

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ІНСТИТУТ ЗЕМЛЕРОБСТВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ
АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ»**

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

САВЧЕНКО СЕРГІЙ ДМИТРОВИЧ

УДК: 631.147:631.582:631.811:631.445.4

ДИСЕРТАЦІЯ

**АГРОБІОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ КОРОТКОРОТАЦІЙНОЇ
СІВОЗМІНИ НА ЧОРНОЗЕМІ ТИПОВОМУ ЛІВОБЕРЕЖНОГО
ЛІСОСТЕПУ ЗА ОРГАНІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА**

201 – Агрономія

20 Аграрні науки та продовольство

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, наукових результатів і цитат супроводжується належними посиланнями на їх авторів та джерела опублікування.

_____ С. Д. Савченко

Науковий керівник – **ЦИМБАЛ Ярослав Станіславович**,
кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник

Чабани – 2026

АНОТАЦІЯ

Савченко С. Д. Агробіологічна ефективність короткоротаційної сівозміни на чорноземі типовому Лівобережного Лісостепу за органічного землеробства. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 «Агрономія» галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство». Національний науковий центр «Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України», Чабани, 2026.

У дисертаційній роботі теоретично узагальнено та експериментально обґрунтовано наукові засади підвищення агробіологічної ефективності короткоротаційної сівозміни: соя – пшениця яра – гречка за органічного землеробства на чорноземі типовому малогумусному в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України. Встановлено закономірності впливу побічної продукції попередника, сидеральної маси гірчиці білої, біодобрива та їх комплексного застосування на водний і поживний режими ґрунту, гумусний стан, біологічну активність, уміст мікроелементів і важких металів, фітосанітарний стан агроценозів, формування структурних показників урожаю, врожайність і якість продукції досліджуваних культур. Визначено продуктивну, економічну та енергетичну ефективність різних систем органічного удобрення й доведено, що комплексне поєднання побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива забезпечує найповнішу реалізацію продуктивного потенціалу культур, поліпшення показників родючості чорнозему, зниження забур'яненості посівів і підвищення сукупної продуктивності сівозміни. На основі одержаних результатів удосконалено систему удобрення культур короткоротаційної органічної сівозміни та обґрунтовано доцільність її впровадження як природо- і ресурсозберігаючого технологічного заходу, спрямованого на одержання високоякісної рослинницької продукції за належного рівня економічної й енергетичної ефективності виробництва.

Погодні умови 2023–2025 рр. характеризувалися підвищеним температурним фоном і значною нерівномірністю атмосферного зволоження. Середня температура вегетаційних періодів перевищувала багаторічні значення на 1,9–3,7 °С. Найбільш контрастним за розподілом тепла й опадів був 2024 р., що зумовило культурно специфічну реакцію посівів, особливо сої. Водночас стали переваги комплексної системи удобрення за різних умов років дали змогу оцінити не лише її продуктивний ефект, а й адаптивну здатність.

Установлено, що на початку вегетації запаси продуктивної вологи були достатніми для одержання дружних сходів і становили 29,7–41,9 мм у шарі ґрунту 0–20 см, 69,4–79,8 мм – у шарі 0–50 см та 135,7–167,4 мм – у метровому горизонті. Найбільші початкові запаси переважно формувалися на контролі, що пояснювалося менш інтенсивним початковим ростом рослин і нижчим використанням вологи. На час збирання комплексна система забезпечувала найбільші залишкові запаси у шарі 0–100 см – 46,4–60,7 мм або на 13–25 % більше порівняно з контролем. Загальні витрати вологи становили 307,6–329,1 мм у сої, 314,9–331,3 мм у пшениці ярої та 325,3–343,5 мм у гречки. Найважливішою закономірністю було випереджальне зростання врожаю сухої речовини порівняно із водоспоживанням: за комплексного удобрення витрати вологи на формування 1 т абсолютно сухої речовини зменшувалися до 643,5 м³/т у сої, 375,4 м³/т у пшениці ярої та 708,7 м³/т у гречки, що на 33,9–36,2 % менше від контролю.

Оптимізація водного режиму поєднувалася з поліпшенням азотного живлення. На час сівби у шарі 0–20 см вміст нітратного азоту в середньому по сівозміні становив 40,2–51,2 мг/кг і був максимальним за комплексного удобрення, перевищуючи контроль на 10,9 мг/кг або 27 %. Наприкінці вегетації вміст нітратів закономірно знижувався внаслідок засвоєння рослинами до 25,2 мг/кг у шарі 0–20 см, 16,2 мг/кг у 20–40 см і 11,8 мг/кг у 40–60 см. Забезпеченість рухомими сполуками фосфору залишалася високою: на час збирання середній уміст становив 288,1 мг/кг у шарі 0–20 см і 259,4 мг/кг у шарі 20–40 см, а найвищий показник у верхньому горизонті сформувався під гречкою – 308,3

мг/кг. Уміст рухомого калію на початку вегетації становив 223,8–274,2 мг/кг у шарі 0–20 см і 128,8–162,9 мг/кг у шарі 20–40 см, а наприкінці – відповідно 201,9 та 128,2 мг/кг. Зменшення залишкового вмісту фосфору й калію за інтенсивніших систем удобрення розглядалося як наслідок активнішого включення елементів у продукційний процес і біологічний колообіг.

Поліпшення водного та поживного режимів сприяло збільшенню обсягів органічної біомаси, що поверталася у ґрунт. За комплексної системи врожайність побічної продукції становила 2,94 т/га у сої, 4,60 т/га у пшениці ярої та 2,89 т/га у гречки, перевищуючи контроль відповідно на 41,3; 49,8 і 45,2 %. Урожайність зеленої маси гірчиці білої найбільшою була після пшениці ярої – 11,59 т/га без біодобрива та 12,27 т/га за його застосування. Після сої одержано 5,97–6,33 т/га, після гречки – 6,12–6,53 т/га. Додаткове внесення біодобрива збільшувало вихід сидеральної маси на 5,9–6,7 %, а перевага пшениці ярої як попередника була пов'язана з раннім звільненням поля та тривалішим періодом вегетації післяжнивної гірчиці.

Системи удобрення істотно впливали на гумусний стан і біологічну активність ґрунту. За комплексного варіанта вміст гумусу підвищувався до 3,25 % у шарі 0–20 см і 2,78 % у шарі ґрунту 20–40 см, що на 0,13 % перевищувало контроль. Запаси гумусу досягали відповідно 78,3 і 69,1 т/га та збільшувалися на 3,1 т/га або 4,1–4,7 %. Найвищі середні показники гумусного стану сформувалися під пшеницею ярою – 3,24 і 2,80 % або 77,66 і 69,96 т/га. Целюлозоруйнівна активність ґрунту за комплексного удобрення становила 23,6 %, що майже на 25 % перевищувало контроль. Найвищий середній рівень біологічної активності встановлено під соєю, а найбільшу реакцію на органічне удобрення – під пшеницею ярою, де інтенсивність розкладання лляної тканини зростала на 37,9 %.

Уміст лужногідролізного азоту змінювався в межах 111,8–135,7 мг/кг у шарі 0–20 см і 88,1–104,7 мг/кг у шарі ґрунту 20–40 см. Максимальні значення одержано під гречкою за комплексного удобрення – 135,7 і 104,7 мг/кг. Реакція ґрунтового розчину залишалася слабокислою або близькою до нейтральної: рН

становив 6,0–6,2 в орному та 5,7–6,0 у підорному шарах ґрунту, що свідчить про високу буферність чорнозему та відсутність негативного підкислення. Органічні системи підтримували оптимальний мікроелементний режим: вміст рухомої міді становив 0,11–0,15 мг/кг, цинку – 0,39–0,69, марганцю – 6,12–11,50, заліза – 1,47–2,09 мг/кг. Концентрації свинцю, нікелю й кадмію не перевищували відповідно 17, 21 і 19 % допустимих рівнів, що підтвердило екологічну безпечність досліджуваних систем.

Фітосанітарний стан агроценозів закономірно поліпшувався зі зростанням рівня біологізації удобрення. У фазі повних сходів кількість бур'янів на контролі становила 201 шт./м² у сої, 196 шт./м² у пшениці ярої та 114 шт./м² у гречки. Комплексна система знижувала їх чисельність до 106, 103 і 60 шт./м² або на 47,3–47,4 %. Перед збиранням кількість бур'янів становила відповідно 61, 38 і 18 шт./м² та була меншою за контроль на 48,3; 50,6 і 59,1 %. Суха маса сегетальної рослинності зменшувалася на 50,4–56,3 %. Найвищу конкурентоспроможність виявляла гречка, посіви якої характеризувалися найменшими чисельністю та біомасою бур'янів.

Комплексне органічне удобрення забезпечило найповнішу реалізацію морфобіологічного потенціалу культур. Порівняно з контролем висота рослин збільшувалася на 11,1–17,3 %, кількість продуктивних стебел – на 13,7–19,7 %, загальна маса рослин – на 30,8–50,8 %, маса коренів – на 31,9–41,0 %, а кількість непродуктивних стебел зменшувалася на 55,6–71,4 %. Зернова маса досягала 183,7 г/м² у сої, 376,0 г/м² у пшениці ярої та 170,1 г/м² у гречки і перевищувала контроль на 41,4–46,8 %. Маса 1000 зерен підвищувалася до 187,5; 39,8 і 27,6 г відповідно. Позитивний ефект удобрення реалізувався не лише через наростання загальної біомаси, а й через оптимізацію продуктивного стеблостою, розвиток кореневої системи та посилення перерозподілу асимілятів на формування зерна.

Урожайність основної продукції всіх культур зростала зі збільшенням рівня біологізації. У середньому за 2023–2025 рр. комплексне удобрення забезпечувало 1,84 т/га насіння сої, що на 0,54 т/га або 41,5 % більше контролю, 3,83 т/га зерна пшениці ярої за приросту 1,27 т/га або 49,6 %, 1,70 т/га зерна

гречки, що на 0,53 т/га або 45,3 % перевищувало контроль. Найвищі рівні врожайності сформувалися у 2025 р. – 2,16 т/га сої, 4,85 т/га пшениці ярої та 1,86 т/га гречки за комплексного удобрення. Водночас найбільша відносна компенсаційна дія системи проявилася у 2024 р. в посівах сої, де приріст до контролю становив 67,0 %. Це засвідчує здатність комплексного удобрення зменшувати негативний вплив несприятливих погодних умов.

Якісні показники продукції мали культурно специфічний характер. За комплексної системи в насінні сої вміст білка досягав 32,40 %, клітковини – 6,90 %, що перевищувало контроль відповідно на 0,82 і 0,20 %. Максимальний вміст жиру в сої – 19,04 % – формувалася за поєднання побічної продукції з біодобривом. У зерні пшениці ярої комплексне удобрення забезпечувало 11,96 % білка, 25,87 % клейковини та 1,95 % жиру. У гречки найбільший вміст білка – 12,61 % – одержано за застосування біодобрива, а жиру – 3,02 % – за комплексної системи. Отримані результати свідчать, що органічне удобрення забезпечувало не лише підвищення врожайності, а й збалансоване поліпшення харчової та технологічної цінності продукції.

Інтегральна продуктивність короткоротаційної сівозміни була найвищою за комплексного поєднання органічних компонентів. У середньому з 1 га сівозмінної площі одержано 2,80 т кормових одиниць, 3,17 т зернових одиниць і 0,34 т перетравного протеїну, що перевищувало контроль на 46,6; 45,4 і 41,7 %. Найбільший збір кормових і зернових одиниць забезпечувала пшениця яра – 4,68 і 3,83 т/га, тоді як соя визначала білкову повноцінність сівозміни та формувала 0,53 т/га перетравного протеїну. Виявлена закономірність підтверджує функціональну взаємодоповнюваність культур у трипільній сівозміні.

Економічна оцінка показала розмежування між системою, що максимізує абсолютний прибуток, і системою з найвищою окупністю витрат. Комплексне удобрення забезпечувало в середньому по сівозміні вартість валової продукції 63050 грн/га та умовно чистий прибуток 40376 грн/га, що на 45,4 і 47,7 % більше контролю за рівня рентабельності 182 %. Водночас, поєднання побічної продукції з біодобривом формувало мінімальну собівартість 9253 грн/т і

максимальну рентабельність 214 % за умовно чистого прибутку 37167 грн/га. Серед культур найвищу економічну віддачу мала гречка: рентабельність досягала 315 % за побічної продукції з біодобривом, а умовно чистий прибуток – 55891 грн/га за комплексного удобрення.

Біоенергетична оцінка підтвердила, що приріст енергії врожаю випереджав додаткові енерговитрати. За комплексної системи енергомісткість урожаю в середньому по сівозміні становила 41550 МДж/га, що на 46,4 % перевищувало контроль, тоді як сумарні енерговитрати збільшувалися лише на 16,7 % – до 12041 МДж/га. Коефіцієнт енергетичної ефективності зростав із 2,71 до 3,42, а чистий енергетичний ефект – із 18069 до 29509 МДж/га. Найвищу енергетичну віддачу забезпечувала пшениця яра: енергомісткість урожаю досягала 63010 МДж/га, чистий енергетичний ефект – 50457 МДж/га, коефіцієнт енергетичної ефективності – 5,02.

Практичне значення роботи полягає в обґрунтуванні системи органічного удобрення, що передбачає повернення побічної продукції попередника, заорювання сидеральної маси гірчиці білої та позакореневе внесення біодобрива. Її застосування забезпечує поліпшення водного, гумусного і поживного режимів чорнозему, зниження забур'яненості, підвищення врожайності та якості продукції, зростання продуктивності 1 га сівозмінної площі на 41,7–46,6 %, одержання умовно чистого прибутку понад 40 тис. грн/га за рентабельності 182 % та коефіцієнта енергетичної ефективності 3,42.

Розробку впроваджено у 2024–2025 рр. на сертифікованому полі Сквирської дослідної станції органічного виробництва на площі 15 га та у ТОВ «Лист-Ручки» Полтавської області на площі 45 га. Результати виробничої перевірки підтвердили агрономічну й економічну доцільність розробленої системи та перспективність її трансферу в органічні господарства Лісостепу України.

Ключові слова: біодобриво, гумус, економічна та енергетична ефективність, органічне землеробство, побічна продукція, поживні елементи,

продуктивна волога, продуктивність, рентабельність, родючість ґрунту, сидерат, система удобрення, сівозмінна, урожайність, якість зерна та насіння.

ABSTRACT

Savchenko S. D. Agrobiological efficiency of a short-rotation crop rotation on typical chernozem in the Left-Bank Forest-Steppe under organic farming. – A qualifying scientific work submitted as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in Specialty 201 Agronomy, Field of Knowledge 20 Agricultural Sciences and Food. National Scientific Centre “Institute of Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine”, Chabany, 2026.

The dissertation provides a theoretical synthesis and experimental substantiation of the scientific principles for improving the agrobiological efficiency of the short-rotation crop rotation soybean – spring wheat – buckwheat under organic farming on low-humus typical chernozem in the unstable-moisture conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The effects of preceding-crop residues, white mustard green-manure biomass, the biofertilizer, and their combined application on the soil water and nutrient regimes, humus status, biological activity, micronutrient and heavy-metal contents, the phytosanitary status of agroecosystems, the formation of yield components, crop yield, and product quality were elucidated. The productive, economic, and energy efficiencies of different organic fertilization systems were determined. The combined use of preceding-crop residues, green manure, and biofertilizer was shown to ensure the fullest realization of crop productive potential, improve chernozem fertility indicators, reduce weed infestation, and increase the overall productivity of the crop rotation. Based on the results obtained, the fertilization system for crops in a short-rotation organic crop rotation was improved, and its implementation was substantiated as an environmentally sound and resource-efficient technological measure aimed at producing high-quality crop products while maintaining appropriate economic and energy efficiency.

The weather conditions in 2023–2025 were characterized by an elevated temperature regime and a highly uneven distribution of precipitation. Mean temperatures during the growing seasons exceeded the long-term averages by 1.9–3.7 °C. The greatest contrast in heat and rainfall distribution occurred in 2024, resulting in crop-specific responses, particularly in soybean. At the same time, the consistent advantages of the integrated fertilization system under contrasting annual conditions made it possible to assess not only its productive effect but also its adaptive capacity.

At the beginning of crop growth, plant-available soil water stocks were sufficient for uniform seedling emergence and ranged from 29.7 to 41.9 mm in the 0–20 cm soil layer, from 69.4 to 79.8 mm in the 0–50 cm layer, and from 135.7 to 167.4 mm in the 0–100 cm profile. The largest initial stocks were generally recorded in the control, which was attributable to less intensive early plant growth and lower water use. At harvest, the integrated system maintained the largest residual water stocks in the 0–100 cm layer, at 46.4–60.7 mm, which was 13–25% higher than in the control. Total water consumption ranged from 307.6 to 329.1 mm for soybean, from 314.9 to 331.3 mm for spring wheat, and from 325.3 to 343.5 mm for buckwheat. The principal relationship was that dry-matter yield increased more rapidly than water use: under integrated fertilization, water consumption per 1 t of oven-dry matter decreased to 643.5 m³/t for soybean, 375.4 m³/t for spring wheat, and 708.7 m³/t for buckwheat, which was 33.9–36.2% lower than in the control.

Optimization of the soil water regime was accompanied by improved nitrogen nutrition. At sowing, the mean nitrate-nitrogen content across the crop rotation in the 0–20 cm layer ranged from 40.2 to 51.2 mg/kg and was highest under integrated fertilization, exceeding the control by 10.9 mg/kg, or 27%. By the end of the growing season, nitrate content predictably declined as a result of plant uptake, to 25.2 mg/kg in the 0–20 cm layer, 16.2 mg/kg in the 20–40 cm layer, and 11.8 mg/kg in the 40–60 cm layer. The soil remained well supplied with mobile phosphorus compounds: at harvest, their mean content was 288.1 mg/kg in the 0–20 cm layer and 259.4 mg/kg in the 20–40 cm layer, while the highest value in the upper horizon, 308.3 mg/kg, was recorded under buckwheat. At the beginning of the growing season, mobile potassium

content ranged from 223.8 to 274.2 mg/kg in the 0–20 cm layer and from 128.8 to 162.9 mg/kg in the 20–40 cm layer; by the end of the season, the respective values were 201.9 and 128.2 mg/kg. Lower residual phosphorus and potassium contents under the more intensive fertilization systems were interpreted as a consequence of their more active incorporation into crop production and biological cycling.

Improvement of the soil water and nutrient regimes increased the amount of organic biomass returned to the soil. Under the integrated system, crop by-product yields were 2.94 t/ha for soybean, 4.60 t/ha for spring wheat, and 2.89 t/ha for buckwheat, exceeding the control by 41.3, 49.8, and 45.2%, respectively. White mustard fresh biomass yield was highest after spring wheat, reaching 11.59 t/ha without biofertilizer and 12.27 t/ha with its application. The respective ranges were 5.97–6.33 t/ha after soybean and 6.12–6.53 t/ha after buckwheat. Additional biofertilizer application increased green-manure biomass yield by 5.9–6.7%, while the advantage of spring wheat as a preceding crop was associated with earlier field release and a longer growing period for the post-harvest mustard crop.

