and limitation of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soil. *The role phosphorus in agriculture*. Madison, 328.

455. Power J.F. (1981). Nitrogen in the cultivated ecosystems. *Ecological Bulletin*, 33, 529-546.

456. Rahman M.Z., Islam M.R., Karim M.A., Islam M.T. (2014). Response of wheat to foliar application of urea fertilizer. *Journal of Sylhet Agricultural University*, 1(1), 39-43.

457. Rasmussen I.S., Dresboll D.B., Thorup-Kristensen K. (2015). Winter wheat cultivars and nitrogen (N) fertilization-Effects on root growth, N uptake efficiency and N use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 68, 38-49. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.04.003>

458. Raven K.P., Hossner L.R. (1993). Phosphorus desorption quantity-intensity relationship in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 57, 1501-1508.

459. Reichel R., Wei J., Islam M. S., Schmid C., Wissel H., Schröder P., Schloter M., Brüggemann N. (2018). Potential of wheat straw, spruce sawdust, and lignin as high organic carbon soil amendments to improve agricultural nitrogen retention capacity: an incubation study. *Frontiers in Plant Science*, 9, Article 900. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00900>

460. Roberts T.L. (2007). The foundation of best management practices for fertilizer. International fertilizer association international workshop on fertilizer best management practices. Brussels, Belgium. (7-9 March), 29-32.

461. Ross G.J., Cline R.A., Gamble D.S. (1989). Potassium exchange and fixation in some southern Ontario soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 69, 649-661.

462. Schwab A.P., Ransom M.D., Owensby C.E. (1989). Exchange properties of an Agriustoll: Long-term effects of fertilization. *Soil Science South America Journal*, 53, 1412-1417.

463. Schütz L., Gattinger A., Meier M., Muller A., Boller T., Mäder P. (2018). Improving crop yield and nutrient use efficiency via biofertilization – a global meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 2204.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02204>

464. Sharpley A.N. (1990). Reaction of fertilizer potassium in soils of differing mineralogy. *Soil Science*, 49, 44-51.

465. Sims A.L., Smith L.J. (2003). Broadcast applications of phosphorus fertilizer in low phosphorus testing soil. *Proceedings of the first Joint IIRB-ASSBT Congress*, 1-3.

466. Singh V., Srivastava A., Singh R. K., Savita U. S. (2011). Effect of tillage practices and residue management on soil quality and crop yield under maize (*Zea mays*)-based cropping system in *Mollisol*. *Indian Journal of Agricultural Science*, 81(11), 1019-1025.

467. Staugaitis G., Aleknavičienė L., Brazienė Z., Marcinkevičius A., Paltanavičius V. (2017). The Influence of foliar fertilization with nitrogen, sulphur, amino acids and microelements on spring wheat. *Zemdirbyste Agriculture*, 104(2), 123-130. <https://doi.org/10.13080/z-a.2017.104.016>

468. Stepień A., Wojtkowiak K. (2019). Evaluation of the effect of different levels of nitrogen and manganese fertiliser on the yield, macronutrient content and technological properties of winter wheat. *Journal of Elementology*, 24(2), 661-675.

<https://doi.org/10.5601/jelem.2018.23.4.1706>

469. Sui Y., Thompson M.L. (2000). Phosphorus sorption, desorption and buffering capacity in a bio-solids-amended *Mollisol*. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 164-169.

470. Torbert H., Johnson H. (2001). Soil of intensive agricultural biome of Boisphere. *Journal Soil Water Conservation*, 56, 4-11.

471. Tsialtas J.T., Maslaris N. (2005). Effect of N fertilization rate on sugar yield and non-sugar impurities of sugar beets (*Beta vulgaris*) grown under Mediterranean conditions. *Journal Agronomy Crop Science*, 191, 330-339.

472. Tsyuk O.A., Kyrylyuk V.I. (2016). Effect of cropping systems on the biological activity of typical chernozem in the forest of Ukraine. *Mikrobiologichnyi Zhurnal*, 78(4), 102-108.

473. Verma G., Sharma R.P., Sharma S.P., Subehia S.K., Shambhavi S. (2012). Changes in soil fertility status of maize-wheat system due to long-term use of chemical fertilizers and amendments in an alfisol. *Plant, Soil and Environment*, 58, 529-533.