The fertilization systems significantly affected soil humus status and biological activity. Under the integrated treatment, humus content increased to 3.25% in the 0–20 cm layer and 2.78% in the 20–40 cm layer, which was 0.13 percentage points above the control. Humus stocks reached 78.3 and 69.1 t/ha, respectively, increasing by 3.1 t/ha, or 4.1–4.7%. The highest mean humus-status indicators were recorded under spring wheat, at 3.24 and 2.80%, equivalent to 77.66 and 69.96 t/ha. Soil cellulolytic activity under integrated fertilization reached 23.6%, almost 25% above the control. The highest mean biological activity was found under soybean, whereas the strongest response to organic fertilization occurred under spring wheat, where the rate of linen-cloth decomposition increased by 37.9%.

The content of alkali-hydrolysable nitrogen ranged from 111.8 to 135.7 mg/kg in the 0–20 cm layer and from 88.1 to 104.7 mg/kg in the 20–40 cm layer. The maximum values, 135.7 and 104.7 mg/kg, were recorded under buckwheat with integrated fertilization. Soil reaction remained slightly acidic to nearly neutral: pH values were 6.0–6.2 in the plough layer and 5.7–6.0 in the subsoil layer, indicating the

high buffering capacity of typical chernozem and the absence of adverse acidification. The organic systems maintained a favourable micronutrient regime: mobile copper content ranged from 0.11 to 0.15 mg/kg, zinc from 0.39 to 0.69 mg/kg, manganese from 6.12 to 11.50 mg/kg, and iron from 1.47 to 2.09 mg/kg. Lead, nickel, and cadmium concentrations did not exceed 17, 21, and 19% of their permissible levels, respectively, confirming the environmental safety of the fertilization systems studied.

The phytosanitary status of the agrocenoses improved consistently as the degree of biological integration of fertilization increased. At full crop emergence, weed density in the control was 201 plants/m² in soybean, 196 plants/m² in spring wheat, and 114 plants/m² in buckwheat. The integrated system reduced weed density to 106, 103, and 60 plants/m², respectively, or by 47.3–47.4%. Before harvest, weed densities were 61, 38, and 18 plants/m², respectively, representing reductions of 48.3, 50.6, and 59.1% relative to the control. Dry weed biomass decreased by 50.4–56.3%. Buckwheat exhibited the greatest competitive ability, with the lowest weed density and biomass.

Integrated organic fertilization ensured the fullest expression of the morphobiological potential of the crops. Relative to the control, plant height increased by 11.1–17.3%, the number of productive stems by 13.7–19.7%, total plant biomass by 30.8–50.8%, and root biomass by 31.9–41.0%, whereas the number of non-productive stems decreased by 55.6–71.4%. Grain or seed mass per unit area reached 183.7 g/m² for soybean, 376.0 g/m² for spring wheat, and 170.1 g/m² for buckwheat, exceeding the control by 41.4–46.8%. The 1,000-grain or seed weight increased to 187.5, 39.8, and 27.6 g, respectively. Thus, the positive fertilization effect was expressed not only through greater total biomass accumulation but also through optimization of the productive stand, enhanced root-system development, and more efficient partitioning of assimilates to grain formation.

The yield of the main product of all crops increased with the degree of biological integration of the fertilization system. Averaged over 2023–2025, integrated fertilization produced 1.84 t/ha of soybean seed, which was 0.54 t/ha, or 41.5%, above the control; 3.83 t/ha of spring wheat grain, an increase of 1.27 t/ha, or 49.6%; and 1.70 t/ha of buckwheat grain, which exceeded the control by 0.53 t/ha, or 45.3%. The

highest yields were obtained in 2025 under integrated fertilization: 2.16 t/ha for soybean, 4.85 t/ha for spring wheat, and 1.86 t/ha for buckwheat. The greatest relative buffering effect of the system was observed in soybean in 2024, when the increase over the control reached 67.0%. This demonstrates the capacity of integrated fertilization to mitigate the adverse effects of unfavourable weather conditions.

Product-quality responses were crop-specific. Under the integrated system, protein content in soybean seed reached 32.40% and fibre content 6.90%, exceeding the control by 0.82 and 0.20 percentage points, respectively. The highest soybean oil content, 19.04%, was obtained when preceding-crop residues were combined with the biofertilizer. In spring wheat grain, integrated fertilization provided 11.96% protein, 25.87% gluten, and 1.95% fat. In buckwheat grain, the highest protein content, 12.61%, was obtained with biofertilizer application, whereas the highest fat content, 3.02%, was recorded under the integrated system. These results indicate that organic fertilization not only increased yield but also provided a balanced improvement in the nutritional and technological value of the products.

The integrated productivity of the short-rotation crop rotation was highest when all organic components were combined. Per hectare of crop-rotation area, the mean outputs were 2.80 t of feed units, 3.17 t of grain units, and 0.34 t of digestible protein, exceeding the control by 46.6, 45.4, and 41.7%, respectively. Spring wheat provided the largest outputs of feed and grain units, at 4.68 and 3.83 t/ha, whereas soybean determined the protein value of the rotation and produced 0.53 t/ha of digestible protein. This relationship confirms the functional complementarity of the crops in the three-field rotation.

The economic assessment differentiated between the system that maximized absolute profit and the system that achieved the highest return on input costs. Averaged across the crop rotation, integrated fertilization generated a gross output value of UAH 63,050/ha and a conditional net profit of UAH 40,376/ha, which were 45.4 and 47.7% higher than in the control, respectively, at a profitability level of 182%. By contrast, combining preceding-crop residues with the biofertilizer resulted in the lowest production cost, UAH 9,253/t, and the highest profitability, 214%, with a conditional

net profit of UAH 37,167/ha. Among the crops, buckwheat provided the highest economic return: profitability reached 315% when crop residues were combined with the biofertilizer, while conditional net profit reached UAH 55,891/ha under integrated fertilization.

The bioenergy assessment confirmed that the increase in harvested energy exceeded the additional energy inputs. Under the integrated system, the mean energy content of the yield across the crop rotation was 41,550 MJ/ha, which was 46.4% higher than in the control, whereas total energy inputs increased by only 16.7%, to 12,041 MJ/ha. The energy-efficiency coefficient increased from 2.71 to 3.42, and the net energy gain increased from 18,069 to 29,509 MJ/ha. Spring wheat provided the greatest energy return: yield energy content reached 63,010 MJ/ha, net energy gain 50,457 MJ/ha, and the energy-efficiency coefficient 5.02.

The practical significance of the study lies in substantiating an organic fertilization system that involves returning preceding-crop residues to the soil, incorporating white mustard green-manure biomass, and applying the biofertilizer foliarly. Its use improves the water, humus, and nutrient regimes of typical chernozem, reduces weed infestation, increases crop yield and product quality, raises the productivity of 1 ha of crop-rotation area by 41.7–46.6%, and provides a conditional net profit exceeding UAH 40,000/ha at a profitability level of 182% and an energy-efficiency coefficient of 3.42.

The developed system was implemented in 2024–2025 on a 15 ha certified field at the Skvyra Experimental Station of Organic Production and on 45 ha at Lyst-Ruchky LLC in Poltava Oblast. On-farm validation confirmed the agronomic and economic feasibility of the system and its potential for transfer to organic farms in the Forest-Steppe zone of Ukraine.

Keywords: *biofertilizer, humus, economic and energy efficiency, organic farming, crop by-products, nutrients, plant-available soil water, productivity, profitability, soil fertility, green manure, fertilization system, crop rotation, yield, grain and seed quality.*

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. **Savchenko S. D.** Efficiency of spring wheat cultivation in short-rotation organic crop rotation under Left-Bank Forest-Steppe conditions. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2024. Вип. 2 (12). С. 20–24. DOI: 10.54651/agri.2024.02.03 (Здобувач провів польові дослідження, отримав експериментальні дані, підготував статтю до друку).

2. Мартинюк І. В., Цимбал Я. С., **Савченко С. Д.**, Савченко Є. Д. Ефективність вирощування круп'яних культур у короткоротаційних органічних сівоzmінах Лівобережного Лісостепу України. *Вісник аграрної науки*. 2024. № 11. С. 5–10. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202411-01> (Здобувач проаналізував первинний матеріал, брав участь у написанні статті).

3. **Савченко С. Д.** Вплив органічних систем удобрення на агрохімічний стан чорнозему типового малогумусного в короткоротаційній органічній сівоzmіні Лівобережного Лісостепу України. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2026. Вип. 2 (20). С. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2026.02.03> (Здобувач провів польові дослідження, отримав експериментальні дані, підготував статтю до друку).

4. **Савченко С. Д.** Вплив культур короткоротаційної сівоzmіни та органічного удобрення на динаміку продуктивної вологи в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2026. № 6. С. 70–77. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202606-08> (Здобувач провів польові дослідження, отримав експериментальні дані, підготував статтю до друку).

Тези доповідей і матеріали конференцій:

1. Цимбал Я. С., **Савченко С. Д.** Сівоzmіна, як елемент біологізації землеробства. *Матеріали Міжнародної наукової конференції «Зернова галузь – проблеми та перспективи технологічного забезпечення» з нагоди 100-річчя від дня народження доктора с.-г. наук, професора, академіка НААН В. С. Цикова* (Дніпро, 12–13 жовтня 2023 р.). Дніпро: ДУ ІЗК НААН, 2023. С. 94–96.

<https://institut-zerna.com/library/repositariy/docs/materialy-konf/problemi-ta-perspektivi-tehnologichnogo-zabezpechennya-do-100-richchya.pdf>

2. **Савченко С. Д.** Ефективність вирощування гречки за органічного землеробства в Лівобережному Лісостепу. *Інноваційні напрями розвитку технологій управління землями сільськогосподарського призначення: теорія та практика: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів* (Чабани, 27 листопада 2023 р.). Чабани: ННЦ «ІЗ НААН», 2023. С. 51–53. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2025/02/innovative-areas-of-development.pdf

3. Цимбал Я. С., **Савченко С. Д.** Розвиток органічних сівозмін у землеробстві України. *Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції: матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції* (Іллінці, 05 листопада 2024 р.). Іллінці, 2024. С. 57–61. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2025/04/5.11.pdf

4. **Савченко С. Д.** Біологічна активність чорнозему типового під культурами органічних сівозмін. *Наукові основи адаптації сучасних систем землеробства в контексті розвитку зеленого курсу: теорія та практика: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів* (Чабани, 16 грудня 2024 р.). Чабани: ННЦ «ІЗ НААН», 2024. С. 7–9. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2026/02/scientific-foundations-of-adaptation-2024.pdf

5. Мартинюк І. В., Цимбал Я. С., **Савченко С. Д.**, Савченко Є. Д. Вирощування сої в короткоротаційній сівозміні за органічного землеробства. *Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції* (Іллінці, 17 червня 2025 р.). Іллінці, 2025. С. 19–22. chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2025/10/konferencia-2025.pdf

6. Цимбал Я. С., Савченко С. Д. Вплив культур короткоротаційної сівозміни та систем органічного удобрення на вміст мікроелементів і важких металів у чорноземі типовому в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Ресурсозберігаючі технології вирощування культурних рослин: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції* (Біла Церква, 04 червня 2026 р.). Біла Церква: БНАУ, 2026. С. 92–95. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/tezy_resurszberig_teh_vik_kul_roslin_04.06.2026.pdf

7. Савченко С. Д. Ефективність застосування систем органічного удобрення на забур'яненість посівів культур короткоротаційної сівозміни в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Ресурсозберігаючі технології вирощування культурних рослин: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції* (Біла Церква, 04 червня 2026 р.). Біла Церква: БНАУ, 2026. С. 71–74. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/tezy_resurszberig_teh_vik_kul_roslin_04.06.2026.pdf

Науково-методичні рекомендації:

1. Мартинюк І. В., Цимбал Я. С., Тарасенко О. А., Якименко Л. П., Бакумова М. В., Савченко С. Д., Савченко Є. Д. Теоретичні основи формування і функціонування короткоротаційних сівозмін за ведення органічного землеробства в умовах Лісостепу України. *Науково-методичні рекомендації*. ННЦ «ІЗ НААН». Вінниця: ТВОРИ. 2025. 56 с. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2026/06/9_a5_teoretychni-osnovy-korotkorotatsijnyh-sivozmin.pdf

Інші видання:

1. Цимбал Я. С., Савченко С. Д. Дотримуючись Зеленого Курсу. *The Ukrainian Farmer*. 2025. № 10 (190). С. 136–137. https://agrotimes.ua/magazine_number/zhurnal-the-ukrainian-farmer-2025-zhovten/

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	19
ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СІВОЗМІН В ОРГАНІЧНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ.....	29
1.1. Історія розвитку та значення органічного землеробства.....	29
1.2. Роль попередників у короткоротаційних сівозмінах.....	34
1.3. Роль удобрення органічного спрямування в короткоротаційних сівозмінах.....	38
1.4. Продуктивність сільськогосподарських культур за оптимального розміщення у короткоротаційних сівозмінах за органічного землеробства.....	44
Висновки до Розділу 1.....	48
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	49
2.1. Особливості території розташування та ґрунтово- кліматична характеристика регіону.....	49
2.2. Агrometeorологічні умови в період проведення досліджень.....	52
2.3. Методика виконання досліджень.....	60
РОЗДІЛ 3. ВОДНИЙ ТА ПОЖИВНИЙ РЕЖИМИ ҐРУНТУ В ОРГАНІЧНІЙ КОРОТКОРОТАЦІЙНІЙ СІВОЗМІНІ....	67
3.1. Параметри формування запасів продуктивної вологи ґрунту в системі короткоротаційної сівозміни.....	68
3.2. Вплив сівозмінного фактору та органічного удобрення на споживання вологи культурами сівозміни.....	79
3.3. Поживний режим ґрунту впродовж вегетації польових культур у системі органічної сівозміни.....	86
3.4. Урожайність побічної продукції та сидеральної маси як джерела органічного удобрення культур сівозміни.....	114
Висновки до Розділу 3.....	126
РОЗДІЛ 4. АГРОХІМІЧНІ, ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА БІОЛОГІЧНА АКТИВНІСТЬ ҐРУНТУ ПІД КУЛЬТУРАМИ ОРГАНІЧНОЇ КОРОТКОРОТАЦІЙНОЇ СІВОЗМІНІ.....	129
4.1. Вплив сівозмінного фактору та органічного удобрення на вміст гумусу під культурами короткоротаційної сівозміни...	129
4.2. Вплив сівозмінного фактору та органічного удобрення на целюлозоруйнівну активність ґрунту під культурами короткоротаційної сівозміни.....	139
4.3. Агрохімічні та фізико-хімічні показники ґрунту залежно від органічного удобрення.....	144

4.4.	Вміст мікроелементів і важких металів у ґрунті залежно від органічного удобрення.....	152
	Висновки до Розділу 4.....	157
РОЗДІЛ 5.	ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СЕГЕТАЛЬНОЇ РОСЛИННОСТІ У ПОСІВАХ КУЛЬТУР КОРОТКОРОТАЦІЙНОЇ СІВОЗМІНИ ЗАЛЕЖНО ВІД ОРГАНІЧНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ.....	160
	Висновки до Розділу 5.....	169
РОЗДІЛ 6.	УРОЖАЙНІСТЬ КУЛЬТУР І ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ У КОРОТКОРОТАЦІЙНІЙ ОРГАНІЧНІЙ СІВОЗМІНІ....	171
6.1.	Структурні показники культур органічної короткоротаційної сівозміни.....	172
6.2.	Урожайність культур короткоротаційної сівозміни залежно від попередників і органічного удобрення.....	180
6.3.	Якість рослинницької продукції в органічній короткоротаційній сівозміні залежно від попередників і систем удобрення.....	185
	Висновки до Розділу 6.....	192
РОЗДІЛ 7.	ПРОДУКТИВНІСТЬ, ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ КОРОТКОРОТАЦІЙНОЇ СІВОЗМІНИ ЗА ОРГАНІЧНОГО ВИРОЩУВАННЯ КУЛЬТУР.....	194
7.1.	Продуктивність короткоротаційної сівозміни залежно від систем органічного удобрення.....	194
7.2.	Економічна ефективність вирощування культур у короткоротаційній органічній сівозміні.....	200
7.3.	Енергетична ефективність короткоротаційної органічної сівозміни.....	205
	Висновки до Розділу 7.....	209
	ВИСНОВКИ.....	211
	РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	217
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	218
	ДОДАТКИ.....	252

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АПК – агропромисловий комплекс

ВМ – важкі метали

ГДж – гігаджоуль

ГДК – гранично-допустимі концентрації

ДР – допустимі рівні

ДСТУ – державний стандарт України

К_е – коефіцієнт енергетичної ефективності

МДж – мегаджоуль

НІР₀₅ – найменша істотна різниця за 5% рівня значимості

ННЦ «ІЗ НААН» – Національний науковий центр «Інститут землеробства
Національної академії аграрних наук України»

ПНД – програма наукових досліджень

П. п. п. – побічна продукція попередника

S – стандартне відхилення

V – коефіцієнт варіації

S_x – середнє значення

ВСТУП

У сучасних умовах одним із пріоритетних завдань аграрного виробництва є забезпечення продовольчої безпеки шляхом отримання високоякісної та безпечної сільськогосподарської продукції за одночасного збереження природно-ресурсного потенціалу й екологічної стійкості агроєкосистем. Реалізація цього завдання передбачає зменшення техногенного навантаження на довкілля, зокрема обмеження використання агрохімічних засобів, що можуть спричиняти деградацію ґрунтів, забруднення водних ресурсів, порушення біологічної рівноваги та накопичення токсичних речовин у компонентах агроландшафтів. Насамперед це стосується надмірного застосування мінеральних добрив, синтетичних засобів захисту рослин і генетично модифікованих організмів, використання яких потребує науково обґрунтованого контролю.

За даними міжнародних досліджень, упродовж другої половини ХХ – початку ХХІ століття істотне зростання врожайності зернових культур було досягнуто переважно за рахунок інтенсифікації землеробства, що супроводжувалося багаторазовим збільшенням застосування мінеральних добрив і засобів хімічного захисту рослин [1, 2]. Поряд із досягненням високого рівня продуктивності аграрного виробництва інтенсифікація землеробства спричинила істотне зростання антропогенного навантаження на агроєкосистеми, що проявляється у виснаженні природно-ресурсного потенціалу, погіршенні агроєкологічного стану ґрунтів і зниженні їх екологічної стійкості.

За таких умов особливої актуальності набуває розроблення та впровадження екологічно орієнтованих систем землеробства, які ґрунтуються на принципах органічного виробництва, біологізації технологій вирощування сільськогосподарських культур, оптимізації систем удобрення та науково обґрунтованого застосування сівозмін як основи відтворення родючості ґрунту й забезпечення сталого розвитку агроєкосистем.

Актуальність теми. Поглиблення економічної кризи та посилення екологічних проблем спонукають агровиробників до переходу на екологічно орієнтовані та ресурсозберігаючі технології, здатних забезпечити рентабельність виробництва. Важливе місце серед агротехнічних заходів, спрямованих на формування високої та якісної продуктивності культур, належить науково обґрунтованим сівозмінам і ефективним системам удобрення. Раціональне чергування культур створює основу для результативного застосування обробітку ґрунту, систем захисту рослин та інших елементів технологій із мінімальними витратами ресурсів. Значення сівозміни в сучасному землеробстві визначається передусім біологічними особливостями польових культур.

Розробленню наукових основ ефективного функціонування сівозмін і вдосконаленню технологічних елементів землеробства для різних ґрунтово-кліматичних зон України присвячено праці П. І. Бойка, В. О. Єщенка, С. С. Рубіна, М. К. Шикולי, М. В. Зубця, С. В. Беґея та інших учених. Ними сформовано теоретичні засади побудови науково обґрунтованих сівозмін, визначено закономірності чергування культур, обґрунтовано системи обробітку ґрунту й удобрення залежно від попередників, досліджено вплив сівозмін на родючість ґрунту, фітосанітарний стан посівів, продуктивність агроценозів та екологічну стійкість землеробства. Отримані результати стали науковою основою для розроблення адаптивних систем землеробства, спрямованих на забезпечення стабільної продуктивності культур і відтворення родючості ґрунтів у різних природно-кліматичних умовах нашої держави [3–11].

Наукові дослідження І. Д. Примака, С. П. Танчика, Д. В. Літвінова, О. А. Цюка, М. В. Войтовика та інших учених істотно розширили сучасні уявлення про закономірності формування ефективних сівозмін. У їхніх роботах удосконалено принципи добору попередників, оптимізації структури посівних площ і чергування культур залежно від агроекологічних умов господарювання. Обґрунтовано, що науково виважена побудова сівозмін є одним із ключових чинників збереження ґрунтової родючості, поліпшення фітосанітарного стану

посівів, підвищення ефективності використання природних ресурсів та формування стабільної продуктивності агроєкосистем [12–15].

Агроєкологічні проблеми спонукають науковців світу до пошуку альтернативних систем землеробства. Особливої актуальності в сучасних умовах трансформації аграрного сектору набуває розвиток органічного виробництва сільськогосподарської продукції, насамперед для дитячого та дієтичного харчування, що відповідає глобальним тенденціям екологізації землеробства, адаптації до кліматичних змін та реалізації цілей Європейського Зеленого курсу [16]. Високорозвинені країни вже кілька десятиліть йдуть шляхом біологізації та екологізації землеробства, тобто застосовують регенеративне, біологічне, біодинамічне, органічне та інші системи землеробства. Органічне сільське господарство, за якого не використовуються синтетичні хімічні добрива й засоби захисту, а всі виробничі процеси забезпечують завершений цикл, дозволяє досягти істотного природо- та ресурсозберігаючого ефектів [17–19].

Попри значний внесок вітчизняних учених у розвиток теорії і практики формування сівозмін, питання ефективного удобрення сільськогосподарських культур в органічних короткоротаційних сівозмінах в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України з метою підвищення продуктивності культур, отримання рослинницької продукції високої якості та збереження родючості ґрунтів залишаються недостатньо дослідженими.

Актуальність і своєчасність проведених досліджень підтверджується їх відповідністю пріоритетним напрямам державної аграрної політики, визначеним Стратегією розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на період до 2030 року, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 листопада 2024 р. № 1163-р, яка передбачає збереження та відтворення родючості ґрунтів, розвиток органічного виробництва, впровадження інноваційних екологічно безпечних технологій, підвищення ефективності використання природних ресурсів і забезпечення сталого розвитку [20].

Отримані наукові положення стануть основою для розробки наукових засад формування сівозмін і систем їх удобрення за органічного землеробства в

умовах Лівобережного Лісостепу, які забезпечать отримання екологічно безпечної рослинницької продукції.

Зв'язок роботи з науковими програмами, проєктами, темами.

Дослідження за темою дисертаційної роботи було складовою частиною досліджень відділу сівозмін і землеробства на меліорованих землях ННЦ «ІЗ НААН» на 2021–2025 рр. в рамках виконання ПНД НААН 02 «Системи землеробства за оптимізації землекористування в агроландшафтах» (*«Системи землеробства і землекористування»*), підпрограми 4 «Системи землеробства для виробництва органічної сільськогосподарської продукції», завдання: 02.04.01.02.Ф. «Теоретично обґрунтувати і розробити короткоротаційні сівозміни за органічного виробництва сільськогосподарської продукції в умовах зміни клімату» (номер державної реєстрації 0121U108825).

Мета і задачі дослідження. *Мета* – визначити агробіологічну ефективність короткоротаційної сівозміни за органічного землеробства та розробити оптимальну систему удобрення культур у такій сівозміні в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України.

Для досягнення поставленої мети передбачалося вирішення таких *завдань*:

1. Визначити вплив різних видів органічного удобрення (побічна продукція попередника, сидерат, біодобриво) та синергетичну дію їх поєднання на динаміку основних показників водного і поживного режимів чорнозему типового у посівах зернових культур в короткоротаційній сівозміні.
2. Встановити особливості впливу органічних добрив і культур сівозміни на гумусний стан і біологічну активність чорнозему.
3. Оцінити вплив різних видів органічного удобрення на ріст і розвиток рослин сої, пшениці ярої та гречки, визначити фітоценотичний вплив сегетальної рослинності на культури органічної сівозміни.
4. Визначити вплив різних видів органічного удобрення на урожайність зернових культур та якість отриманої рослинницької продукції.
5. Встановити рівень продуктивності культур і сівозміни в цілому та дати економічну і енергетичну оцінку ефективності вирощування зернових

культур у сівозмінах короткої ротації при застосуванні різних видів органічних добрив та їх комплексів.

Об'єкт дослідження – процеси зміни родючості чорнозему типового, росту й розвитку сільськогосподарських культур і закономірності формування продуктивності пшениці ярої, гречки і сої у короткоротаційній сівозміні за різних видів органічного удобрення.

Предмет досліджень – ярі зернові культури, короткоротаційна сівозміна, види органічних добрив (побічна продукція попередника, сидерат, біодобриво) та їх комплекси, продуктивність культур і сівозміни в цілому, якість отриманої продукції, агробіологічна, економічна та енергетична ефективність.

Методи дослідження. За проведення досліджень та узагальнення експериментальних даних було використано спеціальні та загальноприйняті методи й методики в агрономії, зокрема: польовий – для виявлення впливу різних видів органічних добрив та їх комплексного застосування на показники родючості ґрунту, його біологічну активність, засміченість посівів бур'янами і їх видовий склад, продуктивність культур короткоротаційної сівозміни; вимірювально-ваговий – для встановлення біометричних показників росту і розвитку рослин, елементів структури врожаю, сухої маси бур'янів та врожайності основної й побічної продукції сільськогосподарських культур сівозміни і сидеральної культури; лабораторний – для визначення вмісту продуктивної вологи, гумусу, елементів живлення рослин (макро- і мікроелементів), важких металів, кислотності ґрунту, а також якісних показників зерна пшениці ярої, гречки і насіння сої; розрахунково-порівняльний – для визначення загальних витрат вологи та водоспоживання рослин, продуктивного, економічного й енергетичного оцінювання ефективності вирощування ярих зернових культур у органічній сівозміні; математично-статистичні: дисперсійний, регресійний і кореляційний – для встановлення достовірності отриманих даних та визначення сили та напрямів взаємозв'язків між змінними, дослідженими чинниками і отриманими результатами.

Наукова новизна одержаних результатів. Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому, ґрунтуючись на комплексному аналізованні, систематизації та узагальненні результатів експериментальних даних, оцінено вплив органічних добрив та їх поєднання на показники родючості чорнозему типового, ріст і розвиток культур і їх продуктивність, здійснено обґрунтування ефективності застосування систем органічного удобрення різної інтенсивності під культури трипільної сівозміни: соя – пшениця яра – гречка в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України.

Вперше для умов Лівобережного Лісостепу встановлено агробіологічну ефективність короткоротаційної сівозміни на чорноземі типовому за органічного землеробства, зокрема:

- визначено вплив різних систем органічного удобрення на динаміку основних показників родючості та біологічної активності чорнозему типового під культурами короткоротаційної сівозміни;
- з'ясовано вплив органічних добрив на ріст і розвиток культур сівозміни, їх біометричні показники та забур'яненість агрофітоценозів;
- встановлено залежність рівня врожайності, якості рослинницької продукції та продуктивності сівозміни в цілому від застосованих різних видів органічних добрив та їх поєднань;
- визначено найефективнішу систему органічного удобрення (побічна продукція попередника + сидерат + біодобриво) та обґрунтовано доцільність її застосування у короткоротаційній сівозміни: соя – пшениця яра – гречка в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України за показниками економічної й енергетичної оцінки;

Удосконалено:

- наукові підходи до заходів поліпшення родючості ґрунтів та фітосанітарного стану агроценозів, реалізації генетичного потенціалу сучасних сортів сільськогосподарських культур, продуктивності сівозміни та якості отриманої продукції;

- систему удобрення культур короткоротаційної сівозміни за ведення органічного землеробства на чорноземі типовому в умовах нестійкого зволоження Лісостепу України.

Одержали подальший розвиток:

- теоретичні основи науково обґрунтованого функціонування та підвищення агробіологічної ефективності короткоротаційних сівозмін за органічного землеробства в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України;

- наукові положення щодо розробки інноваційних природо- і ресурсозберігаючих методів господарювання, які забезпечують отримання високих врожаїв екологічно безпечного зерна і насіння та високу економічну й енергетичну ефективність органічного виробництва сільськогосподарської продукції.

Практичне значення отриманих результатів. На основі встановлених закономірностей щодо поліпшення родючості чорнозему і формування продуктивності та якості отриманої продукції з високими економічними показниками, обґрунтовано агробіологічну ефективність короткоротаційної сівозміни за інноваційної системи органічного удобрення, яка передбачає внесення побічної продукції попередника, заорювання сидеральної маси гірчиці білої та позакореневого застосування біодобрива на основі гумінових речовин природного походження і комплексу макро- та мікроелементів у нормі 3,0 л/га під культури короткоротаційної сівозміни: соя – пшениця яра – гречка в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України, що забезпечує покращення водного, гумусного та поживного режимів ґрунту, підвищення продуктивності 1 га сівозмінної площі на 32–40 %, умовно чистого прибутку до 40 тис. грн/га за рентабельності 182 %.

Впровадження розробки (короткоротаційна сівозміна: соя – пшениця яра – гречка з інноваційною системою органічного удобрення під культури) на сертифікованому полі Сквирської дослідної станції органічного виробництва Інституту агроєкології і природокористування Національної академії аграрних

наук України (Білоцерківський р-н, Київська обл.) у 2024–2025 рр. на площі 15 га забезпечило збір із 1 га сівозмінної площі 2,82–6,03 т кормових і 3,18–4,23 т зернових одиниць. Умовно чистий прибуток при цьому становив: для сої – 8,24, пшениці ярої – 12,05 і гречки – 10,43 тис. грн/га за рівня рентабельності 107; 201 і 182 % відповідно. Виробничі витрати, порівняно з прийнятою в господарстві базовою короткоротаційною сівозміною, зменшувалися на 10 %, а рентабельність підвищувалася на 14 % (додаток С 1).

Також розробка впроваджена в сертифікованому господарстві ТОВ «Лист-Ручки» (Миргородський р-н, Полтавська обл.) у 2024–2025 рр. на площі 45 га, забезпечивши збір із 1 га сівозмінної площі 3,04–6,28 т кормових і 3,67–4,82 т зернових одиниць, умовно чистий прибуток: для сої – 10,18, пшениці ярої – 14,01 і гречки – 12,23 тис. грн/га за рівня рентабельності 114; 218 і 194 % відповідно. Порівняно з прийнятою в господарстві базовою короткоротаційною сівозміною, виробничі витрати зменшувалися на 18 %, рентабельність підвищувалася на 21 %, економічний ефект при цьому становив 3,24 тис. грн/га (додаток С 2).

Результати впровадження засвідчили агробіологічну ефективність короткоротаційної сівозміни соя – пшениця яра – гречка, агрономічну та економічну ефективність розробленої для неї системи органічного удобрення, що підтверджує практичну доцільність застосування розробки за ведення органічного землеробства та перспективу подальшого трансферу інновації в органічному сегменті аграрного сектора нашої держави.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційне дослідження є самостійною завершеною науковою працею. Основні ідеї, постановка проблеми, теоретичні й практичні положення розроблено спільно з науковим керівником. Результати досліджень, викладених у дисертації, автором одержано самостійно, а також самостійно здійснено аналіз і узагальнення результатів із використанням сучасних методик, сформульовано висновки, зроблено статистичний аналіз результатів досліджень, проведено апробацію та впровадження. Друковані наукові праці за темою дисертації підготовлено самостійно та у співавторстві. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, частка авторства здобувача

полягає у плануванні та виконанні експериментальних досліджень, узагальненні та аналізі результатів і підготовці рукописів до друку. Права співавторів у спільних публікаціях не порушено.

Апробація результатів дисертації. Основні результати та положення дисертаційної роботи були представлені на 6 міжнародних наукових конференціях, зокрема: «Зернова галузь – проблеми та перспективи технологічного забезпечення» (м. Дніпро, 12–13 жовтня 2023 р.), «Інноваційні напрями розвитку технологій управління землями сільськогосподарського призначення: теорія та практика» (с-ще Чабани, 27 листопада 2023 р.), «Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції» (м. Іллінці, 05 листопада 2024 р.), «Наукові основи адаптації сучасних систем землеробства в контексті розвитку зеленого курсу» (с-ще Чабани, 16 грудня 2024 р.), «Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції» (м. Іллінці, 17 червня 2025 р.), «Ресурсозберігаючі технології вирощування культурних рослин» (м. Біла Церква, 04 червня 2026 р.).

Також отримані здобувачем результати досліджень, які викладено в дисертаційній роботі, оприлюднено на засіданнях методичної комісії з питань землеробства та рослинництва ННЦ «ІЗ НААН».

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 13 наукових праць, у тому числі 4 статті – у наукових фахових виданнях України (категорія Б), 7 – у матеріалах міжнародних наукових конференцій, 1 – науково-методичні рекомендації, 1 – стаття у журналі The Ukrainian Farmer.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 312 сторінках машинописного тексту, містить анотації, вступ, 7 розділів, висновки, рекомендації виробництву, список використаних джерел та додатки. Обсяг основного тексту дисертації налічує 178 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 27 таблицями та 11 рисунками. Список використаних джерел містить 275 найменувань, з них 189 кирилицею та 86 латиницею.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СІВОЗМІН В ОРГАНІЧНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ

1.1. Історія розвитку та значення органічного землеробства

Загострення агроекологічних проблем, пов'язаних із деградацією ґрунтів, забрудненням довкілля та виснаженням природних ресурсів, зумовило активізацію пошуку альтернативних моделей ведення сільського господарства. Упродовж останніх десятиліть у багатьох економічно розвинених країнах послідовно впроваджуються принципи біологізації та екологізації агровиробництва, що реалізуються через розвиток біологічних, біодинамічних, органічних та інших екологічно орієнтованих систем землеробства.

На думку багатьох учених, органічне сільське господарство є цілісною системою виробництва екологічно безпечної сільськогосподарської продукції, заснованою на мінімізації зовнішнього антропогенного навантаження на агроєкосистеми. Його розглядають як альтернативний напрям аграрного виробництва, у якому не допускається або істотно обмежується використання синтетичних мінеральних добрив і хімічних засобів захисту рослин. Натомість пріоритет надається біологічним процесам, раціональному чергуванню культур, використанню органічних ресурсів, підтриманню внутрішнього кругообігу речовин та формуванню максимально замкнутого виробничого циклу. Такий підхід сприяє збереженню природних ресурсів, зменшенню техногенного навантаження та підвищенню екологічної збалансованості сільськогосподарського виробництва [21–23].

Вагомий внесок у становлення наукових засад органічного землеробства зробив англійський дослідник А. Говард, якого в науковій літературі часто називають одним із засновників сучасного органічного руху. У 40-х роках XX ст. ним було систематизовано теоретичні положення та експериментальні підходи

до виробництва органічної сільськогосподарської продукції. Сформована ним концепція ґрунтувалася на сприйнятті господарства як цілісної біологічної системи, у якій родючість ґрунту, здоров'я рослин, тварин і людини є взаємопов'язаними складовими. Філософія органічного руху передбачає відповідальне ставлення до природного середовища, збереження здоров'я людини, дотримання закономірностей функціонування природних екосистем і застосування маловідходних або безвідходних технологій у рослинництві й тваринництві [24, 25].

У Європі біологічне землеробство як окремий напрям аграрного виробництва було концептуально обґрунтоване Лемер-Буше у 1964 р. Важливим етапом його інституційного становлення стало створення у Франції першої спеціалізованої асоціації, до складу якої увійшло понад 400 представників, зокрема виробники органічної сільськогосподарської продукції та натуральних косметичних засобів. Діяльність такого об'єднання сприяла поширенню екологічно орієнтованих методів господарювання й формуванню організованого ринку відповідної продукції [25, 26].

Найбільш інтенсивний розвиток органічного виробництва у США та країнах Європи припав на кінець 1980-х – початок 1990-х років, що значною мірою було зумовлено посиленням проявів екологічної кризи, погіршенням стану агроекосистем і зростанням суспільного попиту на безпечні продукти харчування. Реакцією урядів економічно розвинених держав стало формування спеціалізованої нормативно-правової бази, яка регламентувала виробництво, переробку, маркування та реалізацію органічної продукції. Одночасно було створено уповноважені державні й сертифікаційні структури, відповідальні за контроль дотримання встановлених вимог і надання виробникам права здійснювати органічне виробництво [23, 25].

У Регламенті Ради (ЄС) № 834/2007 від 28 червня 2007 р. органічне виробництво визначено як комплексну систему управління сільськогосподарським господарством і виробництва харчової продукції, що поєднує екологічно доцільні практики, підтримання біологічного різноманіття,

раціональне використання природних ресурсів і дотримання високих стандартів добробуту тварин. Її принциповою особливістю є застосування технологічних методів, речовин і процесів переважно природного походження, які відповідають установленим вимогам до органічної продукції [27].

Становлення органічного сектору в Україні розпочалося наприкінці 1990-х років, а з 2007 р. помітно активізувався розвиток внутрішнього ринку. Асортимент сертифікованої продукції поступово розширився і почав охоплювати хлібобулочні та молочні вироби, м'ясну продукцію, фрукти, овочі, соки, напої, сиропи, джеми, мед і крупи. За даними відповідного періоду, щорічні темпи зростання внутрішнього ринку становили 60–100 %, що свідчило про формування стійкого споживчого попиту на екологічно безпечні харчові продукти. Найбільша концентрація підприємств органічного спрямування спостерігалася в Одеській, Київській, Полтавській, Вінницькій, Закарпатській, Львівській, Тернопільській та Житомирській областях [28, 29].

Україна володіє значним природно-ресурсним потенціалом для розвитку виробництва органічної та токсикологічно безпечної продукції рослинництва і тваринництва. Сприятливі ґрунтово-кліматичні умови, значна площа сільськогосподарських угідь і висока частка орних земель створюють передумови для розширення органічного сектору. За наведеними у джерелі розрахунками, площа сільськогосподарських угідь України відповідає 18,9 %, а площа ріллі – 26,6 % відповідних земельних ресурсів Європейського Союзу, що підкреслює вагомість земельного потенціалу держави для розвитку екологічно орієнтованого аграрного виробництва [28].