474. Voloshchuk I.S., Voloshchuk O.P., Konyk H.S., Hlyva V.V., Vorobiova Yu.V., Hereshko H.S., Sluchak O.M. (2022). Efficiency of growing basic seeds of soft winter wheat under various agrotechnological measures. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*, 72(1), 21-38. [https://doi.org/10.32636/01308521.2022-\(71\)-2-2](https://doi.org/10.32636/01308521.2022-(71)-2-2)

475. Wang J.Y., Xiong Y.C., Li F.M., Siddique K.H.M., Turner N.C. (2017). Effects of drought stress on morphophysiological traits, biochemical characteristics, yield, and yield components in different ploidy wheat: A meta-analysis. *Advices in Agronomy*, 143, 139-173.

476. Wagan Z.A., Buriro M., Wagan T.A., Wagan Z.A., Jamro S.A., Memon Q.A., Wagan S.A. (2017). Effect of foliar applied urea on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Bioorganic Chemistry*, 2(4), 185-191.

<https://doi.org/10.11648/j.ijbc.20170204.15>

477. Walsh O.S., Shafian S., Christiaens R.J. (2018). Nitrogen Fertilizer Management in Dryland Wheat Cropping Systems. *Plants (Basel)*, 7(1), 9-14. <https://doi.org/10.3390/plants7010009>

478. Wilbois K.P., Schmidt J.E. (2019). Reframing the Debate Surrounding the Yield Gap between Organic and Conventional Farming. *Agronomy*, 9(2), 82-96. <https://doi.org/10.3390/agronomy9020082>

479. Wilson W. S., Moore K. L., Rochford A. D., Vaidyanathan L. V. (2009). Fertilizer nitrogen addition to winter wheat crops in England: comparison of farm practices with recommendations allowing for soil nitrogen supply. *The Journal of Agricultural Science*, 127, 11-22.

480. Wojtkowiak K., Stepień A., Pietrzak-Fiecko R., Warechowska M. (2018). Effects of nitrogen fertilisation on the yield, micronutrient content and fatty acid profiles of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Journal of Elementology*, 23(2), 483-495.

<https://doi.org/10.5601/jelem.2017.22.3.1524>

481. Xu L., Islam F., Ali B. (2017). Silicon and water-deficit stress differentially modulate physiology and ultrastructure in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Biotech*, 7, Article 273. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0904-5>

482. Yi Q., He P., Zhang X.Z., Yang L., Xiong G.Y. (2015). Optimizing fertilizer nitrogen for winter wheat production in Yangtze river region in China. *Journal of Plant Nutrition*, 38, 1639-1655.

<https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1061547>

483. Zuck R. (2018). Haberland Mikronährstoffe effizient nutzen!. *Zuckerrübe*, 2, 31-35.

Наукове видання

**Вадим ІВАНІНА, Роман ІВАНІНА, Тетяна ПРОКОП'ЮК, Ілля
КОРОТЕНКО, Максим ДАНИЮК, Роман ШАПОВАЛЕНКО, Вікторія
ГУРСЬКА, Оксана ТАБАЧУК**

**СТАЛЕ ВИРОЩУВАННЯ КУЛЬТУР У СІВОЗМІНАХ:
від основ до сучасності**

Монографія

Підписано до друку 16.03.2026.
Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Друк цифровий.

Друк.арк. 22.7. Ум. друк. арк. 21,4. Обл.-вид. арк. 21,34.
Наклад 300 прим. Зам № 1673/1.

Відруковано ФОП Корзун Д.Ю. з оригіналів замовника.
Свідоцтво про державного реєстрацію фізичної особи-підприємця
серія ВО2 № 818191 від 31.07.2002 р.

Видавець та виготовлювач ТОВ «НЛІН-ЛТД»
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції серія ДК № 4299 від 11.04.2012 р.
21034, м. Вінниця, вул. Немирівське шосе, 62а.
Тел. 0 (800) 33-00-90, (096) 97-30-934, (093) 89-13-852, (098) 46-98-043
e-mail. info@tvoru.com.ua
<http://www.tvoru.com.ua>