Важливим етапом інституційного становлення органічного сектору стало ухвалення Верховною Радою України Закону України «Про основні принципи та вимоги до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції» № 2496-VIII від 10 липня 2018 р. Цим нормативно-правовим актом було сформовано базові засади державного регулювання галузі, визначено вимоги до технологічних процесів органічного виробництва, сертифікації операторів, обігу, маркування та реалізації відповідної продукції. Запровадження

уніфікованих правил сприяло підвищенню прозорості органічного ринку, захисту інтересів споживачів і наближенню національної системи регулювання до міжнародних та європейських норм [30].

Розширенню торговельно-економічних перспектив українського органічного сектору сприяли вступ України до Світової організації торгівлі у 2008 р. та ратифікація у 2014 р. Угоди про асоціацію між Україною і Європейським Союзом [31, 32]. Поглиблення інтеграції до світового й європейського економічного простору створило сприятливіші передумови для доступу вітчизняних виробників до зовнішніх ринків, гармонізації вимог до якості та безпечності продукції, удосконалення процедур сертифікації й розширення каналів реалізації органічних товарів. Одночасно зростання міжнародного попиту стимулювало розвиток внутрішнього ринку та підвищення конкурентоспроможності українських операторів органічного виробництва.

За даними відповідного періоду, Україна посідала одне з провідних місць у Європі за площею сільськогосподарських угідь, залучених до органічного виробництва, зокрема зазначалося її 11-те місце у європейському рейтингу. Вагомий земельно-ресурсний потенціал і значні обсяги виробництва зернових, зернобобових, олійних та іншої сертифікованої продукції сприяли формуванню експортної спеціалізації галузі. Українська органічна продукція постачалася на ринки держав Європейського Союзу, США, Китаю та інших країн, що підтверджує її затребуваність і перспективність подальшого розвитку органічного агровиробництва.

За результатами оперативного моніторингу, здійсненого Міністерством аграрної політики та продовольства України, станом на 31 грудня 2021 р. загальна площа сільськогосподарських угідь, залучених до сертифікованого органічного виробництва та перехідного періоду, становила близько 422 тис. га, що відповідало приблизно 1 % усіх земель сільськогосподарського призначення держави. Водночас Україна зберігала вагомі позиції на європейському ринку органічної продукції: за обсягом її постачання до країн Європейського Союзу держава посіла п'яте місце, експортувавши близько 190 тис. т органічної

агропродовольчої продукції. Наведені показники засвідчують значний експортний потенціал вітчизняного органічного сектору, хоча порівняно невисока частка сертифікованих угідь у загальній структурі сільськогосподарських земель свідчить про наявність істотних резервів для подальшого розширення органічного виробництва [33].

У сучасній практиці органічного виробництва застосовують різні сертифікаційні системи, стандарти та спеціальні маркування, які підтверджують відповідність продукції встановленим вимогам і дають змогу ідентифікувати її органічне походження. До найвідоміших належать EU Organic, що використовується у країнах Європейського Союзу, Soil Association у Великій Британії, ЕКО у Нідерландах, Біо у Німеччині, Organic Standard в Україні, Есосерт у Франції, ICEA в Італії, ІМО Control у Швейцарії, а також окремі сертифікаційні й професійні організації органічних виробників у США та Великій Британії. Наявність відповідного маркування засвідчує проходження встановлених процедур контролю та сертифікації, дотримання регламентованих технологічних вимог під час виробництва, переробки, зберігання і реалізації продукції.

Стратегічною метою розвитку органічного сільського господарства в Україні та світі є забезпечення населення якісними й безпечними продуктами харчування за одночасного зменшення антропогенного навантаження на агроєкосистеми. Органічне виробництво спрямоване не лише на одержання конкурентоспроможної продукції, а й на відтворення природної родючості ґрунту, підтримання біологічного різноманіття, раціональне використання ресурсів і збереження навколишнього природного середовища для наступних поколінь.

Нарощування обсягів виробництва рослинницької продукції залишається одним із ключових завдань аграрної галузі на всіх етапах її розвитку. Його розв'язання потребує впровадження науково обґрунтованих систем землеробства, центральною складовою яких є раціонально побудована сівоzmіна. Особливого значення це набуває в умовах реалізації положень Європейського

зеленого курсу, що передбачає зменшення антропогенного навантаження на агроєкосистеми, раціональне використання природних ресурсів і розвиток екологічно орієнтованого сільськогосподарського виробництва.

За сучасних умов функціонування агропромислового комплексу виробництво якісної та конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції можливе лише за високого рівня культури землеробства. Особлива роль у цьому належить органічним системам, які поєднують науково обґрунтоване чергування культур, біологізацію удобрення, збереження родючості ґрунту та екологічну безпечність технологічних процесів [34, 35].

1.2. Роль попередників у короткоротаційних сівозмінах

За ринкових умов господарювання та сучасних виробничих вимог культури в сівозмінах необхідно розміщувати так, щоб забезпечувати підвищення їх продуктивності, стабілізацію й відтворення родючості ґрунту, поліпшення фітосанітарного стану посівів та екологічну безпечність агровиробництва [36–39]. Порушення науково обґрунтованого чергування культур або недотримання необхідних строків їх повернення на попереднє поле сприяє накопиченню спеціалізованих шкідників, збудників хвороб і бур'янів, а також знижує стійкість агроценозів. Тому сівозміни мають бути динамічними, комбінованими, адаптованими до умов господарства та придатними для органічного виробництва. Водночас упровадження будь-якої альтернативної моделі ротації потребує належного наукового обґрунтування [3, 40–43].

Результати сучасних досліджень свідчать, що генетично зумовлений потенціал сортів і гібридів реалізується лише на 40–75 %, оскільки визначає передусім можливий рівень продуктивності культури. Його повніше використання досягається безпосередньо в польових умовах за впровадження адаптивних технологій вирощування, які враховують ґрунтово-кліматичні особливості регіону, біологічні вимоги культур і виробничу спеціалізацію господарства [44–47].

Дослідження науковців ННЦ «Інститут землеробства НААН» та інших профільних установ підтверджують, що науково обґрунтована сівозміна є основою стабільного функціонування землеробства, оскільки регулює водний, поживний і біологічний режими ґрунту, сприяє детоксикації шкідливих сполук та поліпшенню фітосанітарного стану агроценозів. Особливої ваги правильне чергування культур набуває у короткоротаційних сівозмінах, де обмежена кількість полів і скорочені строки повернення культур підвищують ризик однобічного використання вологи й поживних речовин, накопичення спеціалізованих шкідливих організмів і погіршення гумусного стану. Тому попередники слід оцінювати не лише за рівнем урожайності, а й за їх впливом на родючість ґрунту, кількість і якість рослинних решток та загальний агроекологічний стан посівів. Розроблені за зональним принципом системи сівозмін адаптовані до природно-кліматичних умов і спеціалізації господарств, а їх ефективність підтверджена тривалими дослідженнями та виробничою практикою [48–50].

Післядія попередньої культури формується внаслідок взаємодії кількох процесів. Рослини з різною глибиною проникнення кореневої системи неоднаково використовують запаси вологи й поживних речовин із ґрунтового профілю, залишають різну кількість кореневої та післяжнивної маси, а також характеризуються специфічним впливом на ґрунтову мікробіоту. Тому основою формування продуктивних коротких ротацій має бути не механічне поєднання економічно привабливих культур, а їх функціональна взаємодоповнюваність. Чергування видів із неоднаковою тривалістю вегетації, строками найбільшого водоспоживання і потребою в елементах живлення сприяє рівномірному використанню природних ресурсів та знижує екологічне навантаження на ґрунт [50, 51].

Особливо важливу функцію в короткоротаційних сівозмінах виконують зернобобові культури. Завдяки симбіотичній взаємодії з бульбочковими бактеріями вони залучають атмосферний азот до біологічного кругообігу, збагачують рослинні рештки азотовмісними сполуками й створюють

сприятливіший фон для наступних зернових культур. Дослідження люпину вузьколистого показали, що за оптимізації технології його посіви здатні фіксувати 138,2–168,9 кг/га біологічного азоту та накопичувати 6,27–10,96 т/га сухої речовини [52]. Це підтверджує доцільність залучення зернобобових культур до коротких ротацій не лише з метою виробництва високобілкової продукції, а й як біологічного засобу поліпшення азотного режиму ґрунту.

Позитивний ефект бобового компонента посилюється за його поєднання з злаковими культурами. У сумісних агроценозах формується ярусний рослинний покрив, повніше використовуються світло, волога та площа живлення, а злаковий компонент частково забезпечується азотом, накопиченим бобовими рослинами. Зокрема, суміш вівса, люпину, гороху польового та вики ярої формувала 3,67 т/га зерна, 4,10 т/га кормових одиниць і 0,65 т/га перетравного протеїну [52]. В органічних агроценозах сумісне вирощування вівса з викою ярою та жита озимого з викою озимою підвищувало врожайність відповідно на 0,47 і 0,72 т/га порівняно з одновидовими посівами, а вихід зернових одиниць зростав на 18,3–32,9 % [53]. Отже, бінарні й багатоконпонентні посіви можуть розглядатися як один зі способів посилення біологічної збалансованості короткоротаційних сівозмін.

Важливим показником цінності попередника є його фітосанітарна післядія. Органічне землеробство обмежує використання синтетичних гербіцидів, тому добір культур із різною конкурентною здатністю та біологічними особливостями набуває особливої актуальності. У дослідженнях змішаних посівів вівса з пелюшкою введення 25 % бобового компонента знижувало забур'яненість на 9–20 % порівняно з одновидовим агроценозом [54]. Такий ефект пояснюється швидшим формуванням щільного рослинного покриву й повнішим використанням екологічних ніш, унаслідок чого погіршуються умови для проростання та розвитку бур'янів.

Водночас культури з повільним початковим ростом потребують особливо ретельного добору попередника. У посівах сої короткоротаційної сівозміни частка пізніх ярих бур'янів становила 45–55 %, ранніх ярих – 18–26 %, зимуючих

– 7–24 %, багаторічних – 8–18 % [55]. Це свідчить про недостатню конкурентоспроможність сої на початкових етапах органогенезу і необхідність розміщення її після культур, які не сприяють накопиченню спільних видів сегетальної рослинності та дають змогу якісно підготувати поле. Аналогічні вимоги характерні для сорго, яке в перші тижні після появи сходів росте відносно повільно, тому краще реалізує продуктивний потенціал після попередників, що залишають поле чистим від бур'янів [56].

Особливо переконливо роль попередника проявляється у формуванні врожайності пшениці. За даними досліджень сортів пшениці м'якої озимої, після сидерального пару врожайність досягала 7,83 т/га, тоді як після соняшнику становила лише 4,44 т/га [57]. Окремі сорти після сидерального пару та гірчиці білої формували близько 8,0 т/га зерна, тоді як після соняшнику їх продуктивність здебільшого не перевищувала 4,73–4,95 т/га. Така різниця відображає сукупний вплив залишкових запасів вологи, поживного режиму, кількості органічної маси та фітосанітарного стану поля.

У технології органічного вирощування пшениці кращими попередниками вважають зернобобові культури, багаторічні й однорічні трави, конюшину, люцерну, люпин, гірчицю білу, фацелію, ріпак, кукурудзу на силос та бобово-злакові суміші [58]. Вони сприяють поліпшенню азотного живлення, структурності ґрунту й розриву циклів розвитку спеціалізованих хвороб. Водночас частка зернових культур в органічній сівозміні не повинна перевищувати науково обґрунтовані межі, а повернення пшениці та споріднених колосових культур на попереднє поле доцільно здійснювати не раніше ніж через 2–3 роки [58].

Тривалість ротації та структура посівних площ впливають також на вуглецевий баланс агроєкосистеми. У довгоротаційних сівозмінах уміст гумусу в шарі 0–30 см був на 0,13 %, а його запаси – на 15,6 т/га більшими, ніж у коротких ротаціях [59]. Проте це не означає, що скорочення кількості полів неминуче зумовлює дегуміфікацію. За раціонального поєднання зернових, зернобобових, кормових, круп'яних та сидеральних культур окремі 3–5-пільні

сівозміни підтримували вміст гумусу на рівні 3,79–3,90 %. Отже, вирішальне значення має не лише тривалість ротації, а й якісний склад культур та обсяг органічної речовини, що повертається до ґрунту.

В умовах посилення кліматичних ризиків до короткоротаційних сівозмін доцільно залучати культури з підвищеною посухостійкістю та різними строками критичного водоспоживання. Сорго звичайне двокольорове характеризується високою адаптивністю до нестійкого й недостатнього зволоження та за оптимізації елементів технології формувало 6,7–7,4 т/га зерна і 39,5–44,4 т/га вегетативної маси [56]. Його використання може сприяти диверсифікації польових ротацій і зниженню ризику різкого падіння загальної продуктивності в посушливі роки. Водночас малопродуктивні або техногенно обмежені землі доцільно використовувати під багаторічні енергетичні культури, не включаючи їх до продовольчих сівозмін [60]. Така просторова диференціація забезпечує більш раціональне використання земельного фонду й підвищує екологічну безпеку виробництва.

Отже, роль попередників у короткоротаційних сівозмінах полягає у формуванні спрямованої післядії, яка охоплює водний, поживний, біологічний і фітосанітарний режими агроценозу. Найбільш перспективними є ротації, у яких зернобобові культури забезпечують надходження біологічного азоту, зернові залишають значну кількість вуглецевмісних решток, сидеральні посіви поповнюють ґрунт швидко мінералізованою біомасою, а культури з високою конкурентоспроможністю обмежують розвиток бур'янів. Саме така функціональна взаємодоповнюваність створює передумови для стабільного функціонування органічних короткоротаційних сівозмін.

1.3. Роль удобрення органічного спрямування в короткоротаційних сівозмінах

Виробництво органічної продукції є одним із практичних напрямів реалізації принципів сталого розвитку аграрного сектору, що передбачає

узгодження екологічних, економічних і соціальних складових. Такий підхід спрямований на збереження природних ресурсів, забезпечення економічної життєздатності сільськогосподарських підприємств і виробництво якісних та безпечних харчових продуктів як важливої передумови продовольчої безпеки держави.

Органічна система землеробства ґрунтується на обмеженні використання синтетичних мінеральних добрив, хімічних засобів захисту рослин і штучних регуляторів росту. Натомість перевагу надають відновлюваним ресурсам рослинного і тваринного походження, зокрема гною, компостам, рослинним решткам та іншим органічним матеріалам. Для коригування мінерального живлення й фізико-хімічних властивостей ґрунту можуть застосовуватися дозволені природні мінеральні речовини – доломіт, польовий шпат, мусковіт, біотит та інші необроблені або мінімально оброблені породи.

Ключовим завданням розвитку альтернативних систем землекористування є біологізація технологічних процесів, тобто посилення ролі сівозмін, органічних добрив, сидератів, біологічної азотфіксації та корисної ґрунтової мікробіоти. Залучення цих чинників дає змогу зменшити негативне антропогенне навантаження на агроєкосистеми, підтримувати природний кругообіг речовин і забезпечувати відтворення родючості ґрунту відповідно до екологічних принципів природокористування [61].

До основних чинників біологізованого землекористування належать пізнання та раціональне застосування природних закономірностей, відтворення родючості ґрунту й поліпшення його агрономічних і біологічних властивостей насамперед завдяки науково обґрунтованому чергуванню культур. Важливе значення мають добір високопродуктивних сортів і гібридів, адаптованих до конкретних ґрунтово-кліматичних умов, оптимізація системи живлення рослин і підвищення ефективності використання дозволених добрив. Невід’ємними складовими є також екологічно безпечний захист посівів із переважанням біологічних методів та диференційована система обробітку ґрунту, узгоджена з біологічними вимогами культур і природними умовами регіону [62].

Системи землеробства і рослинництва, у яких пріоритет надається біологічним та агротехнічним способам регулювання умов вирощування культур, у науковій літературі об'єднують поняттям біологічного землеробства. Для їх позначення також використовують терміни «альтернативне», «екологічне», «органо-біологічне землеробство» та «система АНОГ». Незважаючи на певні відмінності у принципах і технологічних підходах, спільною метою цих систем є виробництво якісної та екологічно безпечної продукції за одночасного зменшення антропогенного навантаження і збереження природного середовища [63].

Система удобрення в органічному землеробстві має забезпечувати не лише поточне живлення рослин, а й довготривале відтворення родючості ґрунту. У короткоротаційних сівозмінах ця вимога набуває особливого значення, оскільки обмежений набір культур може посилювати однобічне винесення поживних речовин і прискорювати мінералізацію органічної речовини. Тому органічне удобрення доцільно розглядати як єдину систему кругообігу вуглецю та елементів живлення, яка охоплює побічну продукцію попередника, кореневі рештки, сидеральну масу, біологічну азотфіксацію, органічні добрива й мікробіологічні препарати [49, 50, 64].

Регіональні дослідження вказують на нестійкість гумусного стану. Наприклад, у ґрунтах Полтавської області впродовж 1996–2020 рр. середньозважений уміст гумусу змінювався в межах 3,15–3,39 %, однак це відбувалося на тлі скорочення внесення органічних добрив із 15,5 до 5,0 т/га [65]. Відносну стабілізацію показника автори пов'язують зі зміною структури посівних площ, поверненням рослинних решток і поширенням мінімізованого обробітку. Водночас збільшення частки ґрунтів із середнім рівнем гумусованості свідчить, що без систематичного надходження свіжої органічної речовини зберігається ризик поступової дегуміфікації.

За дефіциту гною основним внутрішньогосподарським резервом відтворення органічної речовини є побічна продукція рослинництва. Солома та стеблові рештки містять значну кількість органічного вуглецю, калію, азоту,

фосфору, кальцію, магнію, сірки й мікроелементів. У середньому одна тонна соломи містить близько 5 кг азоту, 2,5 кг фосфорного ангідриду, 8 кг оксиду калію і 350–400 кг органічного вуглецю [49]. Її повернення до ґрунту створює енергетичну основу для розвитку мікроорганізмів, сприяє утворенню органо-мінеральних комплексів, поліпшує структурність орного шару та зменшує непродуктивні втрати поживних речовин.

Дія побічної продукції значною мірою визначається співвідношенням вуглецю до азоту. Через високий уміст вуглецевих сполук на початковому етапі розкладання соломи можливе тимчасове біологічне закріплення мінерального азоту мікробною біомасою. Тому ефективність цього прийому залежить від родючості ґрунту, гідротермічних умов, виду рослинних решток і наявності додаткових джерел легкодоступного азоту. За належного технологічного застосування солома здатна частково замінювати традиційні органічні добрива, одночасно підвищуючи вміст гумусу, доступність фосфатів і біологічну активність ґрунту [64].

Дослідження тривалих систем удобрення зерно-просапної сівозміни підтвердили, що побічна продукція є важливим чинником відтворення агрохімічних властивостей ґрунту, але її дія залежить від збалансованості всієї системи живлення. Ізольоване застосування еквівалентних кількостей органічних або мінеральних компонентів знижувало продуктивність ланки сівозміни на 18,5 % порівняно з інтегрованою системою [64]. Це свідчить, що органічна речовина не завжди забезпечує синхронне надходження всіх необхідних елементів у критичні фази розвитку рослин, тому її доцільно поєднувати з іншими дозволеними джерелами живлення та біологічної активації.

Результати досліджень на чорноземі типовому засвідчили, що побічна продукція впливає не лише на поживний режим, а й на фізико-хімічні властивості ґрунту. Її застосування сприяло збільшенню суми вбирних основ до 18,2 мг-екв/100 г ґрунту, а органічна система удобрення підтримувала вищий уміст легкогідролізованого азоту [66]. Отже, рослинні рештки виконують комплексну функцію: поповнюють запаси органічної речовини, беруть участь у формуванні ґрунтового поглинального комплексу та створюють сприятливіші умови для біологічної трансформації елементів живлення.

Поєднання соломи із сидеральною масою дає змогу краще узгодити процеси гуміфікації й мінералізації. Побічна продукція підтримує тривале надходження вуглецю та формування стабільніших гумусових сполук, тоді як зелена маса швидше забезпечує рослини доступними формами азоту та інших елементів. За таких умов зменшується ризик тимчасового азотного голодування, активізується ґрунтова мікробіота й створюється більш збалансований поживний фон для наступної культури. Позитивний вплив сидерації на фізичні властивості ґрунту проявляється у підвищенні водостійкості агрегатів, збільшенні частки напіврозкладених органічних решток і поліпшенні гумусного балансу [67].

Висока ефективність сидерального попередника підтверджується результатами органічного вирощування пшениці та спельти. Поєднання сидерального пару, передпосівної обробки насіння мікробіологічним препаратом і позакореневого внесення біодобрива забезпечувало одержання 6,43 т/га зерна спельти з умістом протеїну 14,4 % і клейковини 25,6 % [57, 58]. Це свідчить, що дія зеленого добрива найповніше реалізується в системі, де його післядія доповнюється біологічними засобами стимулювання живлення та розвитку рослин.

Останніми роками зростає науковий інтерес до сидеральних культур як важливого джерела органічної речовини та поживних елементів [68, 69]. Їх вирощування і заробляння зеленої маси в ґрунт є дієвим агротехнічним заходом відтворення родючості та підвищення стійкості агроєкосистем. Сидерація сприяє накопиченню органічної речовини, активізації ґрунтової мікробіоти, поліпшенню водоутримувальної здатності й структурно-агрегатного стану ґрунту, а також оптимізації кругообігу елементів живлення. У результаті формуються сприятливі умови для росту й продуктивності сільськогосподарських культур, посилюється стійкість ґрунту до деградації та несприятливих кліматичних чинників [70–72].

Система органічного удобрення має оцінюватися не тільки за зміною врожайності, а й за екологічними показниками. Органічна речовина впливає на ємність поглинання, кислотність, рухомість мікроелементів, важких металів і радіонуклідів. У дослідженнях на техногенно забруднених землях органічні матеріали сприяли закріпленню небажаних сполук у ґрунтовому поглинальному

комплексі та зменшенню їх переходу в рослинницьку продукцію [60, 73]. Хоча ці закономірності встановлено в специфічних радіоекологічних умовах, вони підтверджують загальну сорбційну й буферну функцію органічної речовини.

Водночас надходження органічних і мінеральних компонентів повинно супроводжуватися контролем мікроелементного та екотоксикологічного стану ґрунту. Методика агрохімічної паспортизації передбачає систематичне визначення гумусу, макро- і мікроелементів, важких металів, залишкових кількостей пестицидів і радіонуклідів [74]. Таке оцінювання дає змогу встановити, чи забезпечує система удобрення відтворення родючості без надмірного накопичення потенційно токсичних речовин. Експериментальні дослідження систем удобрення сої, вівса та кукурудзи підтверджують необхідність одночасного аналізу продуктивності, якості зерна, балансу нутрієнтів і транслокації металів у системі «ґрунт-рослина» [64].

Цільове регулювання мікроелементного живлення може бути ефективним лише за наявності діагностовано дефіциту. Зокрема, обробка насіння кукурудзи цинковмісним препаратом підвищувала енергію проростання на 3,1 %, польову схожість – на 3,3 %, а поєднання з двома позакореновими підживленнями забезпечувало приріст урожайності 0,97 т/га [75]. Для органічного виробництва практичне використання такого підходу можливе лише за застосування препаратів, дозволених стандартами сертифікації, однак сама закономірність підтверджує важливість збалансованого мікроелементного режиму.

Екологічну результативність органічного удобрення доцільно оцінювати як на одиницю земельної площі, так і на одиницю одержаної продукції. Метааналізи органічних технологій показують, що їх переваги за впливом на довкілля можуть змінюватися залежно від способу усереднення даних, величини врожайності й функціональної одиниці оцінки [76]. Тому поряд із поліпшенням гумусного стану, зменшенням застосування синтетичних засобів і підтриманням біорізноманіття необхідно враховувати продуктивність сівозмінної площі, енерговитрати та можливі викиди парникових газів. Для останнього напряму розроблено методичні підходи до безперервної автоматичної реєстрації емісії CO₂ і CH₄ з агроландшафтів [77].

Отже, удобрення органічного спрямування в короткоротаційних сівозмінах повинно ґрунтуватися на комплексному використанні кількох взаємодоповнювальних ресурсів. Побічна продукція забезпечує тривале надходження вуглецю, сидеральна маса – швидшу мобілізацію поживних речовин, зернобобові культури – біологічний азот, а біопрепарати активізують мікробіологічні процеси. Така система дає змогу узгодити прямий вплив удобрення з його післядією, підтримувати гумусний і поживний режими ґрунту та створювати передумови для стабільної продуктивності культур.

1.4. Продуктивність сільськогосподарських культур за оптимального розміщення у короткоротаційних сівозмінах за органічного землеробства

Продуктивність короткоротаційної сівозміни є інтегральним показником ефективності взаємодії культур, попередників, системи удобрення, обробітку ґрунту та погодних умов. За органічного землеробства її формування значною мірою залежить від внутрішніх біологічних ресурсів агроєкосистеми, оскільки можливості оперативного регулювання живлення та фітосанітарного стану синтетичними засобами обмежені. Тому продуктивність доцільно оцінювати не лише за врожайністю окремих культур, а й за виходом зернових і кормових одиниць, перетравного протеїну, енергії та економічного результату з одиниці сівозмінної площі [76, 78].

Оптимальне розміщення культур передбачає відповідність їхніх біологічних вимог агроєкологічним умовам конкретного поля. Високовимогливі до азотного живлення зернові доцільно розміщувати після зернобобових і сидеральних культур, посухостійкі види – на полях із ризиком дефіциту вологи, а слабokonкурентні щодо бур'янів культури – після попередників, які залишають поле чистим. Такий підхід забезпечує краще використання прямої дії та післядії органічних добрив, знижує потребу у зовнішніх ресурсах і стабілізує продуктивність у роки з різними гідротермічними умовами [50, 56, 58].

Одним із найбільш ефективних способів використання біологічного потенціалу є сумісне вирощування злакових і бобових культур. У таких агроценозах зростає просторове й трофічне розмежування компонентів, повніше використовується сонячна радіація та ґрунтова волога, а біологічний азот бобової культури частково включається у живлення злакової. У дослідженнях органічних посівів суміші вівса з викою ярою і жита озимого з викою озимою забезпечували приріст урожайності 0,47–0,72 т/га та підвищення виходу зернових одиниць на 18,3–32,9 % [53]. Умовно чистий прибуток при цьому становив 11 563–21 079 грн/га, рентабельність – 123–212 %, а коефіцієнт енергетичної ефективності за полицевого обробітку досягав 3,25–3,70. Це свідчить, що біологічна взаємодоповнюваність культур має не лише агрономічний, а й економічний та енергетичний ефект.

Багатокомпонентні сумішки також забезпечують збалансованіший вихід кормової продукції. Поєднання вівса, люпину, гороху польового та вики ярої формувало 4,10 т/га кормових одиниць і 0,65 т/га перетравного протеїну [52]. Це особливо важливо для сівозмін кормового спрямування, де абсолютна врожайність сухої речовини повинна поєднуватися з високою білковою повноцінністю. Крім того, сумісні посіви підвищують стійкість агроценозу до несприятливих погодних умов, оскільки зниження продуктивності одного компонента може частково компенсуватися іншим.

Вагомим чинником продуктивності є оптимізація системи живлення. У п'ятипільних сівозмінах Лівобережного Лісостепу підвищення середньої норми живлення до $N_{45}P_{49}K_{61}$ збільшувало збір зерна на 6,1 %, кормових одиниць – на 10,8 %, а чистий прибуток – на 6,6 % порівняно з нижчим рівнем удобрення [79]. Подальше збільшення агрохімічного навантаження забезпечувало додатковий приріст урожаю, але його економічна окупність знижувалася. Хоча такі дослідження проводилися за традиційних систем живлення, вони підтверджують загальний закон оптимуму: максимальна кількість внесених ресурсів не завжди формує найвищу сукупну ефективність.

Подібну закономірність встановлено в умовах Полісся. У п'ятипільній зерно-просапній сівозміні максимальна продуктивність досягала 7,25 т/га зернових, 9,12 т/га кормових одиниць і 0,73 т/га перетравного протеїну, проте найвищий умовно чистий прибуток формувався не за максимальної, а за помірнішої норми удобрення [80]. Отже, оптимальна система повинна забезпечувати не граничний урожай будь-якою ціною, а найкраще співвідношення між продуктивністю, витратами, енергетичною окупністю та екологічною безпечністю.

Дослідження зерно-просапної сівозміні із соєю, вівсом і кукурудзою засвідчили, що результативність живлення визначається узгодженістю його складових із біологічними потребами культур. Позакореневе застосування комплексних препаратів підвищувало врожайність сої на 7,4–8,3 %, вівса – на 7,2–8,5 %, кукурудзи – на 7,1–8,6 % [64]. Водночас стійкіший ефект формувався за поєднання основного удобрення, побічної продукції та коригувальних підживлень, ніж за ізольованого використання окремого компонента. Для органічних технологій це підтверджує необхідність комплексного поєднання рослинних решток, сидератів, біодобрих і дозволених мікроелементних засобів.

Урожайність пшениці значною мірою визначається попередником і синхронізацією надходження азоту з потребою рослин. За органічного виробництва для формування врожаю близько 4,5 т/га сумарне надходження азоту повинно становити орієнтовно 100 кг/га, основними джерелами якого є біологічна фіксація, мінералізація решток бобових попередників, сидератів і гумусових сполук [58]. Якщо вивільнення азоту не збігається з критичними фазами розвитку, знижується не лише врожайність, а й уміст білка та клейковини. Тому продуктивність зернових в органічній сівозміні залежить від здатності попередника й системи удобрення забезпечувати поступове надходження доступних сполук азоту.

Дослідження пшениці озимої підтверджують, що сидеральний попередник створює найсприятливіші умови для реалізації сортового потенціалу. Після сидерального пару та гірчиці окремі сорти формували 7,66–8,09 т/га зерна, тоді

як після соняшнику – близько 4,3–5,0 т/га [57]. Водночас реакція сортів на умови вирощування була неоднаковою: інтенсивні генотипи забезпечували максимальну продуктивність за високого рівня агротехнології, а пластичніші сорти характеризувалися меншою мінливістю врожайності. Це свідчить про необхідність узгодження не тільки виду культури, а й її сортових особливостей із місцем у сівозміні.

Для стабілізації виробництва в умовах нестійкого зволоження доцільно розширювати набір культур за рахунок адаптивних видів. Сорго має розвинену кореневу систему, ефективно використовує вологу й характеризується високою пластичністю в різних частинах Лісостепу [56]. За оптимізації строків і способів сівби, густоти рослин та живлення його врожайність зерна досягала 6,7–7,4 т/га. Проте в органічних технологіях реалізація цього потенціалу потребує особливої уваги до фітосанітарного стану поля, оскільки культура повільно розвивається на початкових етапах.

Загальну продуктивність короткоротаційної сівозміни необхідно оцінювати разом із її вуглецевою та енергетичною ефективністю. Скорочення ротації може зменшувати різноманітність джерел органічної речовини та посилювати коливання продуктивності між роками [59]. Водночас включення зернобобових культур, сидератів, сумісних посівів і повернення побічної продукції дає змогу підтримувати сприятливе співвідношення між депонуванням і мінералізацією вуглецю. Біоенергетичне оцінювання також свідчить, що технологія є ефективною лише тоді, коли збільшення енергії врожаю випереджає приріст технологічних енерговитрат [53, 78].

Таким чином, продуктивність культур за оптимального розміщення в короткоротаційних органічних сівозмінах формується внаслідок узгодженої дії сівозмінного, удобрювального, біологічного та кліматичного чинників. Найперспективнішими є моделі, які поєднують зернові культури як джерело енергетичної продукції та вуглецевмісних решток, зернобобові – як джерело білка і біологічного азоту, сидерати – як швидкомінералізоване зелене добриво, а конкурентоспроможні круп'яні й адаптивні посухостійкі культури – як засіб

стабілізації врожайності. За такого підходу короткоротаційна сівозміна виконує не лише виробничу, а й ґрунтовідновлювальну та екологічну функції, що відповідає принципам сталого органічного землеробства.

Висновки до Розділу 1

Органічне землеробство є екологічно орієнтованою системою аграрного виробництва, спрямованою на одержання якісної та безпечної продукції, раціональне використання природних ресурсів, збереження біорізноманіття й відтворення родючості ґрунту. Україна має значний природно-ресурсний потенціал для розвитку органічного сектору, однак невисока частка сертифікованих угідь свідчить про необхідність його подальшого технологічного, нормативного та ринкового розширення.

Науково обґрунтована сівозміна в поєднанні з комплексною системою органічного удобрення є основою стабільного функціонування агроєкосистем. Раціональне чергування зернових, зернобобових, круп'яних і сидеральних культур, використання побічної продукції та біопрепаратів сприяють оптимізації водного й поживного режимів, відтворенню родючості ґрунту, поліпшенню фітосанітарного стану та стабілізації продуктивності культур.

Аналіз літературних джерел засвідчив, що ефективність органічних короткоротаційних сівозмін визначається раціональним чергуванням культур і комплексним використанням побічної продукції, сидератів та біологічних препаратів. Водночас недостатня вивченість їх сукупного впливу на родючість ґрунту, продуктивність і якість урожаю в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу зумовила необхідність проведення наших досліджень.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Особливості території розташування та ґрунтово-кліматична характеристика регіону

Лісостепова зона (Лісостеп) простягається із заходу на схід (від Передкарпаття до західних відрогів Середньоросійської височини) через середню частину України майже на 1100 км і являється перехідною зоною між зонами мішаних лісів та степу. Площа її становить 202,8 тис. км² або ж 34 % території України. Південна межа її проходить на північ від Великої Михайлівки, Ширяєвого, через Первомайськ, поблизу Новоукраїнки, Кропивницького, Олександрії, через Знам'янку, Онуфріївку, вздовж річки Ворскла, на Кобеляки, Нові Сан-жари, через Балаклею, вздовж р. Оскіл. Лісостепу зону розділяють по річці Дніпро на правобережну й лівобережну частини. В цілому зона Лісостепу є надзвичайно важливий аграрний регіон України, площа орних земель, в якому, становить 42 % від загального їх фонду [81, 82].

Лівобережний Лісостеп, на переважній його частині, складається із двох підзон: нестійкого та недостатнього зволоження. Підзона недостатнього зволоження займає території південних районів Одеської, південно-західних і північно-східних районів Кіровоградської, південних районів Полтавської областей. За багаторічними спостереженнями з'ясовано, що сума ефективних температур (понад 10⁰С) досягає 2600–900⁰С. Середньорічна кількість опадів знаходиться в межах 430–480 мм. Посушливі роки в цій підзоні є досить частим явищем. У зв'язку з цим необхідно запроваджувати чисті пари в сівозмінах для покращення водного режиму ґрунту і відповідно оптимізації запасів продуктивної вологи.

Підзона нестійкого зволоження включає території північних районів Одеської, північно-західних Кіровоградської, Черкаської, Вінницької крім

північно-західних районів, лісостепових районів Київської, Чернігівської, Сумської крім північних, східних районів Чернівецької, Харківської, північних і центральних районів Полтавської областей. Середньомісячна кількість опадів становить 480–500 мм. Посушливі періоди за останні десятиріччя дуже часте явище, а найбільше в підзоні нестійкого зволоження це спостерігається в південних і східних районах.

Клімат Лівобережного Лісостепу – помірний континентальний. Середньомісячна температура повітря в зимовий період коливається від -4°C у західній частині до -8°C у східній. Зима в Лівобережному Лісостепу характеризується частими тривалими періодами інтенсивних відлиг із підвищенням температури повітря до $10\text{--}14^{\circ}\text{C}$. Середньомісячна температура повітря у літні місяці знаходиться в межах від 10°C у західній частині до 20°C у східній за абсолютного максимуму $39\text{--}40^{\circ}\text{C}$. Тривалість періоду з температурою вище 5°C становить 200–215 днів у західній і 190–200 днів у східній частині, що майже повністю співпадає з тривалістю вегетаційного періоду сільськогосподарських культур, які вирощують у лісостеповій зоні [82, 83].

Ґрунтовий покрив Лівобережного Лісостепу є різноманітним, а найпоширенішими являються чорноземи типові, чорноземи опідзолені, лучно-чорноземні, темно-сірі опідзолені та інші типи ґрунтів. Чорноземи сформувались на вододільних поверхнях центральної і південної частин Придніпровської височини. Поміж типових чорноземів переважають малогумусні, які характеризуються значною потужністю гумусового профілю, що досягає до 120–130 см, вміст гумусу у верхніх шарах ґрунту знаходиться на рівні 4–5 %. Чорноземи опідзолені та темно-сірі опідзолені сформувалися по краях чорноземів типових із вмістом гумусу 3–6 %. У широких зниженнях на давніх терасах сформувалися лучно-чорноземні ґрунти, а в заплавах річок – лучні, дернові та болотні з гумусовим горизонтом 35–50 см і вмістом гумусу 2–3 % [81, 84].

Отже, ґрунтово-кліматичні умови даного регіону є в більшій мірі досить сприятливими для вирощування сільськогосподарських культур і отримання високих врожаїв із хорошою якістю продукції.

Зокрема, дослідження проводили у стаціонарному досліді, який закладено в 2021 році на Панфільській дослідній станції ННЦ «ІЗ НААН» у підзоні нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу.

Ґрунт дослідного поля за морфологічними ознаками відноситься до чорноземів типових неглибоких грубопилувато-легкосуглинкових, які залягають на карбонатному легкосуглинковому лесі.

За даними хімічного аналізу досліджений чорноземний ґрунт малогумусний, уміст гумусу в 0–20 см шарі ґрунту варіював від 3,06 до 3,17 %, у 20–40 см шарі – від 2,49 до 2,86 %. Ґрунт характеризується низьким вмістом лужногідролізованого азоту в 0–20 см шарі ґрунту – 123–129 мг/кг і 92–115 мг/кг – у 20–40 см, дуже високим і високим вмістом сполук рухомого фосфору – 220–275 мг/кг ґрунту в 0–20 см і 184–228 мг/кг – у 20–40 см шарах ґрунту, високим і дуже високим вмістом сполук рухомого калію – 205–225 мг/кг ґрунту в 0–20 см і 128–143 мг/кг у 20–40 см шарах ґрунту. Реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної (рН 6,0 і 5,7 у 0–20 і 20–40 см шарах ґрунту відповідно), ступінь насичення вбирного комплексу основами високий – 86–98 % (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Агрохімічні та фізико-хімічні показники чорнозему типового перед закладанням дослідів

Шар ґрунту, см	Уміст гумусу, % (за Тюрнімом)	Уміст лужногідролізованого азоту, мг/кг ґрунту (за Корнфілдом)	Уміст сполук рухомого фосфору, мг/кг ґрунту (за Чириковим)	Уміст сполук рухомого калію, мг/кг ґрунту (за Чириковим)	рН _{сол.}
0–20	3,06–3,17	123–129	220–275	205–225	6,0
20–40	2,49–2,86	92–115	184–228	128–143	5,7

2.2. Агрометеорологічні умови в період проведення досліджень

За результатами багаторічних спостережень Яготинської метеостанції (м. Яготин Бориспільського р-ну Київської обл.) визначено, що середня річна температура повітря знаходиться на рівні 7,1 °С, середня багаторічна кількість опадів – 468 мм (коливається від 250 до 670 мм), відносна вологість повітря – 78 %. Тривалість вегетаційного періоду в середньому становить 202 дні. Мінімальна температура повітря в зимові місяці опускається до -37 °С, максимальна – в літні місяці піднімається до +39 °С. Трапляються нестійкі зими: холодні періоди чергуються з відлигами, що спричиняє утворення притертої льодової кірки, при цьому існує ймовірність часткової або повної загибелі посівів озимих культур.

Сніг випадає протягом 109 днів. Тривалість залягання снігового покриву – перша декада грудня – перша декада березня. У березні і квітні середня добова температура повітря стрімко змінюється від 1,1 °С до 7,8 °С, що часто супроводжується суховіями, які спричиняють погіршення умов для сівби і початку росту ярих культур. Значне підвищення температури повітря впродовж червня-липня в деякі роки може спричинити зниження урожайності зернових колосових культур. Польовий дослід, як і вся територія дослідної станції, знаходиться в зоні нестійкого зволоження, гідротермічний коефіцієнт за багаторічними даними становить 0,65.

Сучасні дослідження відомих вчених свідчать, що погодно-кліматичні умови є одним із ключових факторів функціонування агроecosистем та формування продуктивності сільськогосподарських культур. Зокрема, урожайність польових культур формується під впливом складної взаємодії метеорологічних чинників, серед яких провідна роль належить температурному режиму, кількості атмосферних опадів, забезпеченню рослин вологою та тривалості окремих фаз онтогенезу [85–87]. В. П. Дмитренком обґрунтовано концепцію системного підходу до оцінки взаємозв'язку «погода – рослина – урожай», відповідно до якої агрометеорологічні умови визначають рівень реалізації потенційної продуктивності агрофітоценозів та ефективність

використання природних ресурсів. Водночас навіть незначні відхилення погодних показників від оптимальних значень можуть істотно впливати на інтенсивність фізіолого-біохімічних процесів, водний режим рослин і кінцевий рівень урожайності [88].

За останні десятиліття на території України спостерігаються суттєві зміни агрокліматичних умов, що проявляються у підвищенні середньорічної температури повітря, збільшенні суми активних температур, зростанні частоти посух та нерівномірності розподілу атмосферних опадів протягом вегетаційного періоду [89]. Для умов Лісостепу України характерним є посилення проявів погодних аномалій, які значною мірою визначають продуктивність агроценозів. За результатами досліджень С. В. Пикала та співавторів, мінливість погодних умов безпосередньо впливає на ріст і розвиток рослин через зміну рівня тепло- та вологозабезпечення, а дефіцит вологи у критичні періоди органогенезу є одним із головних чинників зниження врожайності. Встановлено, що кліматичні зміни можуть зумовлювати коливання врожайності зернових культур на 40–60 %, що підтверджує високу залежність агровиробництва від погодних умов [85]. Крім того, сучасні тенденції клімату свідчать про поступове зростання теплозабезпеченості території України та трансформацію гідротермічного режиму, що потребує адаптації технологій вирощування культур до нових умов господарювання [90].

В умовах посилення кліматичних ризиків особливого значення набуває впровадження адаптивних систем землеробства, здатних забезпечувати стабільність агроєкосистем та ефективне використання ґрунтово-кліматичних ресурсів. Одним із перспективних напрямів є органічне землеробство, у якому важлива роль належить сівозмінам, використанню побічної продукції попередників, сидеральних культур, органічних добрив, тощо. Такі агротехнологічні заходи сприяють підвищенню вмісту органічної речовини в ґрунті, покращенню його водоутримувальної здатності, активізації мікробіологічних процесів та підвищенню ефективності використання атмосферних опадів [91–94]. Саме тому в наших дослідженнях, проведених у

стаціонарному польовому досліді Панфільської дослідної станції ННЦ «ІЗ НААН» на чорноземі типовому малогумусному Лівобережного Лісостепу України, особливу увагу приділено вивченню впливу різних систем органічного удобрення у короткоротаційній сівозміні на продуктивність сої, пшениці ярої та гречки в умовах нестійкого зволоження. Оцінка ефективності таких систем набуває особливої актуальності в умовах сучасних кліматичних змін, оскільки дозволяє визначити шляхи підвищення адаптивності агроценозів, стабілізації продукційних процесів та забезпечення сталого функціонування органічних агроєкосистем.

Аналіз метеорологічних умов зимового періоду показав суттєві відхилення температурного режиму та кількості опадів від середньобаторічних значень, що є характерною ознакою сучасних кліматичних змін. За досліджуваній період зимові місяці переважно характеризувалися підвищеним температурним фоном та нерівномірним розподілом атмосферних опадів (додаток А).

У зимовий період 2023 року середня температура повітря в січні становила $-0,9^{\circ}\text{C}$, що було на $5,6^{\circ}\text{C}$ вище кліматичної норми ($-6,5^{\circ}\text{C}$). У лютому середня температура досягала $-1,1^{\circ}\text{C}$, перевищуючи норму на $4,1^{\circ}\text{C}$. Грудень також був значно теплішим за норму: середня температура становила $-0,6^{\circ}\text{C}$ проти багаторічної норми $-3,0^{\circ}\text{C}$. Водночас у січні випало лише 10 мм опадів, або 43,5 % від норми, тоді як у лютому та грудні кількість опадів перевищувала багаторічні показники відповідно на 14,3 та 106,5 %. Такі умови сприяли частим переходам температури через 0°C та нестійкому формуванню снігового покриву.

Зима 2024 року виявилася ще теплішою. Середня температура січня становила $-3,1^{\circ}\text{C}$, що на $3,4^{\circ}\text{C}$ перевищувало норму, тоді як у лютому спостерігалися аномально високі температури із середнім значенням $2,4^{\circ}\text{C}$, що на $7,6^{\circ}\text{C}$ вище багаторічного рівня. Грудень характеризувався додатною середньою температурою повітря ($0,0^{\circ}\text{C}$), перевищуючи норму на $3,0^{\circ}\text{C}$. Кількість опадів у зимові місяці також була значною: у січні випало 33 мм (143,5 % норми), у лютому – 50 мм (238,1 % норми), а в грудні – 45 мм (145,2 % норми).

Надлишкове зволоження в поєднанні з підвищеними температурами могло сприяти активізації мікробіологічних процесів у ґрунті та збільшенню втрат доступних форм азоту внаслідок вимивання.

Зимовий період 2025 року характеризувався контрастними погодними умовами. Січень був аномально теплим із середньою температурою 1,7 °С, що перевищувало норму на 8,2 °С. Натомість лютий виявився близьким до кліматичної норми, середня температура становила –5,5 °С. Грудень також був теплішим за норму на 3,6 °С. Кількість опадів у всі зимові місяці була меншою від середньобогаторічних значень: у січні випало 19 мм (82,6 % норми), у лютому – 11 мм (52,4 %), у грудні – 26 мм (83,9 %). Дефіцит опадів у поєднанні з підвищеним температурним режимом міг призвести до недостатнього накопичення продуктивної вологи в ґрунті перед початком весняної вегетації культур (додаток А).

Узагальнюючи результати, слід зазначити, що зимові періоди 2023–2025 рр. характеризувалися переважно позитивними аномаліями температури повітря, які становили від 2,4 до 8,2 °С відносно кліматичної норми. Найтеплішою була зима 2024 року, тоді як найбільший дефіцит опадів спостерігався взимку 2025 року. Такі погодні умови свідчать про тенденцію до пом'якшення зимового періоду та зростання кліматичної нестабільності, що необхідно враховувати при оцінці продуктивності культур короткоротаційної сівозміни, ефективності органічних систем удобрення та формуванні водного режиму чорнозему типового малогумусного в умовах Лівобережного Лісостепу України.

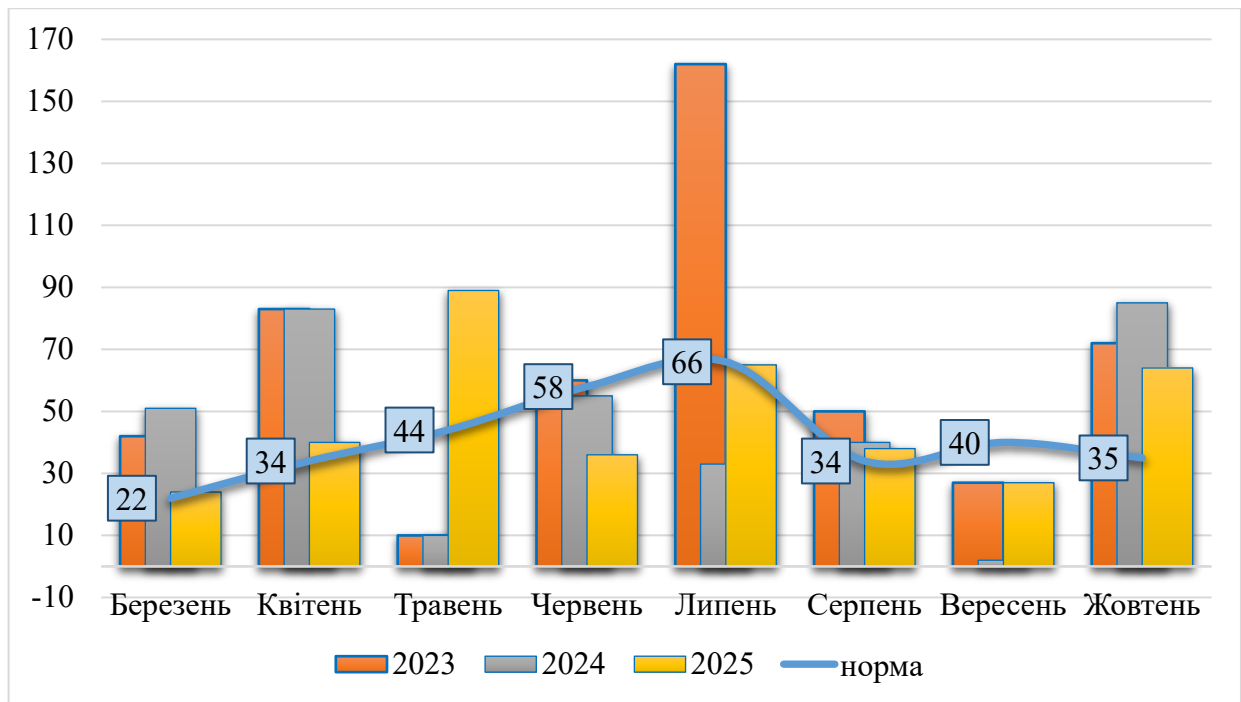
Погодні умови за вегетаційний період досліджуваних культур є одним із провідних чинників формування продуктивності агроценозів, оскільки визначають інтенсивність ростових процесів, особливості проходження фенологічних фаз розвитку рослин, ефективність використання елементів живлення та рівень реалізації генетичного потенціалу сільськогосподарських культур. Особливого значення метеорологічні чинники набувають в умовах органічного землеробства, де продуктивність культур значною мірою залежить

від природних процесів трансформації органічної речовини, активності ґрунтової мікробіоти та водного режиму ґрунту.

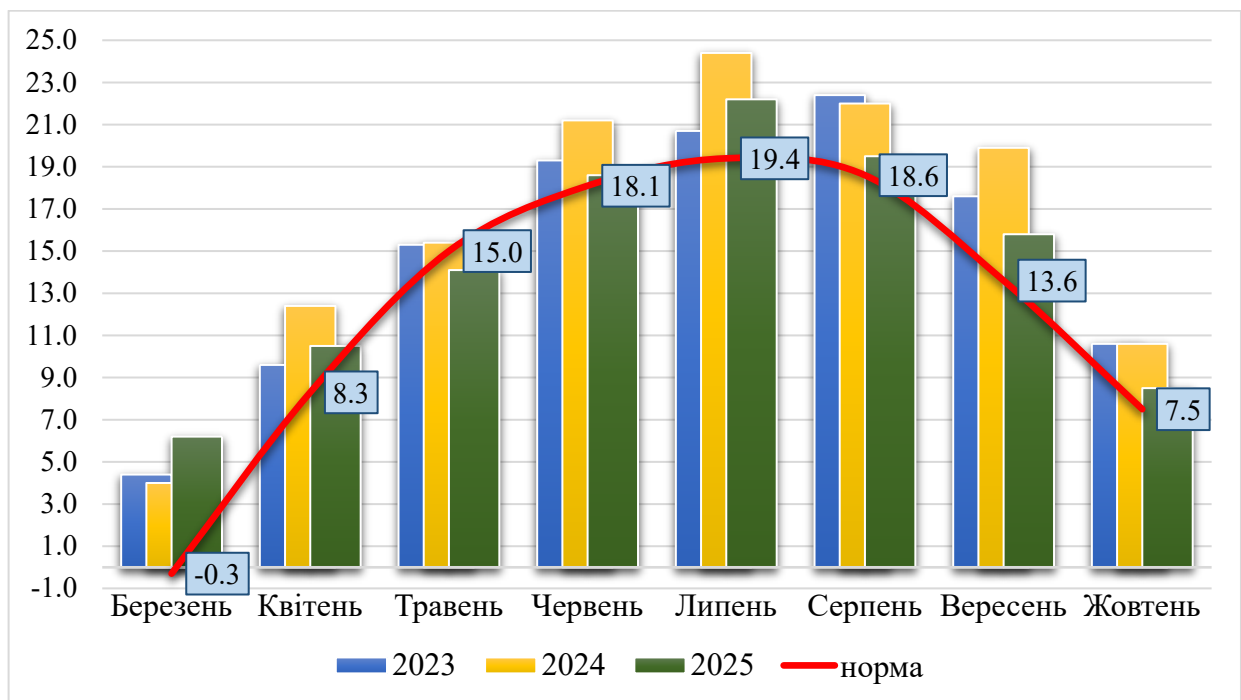
Зокрема, аналіз погодних умов вегетаційного періоду (березень-жовтень) свідчить про істотні міжрічні коливання температурного режиму та зволоження, що суттєво впливало на умови росту й розвитку культур короткоротаційної сівозміни. Упродовж усіх років досліджень спостерігалася стійка тенденція до підвищення температурного фону відносно середньобагаторічної норми, тоді як режим зволоження характеризувався значною нерівномірністю як між роками, так і в межах окремих місяців вегетації.

За сумою опадів найбільш сприятливим виявився 2023 рік, коли за вегетаційний період випало 506 мм опадів, що на 173 мм, або 52,0 %, більше від кліматичної норми (333 мм). При цьому основна частина надлишкової вологи припадала на липень (162 мм), що у 2,5 рази перевищувало середньобагаторічний показник. Таке зволоження сприяло накопиченню продуктивної вологи в ґрунті, однак надмірні опади в окремі періоди могли обмежувати аерацію ґрунту та активізувати розвиток хвороб. Водночас середня температура повітря за вегетаційний період становила 15,0 °С, що на 2,5 °С перевищувало норму, створюючи сприятливі умови для інтенсивного росту культур (рис. 2.1; 2.2; додаток А).

У 2024 році сформувалися найбільш контрастні погодні умови. Незважаючи на достатню суму опадів за вегетацію (359 мм), яка перевищувала норму на 7,8 %, їх розподіл був у край нерівномірним. Найбільший дефіцит вологи спостерігався у липні (33 мм проти 66 мм норми) та особливо у вересні (2 мм проти 40 мм норми), тоді як надлишкове зволоження відмічено навесні та в жовтні. Одночасно середня температура повітря досягла 16,2 °С, що на 3,7 °С перевищувало норму і було найвищим показником за весь період досліджень. Особливо аномально теплими були липень (+5,0 °С до норми) та вересень (+6,3 °С). Поєднання високих температур і дефіциту вологи в другій половині вегетації створювало умови для розвитку ґрунтової посухи та зростання водного стресу рослин.



**Рисунок 2.1 Сума опадів за вегетаційний період культур
короткоротаційної органічної сівозміни**



**Рисунок 2.2 Температура повітря за вегетаційний період культур
короткоротаційної органічної сівозміни**

Погодні умови 2025 року характеризувалися найменшою кількістю опадів за період вегетації – 383 мм, що лише на 50 мм перевищувало багаторічну норму,

однак їх розподіл був більш рівномірним порівняно з попередніми роками. Найбільше зволоження спостерігалось у травні (89 мм), що створило сприятливі умови для формування вегетативної маси культур. Разом із тим у червні та вересні відмічався дефіцит опадів (відповідно 36 і 27 мм), який частково компенсувався запасами продуктивної вологи, сформованими навесні. Температурний режим залишався підвищеним порівняно з нормою, однак був менш екстремальним, ніж у 2024 році (рис. 2.1; 2.2; додаток А).

Важливою закономірністю досліджуваного періоду є систематичне перевищення середньомісячної температури повітря над кліматичною нормою практично в усі місяці вегетації. Найбільші позитивні температурні аномалії спостерігалися у липні та вересні 2024 року, коли перевищення становило відповідно 5,0 та 6,3 °С. Це свідчить про посилення процесів аридизації клімату та збільшення частоти теплових стресів для сільськогосподарських культур. Одночасно підвищення температури сприяло прискоренню проходження фенологічних фаз розвитку рослин та збільшенню інтенсивності випаровування вологи з поверхні ґрунту.

Особливої уваги заслуговує тенденція до зростання контрастності зволоження. Якщо у 2023 році коефіцієнт варіації місячних опадів був зумовлений переважно надмірним зволоженням липня, то у 2024–2025 рр. відзначалося чергування місяців із надлишком та гострим дефіцитом вологи. Такі умови є характерними проявами сучасних кліматичних змін і значно ускладнюють прогнозування продуктивності агроценозів. Для органічних систем землеробства це має особливе значення, оскільки ефективність мінералізації органічної речовини, діяльність ґрунтової мікробіоти та доступність елементів живлення безпосередньо залежать від температурного та водного режимів ґрунту.

Отримані результати свідчать, що впродовж 2023–2025 рр. погодні умови вегетаційного періоду характеризувалися стійкою тенденцією до потепління та зростання нерівномірності атмосферного зволоження. Найсприятливішими за співвідношенням тепла і вологи були умови 2023 року, тоді як 2024 рік

відзначався найвищим температурним навантаженням і найбільшою контрастністю розподілу опадів. Саме такі погодні особливості могли істотно впливати на реалізацію потенціалу продуктивності культур короткоротаційної сівозміни, ефективність органічних систем удобрення, інтенсивність мікробіологічних процесів у ґрунті та формування показників родючості чорнозему типового малогумусного.

Отже, упродовж зимових періодів 2023–2025 рр. спостерігалася стійка тенденція до підвищення температурного фону порівняно із середньобагаторічними показниками, що свідчить про прояви сучасних кліматичних змін у підзоні нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України. Найбільші позитивні температурні аномалії відмічено у зимовий період 2024 і 2025 рр., коли середньомісячні температури окремих місяців перевищували кліматичну норму на 7–8 °С.

Режим атмосферного зволоження в зимовий період характеризувався значною мінливістю. Якщо зима 2024 року відзначалася надлишковою кількістю опадів, що сприяло поповненню запасів ґрунтової вологи, то зима 2025 року характеризувалася їх дефіцитом, особливо в лютому. Така нестабільність умов зволоження могла впливати на формування весняних запасів продуктивної вологи та початкові умови росту й розвитку культур сівозміни.

Поєднання підвищених температур і нерівномірного розподілу опадів створювало умови для активізації біологічних процесів у ґрунті в зимовий період, що могло впливати на інтенсивність мінералізації органічної речовини, трансформацію елементів живлення та ефективність органічних систем удобрення в наступному вегетаційному сезоні.

Вегетаційні періоди 2023–2025 рр. характеризувалися стабільним перевищенням середньомісячних температур повітря над кліматичною нормою, причому середня температура за вегетацію була вищою за багаторічні показники на 1,9–3,7 °С. Це свідчить про посилення теплозабезпеченості агроценозів та прискорення проходження фенологічних фаз розвитку культур короткоротаційної сівозміни.

Незважаючи на достатню або підвищену суму опадів за вегетаційний період, їх розподіл був нерівномірним. Найсприятливіші умови зволоження сформувалися у 2023 році, коли кількість опадів перевищила норму на 52,0 %, тоді як у 2024 і 2025 рр. спостерігалось чергування періодів надлишкового та недостатнього зволоження, що могло обмежувати реалізацію продуктивного потенціалу культур у критичні фази росту та розвитку.

Встановлені особливості погодних умов свідчать, що формування продуктивності сої, пшениці ярої та гречки в умовах органічної короткоротаційної сівозміни відбувалося під впливом поєднання підвищеного температурного режиму та нестабільного водозабезпечення. За таких умов особливого значення набувають органічні системи удобрення, які сприяють накопиченню органічної речовини, покращенню водоутримувальної здатності чорнозему типового малогумусного та підвищенню адаптивності агроценозів до кліматичних стресів.

2.3. Методика виконання досліджень

Дослідження проводилися в підзоні нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України на чорноземі типовому малогумусному грубопилювато-легкосуглинковому Панфільській дослідній станції Національного наукового центру «Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України» згідно наведеної нижче схеми та змісту варіантів (табл. 2.2).

Стаціонарний дослід з вивчення і розробки короткоротаційних сівозмін за органічного виробництва сільськогосподарської продукції в умовах змін клімату Лівобережного Лісостепу закладений у 2021 році на загальній площі 0,59 га.

Повторення дослід триразове, площа посівної ділянки 81 м², облікової – 60 м². Розміщення ділянок – систематичне. Технологія вирощування сільськогосподарських культур загальноприйнята і рекомендована для зони проведення досліджень, дозволених у органічному землеробстві [95–98].

Таблиця 2.2

**Схема стаціонарного дослід з вивчення короткоротаційної органічної
сівозміни в умовах Лівобережного Лісостепу –
Панфільська ДС ННЦ «ІЗ НААН»**

Культури сівозміни	Система удобрення
Соя	1. Побічна продукція попередника (контроль)
	2. Побічна продукція попередника + сидерат (гірчиця біла)
	3. Побічна продукція попередника + біодобриво «Біо-Гель»
	4. Побічна продукція попередника + сидерат (гірчиця біла) + біодобриво «Біо-Гель»
Пшениця яра	1. Побічна продукція попередника (контроль)
	2. Побічна продукція попередника + сидерат (гірчиця біла)
	3. Побічна продукція попередника + біодобриво «Біо-Гель»
	4. Побічна продукція попередника + сидерат (гірчиця біла) + біодобриво «Біо-Гель»
Гречка	1. Побічна продукція попередника (контроль)
	2. Побічна продукція попередника + сидерат (гірчиця біла)
	3. Побічна продукція попередника + біодобриво «Біо-Гель»
	4. Побічна продукція попередника + сидерат (гірчиця біла) + біодобриво «Біо-Гель»

У досліді висівали занесені до Державного реєстру сорти сільськогосподарських культур: Пшениця яра сорту Рання 93, Соя сорту Муза, Гречка сорту Син 3/02 [99]. Оригінатор сортів досліджуваних культур – ННЦ «ІЗ НААН». З метою підвищення фітоценотичного впливу досліджуваних культур на сегетальну рослинність норму висіву елітного насіння усіх культур підвищували на 10–15 % порівняно з рекомендованою для зони Лісостепу нормою (рис. 2.3). Післяжнивню висівали гірчицю білу як сидеральну культуру.



Рисунок 2.3. Загальний вигляд посівів культур (соє, пшениця яра, гречка) короткоротаційної сівозміни за органічного вирощування

З біодобрих застосовували «Біо-Гель» – рідке органічне добриво та біостимулятор комплексної дії на основі гумінових і фульвових речовин природного походження [100]. Препарат містить макроелементи: N – 0,30 %, P_2O_5 – 0,30 %, K_2O – 0,05 %, а також комплекс мікроелементів: Mn – 10,6–16,0 мг/л, Mo – 0,20–0,30 мг/л, Zn – 0,77–1,20 мг/л, Cu – 0,45–0,70 мг/л, Co – 0,53–0,80 мг/л, B – 0,45–0,70 мг/л. До складу препарату входять сапрофітні мікроорганізми природної органічної сировини, які активізують мікробіологічні процеси в

грунті, сприяють мінералізації органічних решток і покращують доступність елементів живлення для рослин (додаток Т 1) [101]. Норма внесення препарату по 1,5 л/га у два строки (повних сходів і цвітіння). «Біо-Гель» дозволений для використання в органічному виробництві сільськогосподарської продукції (додаток Т 2).

Програма і методика супутніх спостережень і досліджень. На час закладання і проведення польового стаціонарного дослідження застосовували загальноприйняті та рекомендовані методики [102–105].

Облік польової схожості насіння, виживання рослин і фенологічні спостереження проводили згідно «Методики державного сортовипробування сільськогосподарських культур» [106].

Відбір проб ґрунту проводили за ДСТУ 4287:2004 [107].

Визначення вологості ґрунту здійснювали пошарово до 100 см, через кожні 10 см згідно з ДСТУ ISO 11465-2001 Якість ґрунту. Визначення сухої речовини та вологи за масою. Гравіметричний метод [108]. Вологість ґрунту і запас продуктивної вологи визначали у динаміці – два рази за вегетацію (у час сівби та збирання). Зразки висушували за температури 105⁰С до незмінної ваги. Сумарний показник і коефіцієнт водоспоживання визначали методом спрощеного водного балансу за формулою:

$$K_v = \frac{W \times 10}{U_{\text{сух.}}}$$

де:

- K_v – витрати вологи на формування 1 т абсолютно сухої продукції, мм/т;
- W – сумарні витрати вологи за вегетацію культури, мм;
- $U_{\text{сух.}}$ – урожайність абсолютно сухої речовини або основної й побічної продукції, т/га;
- 1 мм = 10 м³/га.

Агрохімічний аналіз ґрунту проводили із застосуванням методик згідно з ДСТУ, ISO: уміст гумусу в ґрунті визначали за методом Тюріна (ДСТУ 4289:2004) [109]; рН – потенціометрично за ДСТУ ISO 10390:2007 Якість ґрунту.

Визначення рН [110]; нітратний азот – іонометричним методом (ДСТУ 4725:2007) [111]; вміст легкогідролізного азоту методом Корнфілда (ДСТУ 7863:2015) [112]; рухомі сполуки фосфору та калію за Чириковим згідно ДСТУ 4115-2002 Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова [113]; вміст рухомих сполук важких металів і мікроелементів у ґрунті визначали згідно ДСТУ 4770:2007 [114]. Якість та показники родючості ґрунту визначали за ДСТУ 4362:2004 [115], а оцінку результатів аналізу проводили за допомогою прийнятих методик [116, 117].

Целюлозоруйнівну активність ґрунту визначали аплікаційним методом Мішустіна за допомогою лляної тканини на скляних пластинах, поміщених в орний шар ґрунту – зону інтенсивного розвитку кореневих систем рослин. Термін експозиції пластин – 30 днів.

Аплікаційний метод (метод лляного полотна) визначали за наступною формулою:

$$A = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

де:

- A – целюлозоруйнівна активність, %;
- m_1 – початкова маса зразка, г;
- m_2 – маса після експозиції, г.

Облік забур'яненості посівів сої, пшениці ярої та гречки в короткоротаційній сівозміні проводили кількісним і кількісно-ваговим методами для визначення чисельності бур'янів, сирої або сухої маси, видового складу та ступеня забур'яненості посівів.

Кількість соломи, отриманої з урожаєм і заробленої в ґрунт, визначали методом пробного снопа, який відбирали для аналізу структури врожаю.

Облік врожаю здійснювали методом прямого комбайнування шляхом суцільного обмолоту всієї площі облікової ділянки. Разом зі зважуванням врожаю зерна пшениці ярої, сої та гречки з кожної ділянки, відбирали середні

проби для визначення вологості та хімічного складу отриманої продукції [118, 119]. Визначення показників якості врожаю здійснювали методом інфрачервоної спектроскопії на інфрачервоному аналізаторі NIR Systems 4500 у відділі агроєкології і масових аналізів ННЦ «ІЗ НААН» (ДСТУ 4117:2007 Зерно та продукти його переробки) [120]. У зерні визначали вміст протеїну, білка, клейковини, золи, жиру, крохмалю, фосфору і калію. Оцінку якісних показників отриманого зерна проводили згідно ДСТУ [121–123].

Структуру врожаю визначали методом індивідуального аналізу рослин перед збиранням урожаю. На кожному варіанті дослідів відбирали по 20–25 типових рослин, у яких визначали основні елементи продуктивності: висоту рослин, кількість генеративних органів, масу рослин, коренів і насіння (зерна) та масу 1000 насінин (зерен). Зокрема, масу 1000 зерен (насінин) визначали за ДСТУ 4138-2002 [118].

Порівняльну оцінку продуктивності сівозмін здійснювали за обсягом продукції з 1 га сівозмінної площі, яку було перераховано на зернові одиниці за коефіцієнтами В. Д. Гревцова (1991) [124], кормові одиниці та перетравний протеїн за таблицями М. Ф. Томме (1969). Вихід кормових одиниць і перетравного протеїну визначали розрахунковим методом за фактичною врожайністю основної продукції культур із використанням показників поживності кормів [125–127] та згідно вимог ДСТУ 8066:2015 [128].

Статистичну обробку отриманих результатів щодо обліку врожаю та продуктивності проводили методом дисперсійного аналізу [129].

Економічну ефективність досліджуваних культур і короткоротаційних органічних сівозмін в цілому проводили на основі сучасних методів розрахунку економічних показників із використанням технологічних карт і цін, що склалися в період проведення досліджень та за допомогою відповідних розрахункових таблиць і формул [130, 131].

Енергетичну ефективність окремих досліджуваних культур і короткоротаційних органічних сівозмін в цілому проводили за методикою енергетичного аналізу сільськогосподарського виробництва О. К.

Медведовського, П. І. Іваненка [132] та відповідних методичних рекомендацій [133, 134].

Математичний аналіз отриманих результатів у польових дослідженнях проводили за допомогою комп'ютерної техніки на основі спеціальних програмних пакетів, які мають досить широкий набір методів математичної статистики [135].

Статистичну обробку отриманих у дослідженнях результатів проводили методом варіаційної статистики на основі розрахунку середнього арифметичного ($\bar{M}$), середньоквадратичної похибки (σ), достовірності різниці між порівнювальними показниками (P) та показу вірогідності в таблицях (умовні позначення; $P > 0,95$; $P > 0,99$; $P > 0,999$), в роботі, відповідно, позначені зірочками. **Коефіцієнт варіації (V)**, що є відношенням середнього квадратичного відхилення S до середнього арифметичного $\bar{X}$ та виражається у відсотках розраховували за формулою:

$$V = \frac{S}{\bar{X}} * 100\%$$

де:

- V – коефіцієнт варіації, %;
- S – стандартне відхилення;
- $\bar{M}$ – середнє арифметичне значення досліджуваної ознаки.

За величиною коефіцієнта варіації мінливість ознаки оцінювали як незначну – до 10 %, середню – 10–20 %, значну – понад 20 %.

РОЗДІЛ 3

ВОДНИЙ ТА ПОЖИВНИЙ РЕЖИМИ ҐРУНТУ В ОРГАНІЧНІЙ КОРОТКОРОТАЦІЙНІЙ СІВОЗМІНІ

Однією з основних передумов ефективного функціонування сучасного аграрного виробництва є раціональне використання земельних ресурсів, підтримання та відтворення родючості ґрунтів, а також забезпечення стабільної продуктивності сільськогосподарських культур. Вирішення цих завдань значною мірою залежить від впровадження науково обґрунтованих систем землеробства, важливою складовою яких є сівозміна [3, 66].

Раціональне чергування культур у поєднанні з відповідними системами удобрення та агротехнічними заходами забезпечує повніше використання природного й біологічного потенціалу агроєкосистем, створює умови для реалізації продуктивності сортів і гібридів, сприяє збереженню вологи, активізації мікробіологічних процесів, поліпшенню агрофізичних та агрохімічних властивостей ґрунту. У результаті підвищуються врожайність і якість продукції, підтримується екологічна рівновага агроландшафтів та посилюється стійкість аграрного виробництва [3, 66, 136].

За сучасних кліматичних змін одним із визначальних чинників продуктивності агроценозів є забезпеченість рослин вологою. Підвищення температури повітря, тривалі бездощові періоди та нерівномірність опадів посилюють дефіцит продуктивної вологи й ризики недобору врожаю. Встановлена тенденція до потепління та значна мінливість атмосферного зволоження зумовлюють необхідність адаптації систем землеробства до нових агрокліматичних умов [137–139].

Ефективність використання ґрунтової вологи безпосередньо пов'язана з поживним режимом ґрунту. Дефіцит доступних елементів живлення обмежує розвиток кореневої системи, інтенсивність фізіолого-біохімічних процесів і здатність рослин засвоювати воду. Азот, фосфор і калій перебувають у ґрунті в

різних за доступністю формах, трансформація яких визначається процесами мінералізації, мобілізації, іммобілізації, сорбції та десорбції. Їх інтенсивність залежить від типу й гранулометричного складу ґрунту, вмісту гумусу, активності мікроорганізмів і гідротермічних умов [140–144].

Збалансоване мінеральне живлення забезпечує нормальне проходження фотосинтезу, дихання, синтезу білків і вуглеводів, тоді як порушення співвідношення елементів погіршує ріст, продуктивність і якість урожаю. Надлишок азоту може спричиняти накопичення нітратів і затримку досягання, фосфору – непродуктивне посилення енергетичного обміну, а калію – обмеження засвоєння кальцію та магнію внаслідок іонного антагонізму. Тобто, стабільна продуктивність агроценозів формується за комплексної оптимізації сівозміни, водного й поживного режимів ґрунту [145–151].

Отже, управління водним і поживним режимами є одним із ключових чинників забезпечення стабільної продуктивності агроценозів та збереження родючості ґрунту в умовах сучасних кліматичних змін. За умов органічного землеробства провідна роль у підтриманні оптимального водного та поживного режимів ґрунту належить сівозмінам та системах раціонального удобрення, які сприяють поповненню запасів органічної речовини, активізації мікробіологічної діяльності та поступовому вивільненню доступних форм азоту, фосфору й калію.

3.1. Параметри формування запасів продуктивної вологи ґрунту в системі короткоротаційної сівозміни

Кількість і сезонний розподіл опадів у поєднанні з температурним режимом суттєво впливають на продуктивність сільськогосподарських культур. В Україні підвищення температури та дефіцит опадів погіршують умови вирощування культур, підвищуючи ризик посух і деградації ґрунтів, а зменшення кількості опадів призводить до зниження запасів ґрунтової вологи [138]. Недостатній рівень вологозабезпечення та дефіцит елементів живлення у ґрунті належать до основних чинників, що обмежують урожайність

сільськогосподарських культур. Одним із ефективних способів оптимізації використання води та поживних речовин є впровадження науково обґрунтованих сівозмін [152].

Останніми роками спостерігається погіршення водного режиму чорноземів та зниження рівня вологозабезпечення рослин, що пов'язано зі змінами клімату, проявами екстремальних погодних явищ, розвитком ерозійних процесів і недотриманням агротехнічних вимог. Це зумовлює необхідність в удосконаленні основних елементів систем землеробства та забезпеченні збалансованого водного режиму ґрунту [153, 154].

Отже, вивчення ефективності біологізації сівозмін за рахунок застосування різних систем удобрення органічного спрямування та їх вплив на вміст і динаміку продуктивної води в ґрунті є актуальним і своєчасним.

Як відмічено, середньорічна кількість опадів на території Панфільської ДС, за даними багаторічних спостережень Яготинської метеостанції, знаходиться в інтервалі 250–670 мм за середнього значення 468 мм. У кліматичному відношенні це підзона нестійкого зволоження Лісостепу.

Поточні дослідження показали, що протягом вегетаційного періоду режим вологості ґрунту в сівозмінах істотно змінювався і в його динаміці спостерігається чітка періодичність. Зокрема, у весняно-літній період ґрунтова вода більшою мірою витрачалася на формування урожаю і частково на фізичне випаровування з поверхні ґрунту.

За результатами досліджень у 2023–2025 рр., на час сівби ярих культур короткоротаційної органічної сівозміни найменші запаси продуктивної води зафіксовано в посівах гречки в 0–20 см шарі ґрунту 29,7 мм за комплексного застосування добрив (побічна продукція попередника, сидерат, біодобриво). За внесення лише побічної продукції попередника (п. п. п.) ці показники були на рівні 29,8 мм, тоді як за застосування п. п. п. із сидератом – 30,8 мм, що на 1,1 мм більше, ніж за комплексного внесення органічних добрив (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

**Вміст продуктивної вологи в ґрунті на час сівби зернових культур,
мм, середнє за 2023–2025 рр.**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	0–50	0–100
Соя	п. п. п.* (контроль)	33,7	79,8	145,6
	п. п. п. + сидерат**	32,3	73,6	137,0
	п. п. п. + біодобриво***	32,4	73,0	138,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	32,6	76,8	135,7
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		32,7±0,4	75,8±1,8	139,2±2,6
$V, \%$		2,0	4,1	3,2
S		0,7	3,1	4,4
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	41,9	77,8	167,4
	п. п. п. + сидерат	37,8	77,6	156,0
	п. п. п. + біодобриво	37,1	76,6	158,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	35,3	73,0	160,7
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		38,0±1,6	76,3±1,3	160,6±2,8
$V, \%$		7,3	2,9	3,1
S		2,8	2,2	4,9
Гречка	п. п. п. (контроль)	29,8	78,2	159,2
	п. п. п. + сидерат	30,8	79,5	149,4
	п. п. п. + біодобриво	30,1	78,3	149,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	29,7	69,4	144,1
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		30,1±0,3	76,4±2,7	150,5±3,6
$V, \%$		1,6	6,1	4,2
S		0,5	4,7	6,3

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – зірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Найбільші ж запаси продуктивної вологи на час сівби були під посівами пшениці ярої 35,3–41,9 мм у 0–20 см шарі ґрунту за дещо вищого накопичення вологи на контролі 41,9 мм, що на 4,1 мм більше порівняно з варіантом, де застосовували п. п. п. із сидератом і на 4,8 мм більше, ніж за внесення п. п. п. із

біодобривом. Найменше продуктивної вологи під пшеницею було при комплексному застосуванні біодобрив – 35,3 мм, що на 6,6 мм або 16 % менше, ніж на контролі, варіант, який передбачає внесення лише побічної продукції попередника.

Запаси продуктивної вологи під посівами сої в середньому за три роки досліджень були в межах від 32,3 до 33,7 мм у цьому ж горизонті за дещо більшого вмісту вологи на контролі (п. п. п.), що на 1,3–1,4 мм більше, ніж за внесення під культуру побічної продукції попередника із біодобривом («Біо-Гель») і сидератом (гірчицею білою) відповідно та на 1,1 мм або на 3 %, ніж за застосування комплексної системи удобрення (п. п. п. + сидерат + біодобриво).

У 0–50 і 0–100 см шарах ґрунту більше продуктивної вологи було на контрольних варіантах під всіма культурами сівозміни, де ці показники становили 77,8–79,8 мм і 145,0–167,4 мм відповідно, крім гречки в 0–50 см горизонті, де більше запасів вологи було за внесення під культуру п. п. п. із сидератом – 79,5 мм. За внесення побічної продукції попередника із сидеральним посівом під культури 3-пільної сівозміни у 0–50 см шарі ґрунту запаси продуктивної вологи були на рівні 73,6 мм у посівах сої, 77,6 мм у посівах пшениці ярої та 79,5 мм у посівах гречки. У 0–100 см шарі ґрунту за такого ж удобрення вологозапаси були на рівні 148,2; 156,0 та 149,4 мм відповідно.

За комплексного застосування біодобрив вміст продуктивної вологи в 0–100 см шарі ґрунту був на рівні 135,7 мм у посівах сої, 160,7 мм у посівах пшениці ярої та 144,1 мм у посівах гречки, що на 4–9 % менше, ніж на контролі. У 0–50 см шарі ці показники становили 76,8; 73,0 та 69,4 мм відповідно, що на 4–11 % менше, ніж за внесення побічної продукції попередника (див. табл. 3.1).

Слід відмітити, що запаси продуктивної вологи в ґрунті на час сівби і сходів досліджуваних культур короткоротаційної органічної сівозміни були цілком достатніми для появи дружніх сходів і активного росту та розвитку пшениці ярої, сої та гречки.

Аналізуючи запаси продуктивної вологи в ґрунті за роками досліджень виявлено, що у 2023 році найбільше вологозапасів на час сівби було в посівах сої

32,0–33,5 мм у 0–20 см шарі та 67,9–82,0 мм у 0–50 см відповідно, тоді як у 0–100 см шарі ґрунту – в посівах пшениці ярої та гречки, де ці показники становили 137,4–153,2 мм. Аналізуючи системи удобрення з'ясовано, що найкраще нагромадження продуктивної вологи за вирощування сої та пшениці ярої в 3-пільній сівозміні відбулося на контролі, що передбачає внесення лише побічної продукції попередника (153,2–155,0 мм у 0–100 см горизонті), що на 10–13 % більше, ніж за внесення п. п. п. із сидератом і на 7–32 %, ніж за комплексної системи удобрення. Тоді як запаси вологи під гречкою в цій же сівозміні найбільшими були за комплексної системи удобрення 146,8 (додаток Б 1).

У 2024 році найбільші запаси продуктивної вологи на час сівби культур сівозміни в 0–20 см шарі ґрунту були в посівах пшениці ярої (34,0–44,9 мм), тоді як у 0–50 і 0–100 см горизонтах в посівах гречки, де ці показники становили 73,8–96,5 і 156,3–210,6 мм відповідно. Найбільш вологоощадною у 0–50 см шарі ґрунту виявилася система удобрення, яка передбачала внесення п. п. п. із сидератом 75,3–96,5 мм, а в 0–100 см кращі запаси вологи були на контролі 137,5–210,6 мм, крім сої, де більший вміст вологи був за комплексного удобрення – 145,9 мм (додаток Б 1).

У 2025 році найбільше вологозапасів на час сівби було в посівах пшениці ярої 43,5–47,4 мм у 0–20 см шарі та у 0–100 см шарі ґрунту відповідно – 160,3–169,8 мм, тоді як у 0–50 см у посівах сої 76,3–79,4 мм. Аналізуючи системи удобрення з'ясовано, що найкраще нагромадження продуктивної вологи в 0–20 см шарі ґрунту за вирощування пшениці ярої та гречки в 3-пільній сівозміні відбулося на контролі, що передбачає внесення лише побічної продукції попередника (29,7–47,4 мм), тоді як під посівами сої більше продуктивної вологи було за системи удобрення, яка передбачає внесення п. п. п. із сидератом і біодобривом – 33,5 мм. У 0–100 см горизонті найбільші запаси вологи були за внесення комплексної системи (129,1–169,8 мм), що на 1–6 % більше, ніж за внесення п. п. п. із сидератом (додаток Б 1).

Запаси продуктивної вологи в ґрунті, в середньому за 2023–2025 рр., на час збирання врожаю досліджуваних культур короткоротаційної органічної

сівозміни були контрастними, тобто найменше вологи було в посівах сої 9,3–12,0 мм, а найбільше у посівах пшениці ярої – 20,1–21,1 мм у 0–20 см шарі ґрунту. Вміст продуктивної вологи у посівах гречки був на рівні 14,2–15,2 мм у 0–20 см горизонті відповідно (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

**Вміст продуктивної вологи в ґрунті на час збирання врожаю
зернових культур, мм, середнє за 2023–2025 рр.**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	0–50	0–100
Соя	п. п. п.* (контроль)	12,0	16,0	34,9
	п. п. п. + сидерат**	10,1	15,9	43,1
	п. п. п. + біодобриво***	9,9	16,9	44,3
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	9,3	19,4	46,4
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		10,3±0,7	17,1±0,9	42,2±2,9
$V, \%$		11,2	9,6	12,0
S		1,2	1,6	5,0
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	20,6	35,1	52,6
	п. п. п. + сидерат	20,1	38,7	57,7
	п. п. п. + біодобриво	20,7	40,1	57,7
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	21,1	42,8	60,7
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		20,6±0,2	39,2±1,8	57,2±1,9
$V, \%$		1,9	8,2	5,9
S		0,4	3,2	3,4
Гречка	п. п. п. (контроль)	15,2	22,2	43,8
	п. п. п. + сидерат	14,9	17,7	35,2
	п. п. п. + біодобриво	14,8	18,6	38,3
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	14,2	17,5	46,9
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		14,8±0,2	19,0±1,3	41,1±3,0
$V, \%$		2,8	11,5	12,9
S		0,4	2,2	5,3

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Тенденція по вмісту вологи у глибших шарах ґрунту як і в 0–20 см горизонті зберіглася. Так, у 0–50 см шарі ґрунту вологозапаси були на рівні 15,9–19,4 мм у посівах сої, 17,5–22,2 мм у посівах гречки та 35,1–42,8 мм у посівах пшениці ярої. У 0–100 см шарі ґрунту ці показники були в межах 34,9–46,4 мм, 37,8–46,9 і 52,6–60,7 мм відповідно.

Найбільші запаси продуктивної вологи в 0–50 см шарі ґрунту на період збирання врожаю сої та пшениці ярої забезпечило комплексне застосування біодобрих (побічна продукція попередника + сидерат + «Біо-Гель»), що на 2–18 % більше порівняно до удобрення із сидеральним посівом і на 11–17 % більше порівняно з контролем. Тоді як на період збирання врожаю гречки найбільше вологи в цьому ж горизонті було на контролі 22,2 мм, що на 21 % більше, ніж за систем удобрення.

В 0–100 см шарі ґрунту кращою системою удобрення щодо вологозапасів була система, яка передбачала внесення під культури 3-пільної сівозміни побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива, де вона забезпечила вміст продуктивної вологи для сої 46,4 мм, пшениці ярої – 60,7 та гречки – 46,9 мм, що на 5–25 % більше, ніж за внесення під культури сівозміни п. п. п. із сидератом і на 13–25 % більше, ніж на контролі (див. табл. 3.2).

Аналізуючи запаси продуктивної вологи в ґрунті на час збирання врожаю досліджуваних культур короткоротаційної органічної сівозміни за роками виявлено, що у 2023 році вміст вологи був контрастним, тобто найменше вологи було в посівах сої 6,7–7,3 мм, а найбільше у посівах пшениці ярої – 38,0–41,8 мм у 0–20 см шарі ґрунту, що пов'язано з різними строками збирання врожаю цих культур і погодними умовами в ці періоди. Так, при збиранні врожаю пшениці ярої була дощова погода з великою кількістю опадів (162 мм при нормі 66 мм), що й вплинуло на строки збирання, а відповідно й на кількість вологи в ґрунті (див. додаток А). Вміст продуктивної вологи у посівах гречки був на рівні 16,2–19,0 мм у 0–20 см горизонті відповідно (додаток Б 2).

Так, при збиранні врожаю пшениці ярої в 2024 році опадів було в двічі менше норми (33 мм при нормі 66 мм), що й вплинуло відповідно на кількість

вологи в ґрунті. На час збирання сої та гречки був надзвичайно посушливий період, де опадів випало лише 2 мм при нормі 40 мм (див. додаток А), що відповідно відобразилося на вмісту продуктивної вологи в ґрунті, де вологозапаси в посівах сої становили 5,7–8,6 мм, пшениці ярої – 4,2–5,3 та гречки – 8,0–11,2 мм у 0–20 см шарі ґрунту. В 0–100 см шарі ґрунту на період збирання врожаю ці показники були на рівні 17,9–22,3 мм, 11,9–15,6 та 17,1–28,7 мм у посівах сої, пшениці ярої та гречки відповідно (додаток Б 2).

У 2025 році найменше продуктивної вологи на період збирання врожаю було в посівах гречки 15,5–18,4 мм, а найбільше у посівах сої – 13,3–20,7 мм у 0–20 см шарі ґрунту, що пов'язано з різними строками збирання врожаю цих культур і погодними умовами в ці періоди. Вміст продуктивної вологи у посівах пшениці ярої був на рівні 15,8–18,9 мм у 0–20 см горизонті відповідно. В 0–100 см горизонті ці показники були на рівні 26,2–31,9 мм, 36,2–45,3 та 36,3–43,5 мм у посівах гречки, сої та пшениці ярої відповідно (додаток Б 2).

Таким чином, на час сівби культур короткоротаційної органічної сівозміни запаси продуктивної вологи в ґрунті були достатніми для отримання дружних сходів та формування оптимальної густоти рослин. Простежувалася закономірність, за якої найбільші запаси вологи накопичувалися під посівами пшениці ярої (35,3–41,9 мм у 0–20 см та 156,0–167,4 мм у шарі 0–100 см), тоді як найменшими вони були під гречкою (29,7–30,8 та 144,1–159,2 мм відповідно).

На період збирання врожаю запаси продуктивної вологи істотно зменшувалися внаслідок її використання рослинами на формування основної й побічної продукції та впливу погодних умов вегетаційного періоду. Найбільші залишкові запаси вологи були характерні для посівів пшениці ярої (52,6–60,7 мм у шарі 0–100 см), тоді як найменші – для сої та гречки. Встановлено тенденцію до збільшення залишкових запасів продуктивної вологи за комплексного застосування побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива, особливо в метровому шарі ґрунту, де вміст вологи перевищував контроль на 13–25 %.

Визначення загальних витрат вологи в середньому за 2023–2025 рр. досліджень показало, що найбільші витрати продуктивної вологи за

вегетаційний період з-поміж культур були за вирощування гречки 325,3–343,5 мм, а найменші за вирощування сої 307,6–329,1 мм (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

**Динаміка продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см,
середнє за 2023–2025 рр.**

Культура	Система удобрєння	Запаси вологи в ґрунті, мм		Витрати вологи з ґрунту, мм	Випало опадів за період вегетації, мм	Загальні витрати вологи, мм
		перед посівом	в кінці вегетації			
Соя	п. п. п.* (контроль)	145,6	34,9	110,7	218,3	329,1
	п. п. п.+сидерат**	137,0	43,1	93,9	218,3	312,3
	п. п. п. + біодобриво***	138,4	44,3	94,2	218,3	312,5
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	135,7	46,4	89,3	218,3	307,6
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		139,2±2,6	42,2±2,9	97,0±5,4	–	315,4±5,4
$V, \%$		3,2	12,0	9,7	–	3,0
S		4,4	5,0	9,4	–	9,4
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	167,4	52,6	114,8	216,5	331,3
	п. п. п. + сидерат	156,0	57,7	98,3	216,5	314,9
	п. п. п. + біодобриво	158,2	57,7	100,5	216,5	317,0
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	160,7	60,7	100,0	216,5	316,5
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		160,6±2,8	57,2±1,9	103,4±4,4	–	319,9±4,4
$V, \%$		3,1	5,9	7,4	–	2,4
S		4,9	3,4	7,7	–	7,7
Гречка	п. п. п. (контроль)	159,2	43,8	115,3	228,2	343,5
	п. п. п. + сидерат	149,4	35,2	114,2	228,2	342,4
	п. п. п. + біодобриво	149,2	38,3	111,0	228,2	339,1
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	144,1	46,9	97,2	228,2	325,3
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		150,5±3,6	41,1±3,0	109,4±4,8	–	337,6±4,8
$V, \%$		4,2	12,9	7,7	–	2,5
S		6,3	5,3	8,4	–	8,4

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Пшениця яра за період вегетації витрачала продуктивну вологу на рівні від 314,9 до 331,3 мм за різних систем органічного удобрення.

Згідно аналізу систем удобрення встановлено, що найбільше витрачали продуктивну вологу за період вегетації культури короткоротаційної органічної сівозміни на контролі (побічна продукція попередника) 329,1–343,5 мм, а найменше – за комплексного застосування біодобрих для сої та гречки (п. п. п. + сидерат + біодобриво «Біо-Гель») 307,6–325,3 мм, що на 18,2–21,5 мм або на 5–7 % менше, ніж за внесення лише побічної продукції (контроль), тоді як для пшениці ярої найменші витрати води за період вегетації культури були при застосуванні п. п. п. із сидератом – 314,9 мм.

Загалом для культур сівозміни за системи удобрення, яка передбачає використання побічної продукції попередника в поєднанні з сидеральним посівом гірчиці білої, витратили води становили 312,3–342,4 мм, тоді як за внесення п. п. п. із біодобривом відповідно 312,5–339,1 мм, що на 16,6 мм для сої, 14,3 мм для пшениці ярої та на 4,4 мм для гречки менше, ніж на контролі та на 4,9 мм, 0,5 та 13,8 мм відповідно більше, ніж за комплексної системи удобрення.

За період вегетації досліджуваних культур короткоротаційної сівозміни опадів випало, в середньому за три роки досліджень, для пшениці ярої – 216,5 мм, для сої – 218,3 мм і для гречки – 228,2 мм відповідно (табл. 3.3).

Таким чином, запаси продуктивної води в ґрунті за вегетаційний період 2023–2025 років досліджуваних культур короткоротаційної органічної сівозміни були в цілому достатніми для отримання хорошого врожаю.

Аналізуючи загальні витрати води за роками досліджень визначено, що в 2023 році найвищі показники отримано за вирощування сої 342,2–416,2 мм, а найнижчі за вирощування пшениці ярої 274,8–300,2 мм. Гречка витрачала воду за період вегетації в межах 358,0–395,1 мм. Кількість опадів за польовий період культур короткоротаційної сівозміни становила 256,0 мм для пшениці ярої, 308,0 і 308,5 мм для гречки і сої відповідно (додаток Б 3).

Найбільше витрачали продуктивну вологу за період вегетації культури короткоротаційної органічної сівозміни на контролі (побічна продукція попередника) 300,2–416,2 мм, а найменше – за комплексної системи удобрення (п. п. п. + сидерат + біодобриво) 275,2–358,0 мм. За системи удобрення, яка включає в себе використання побічної продукції попередника в поєднанні з сидеральним посівом під культури, витратили вологи становили 275,7–395,1 мм.

Визначення загальних витрат вологи в 2024 році показало, що найвищі витрати продуктивної вологи отримано за вирощування пшениці ярої 297,1–318,7 мм і гречки 273,7–316,4 мм, а найнижчі за вирощування сої 242,1–258,1 мм. Кількість опадів за польовий період культур короткоротаційної сівозміни становила 147,3 мм для пшениці ярої, 134,5 мм для гречки і сої відповідно (додаток Б 3).

Найбільше витрачали продуктивну вологу за період вегетації культури короткоротаційної органічної сівозміни на контролі (побічна продукція попередника) 250,8–318,7 мм, найменше ж відповідно за комплексного застосування біодобрив (п. п. п. + сидерат + «Біо-Гель») 258,1–297,1 мм, крім сої, де найнижчі витрати вологи були за внесення під культуру п. п. п. із сидератом 242,1 мм.

За результатами досліджень щодо визначення загальних витрат вологи визначено, що в 2025 році найвищі показники отримано за вирощування пшениці ярої 363,1–377,2 мм, а найнижчі за вирощування сої 318,0–322,6 мм. Гречка витрачала вологу за період вегетації в межах 341,5–344,5 мм. Кількість опадів за польовий період культур короткоротаційної сівозміни становила 246,3 мм для пшениці ярої, 242,0 і 212,0 мм для гречки і сої відповідно (додаток Б 3).

Найменше витрачали продуктивну вологу за період вегетації культури короткоротаційної органічної сівозміни за внесення під культури побічної продукції попередника із сидеральним посівом 318,0–363,1 мм, а найбільше – за комплексного застосування біодобрив (п. п. п. + сидерат + «Біо-Гель») 322,6–377,2 мм. На контролі, що передбачав використання лише побічної продукції попередника, витратили вологи становили 320,2–375,1 мм.

Таким чином, згідно аналізу динаміки продуктивної вологи в ґрунті виявлено, що протягом вегетаційного періоду її запаси закономірно зменшувалися внаслідок використання рослинами на формування врожаю та непродуктивних втрат через випаровування. Найбільші загальні витрати вологи були характерні для гречки (325,3–343,5 мм), дещо меншими вони були у пшениці ярої (314,9–331,3 мм), а найнижчими – у сої (307,6–329,1 мм). Встановлено тенденцію до більш економного використання ґрунтової вологи за комплексної системи органічного удобрення (побічна продукція попередника + сидерат + біодобриво), за якої загальні витрати вологи для сої та гречки були на 5–7 % нижчими порівняно з контролем.

3.2. Вплив сівозмінного фактору та органічного удобрення на споживання вологи культурами сівозміни

Водний режим ґрунту є одним із головних чинників продуктивності агроценозів в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України. Посилення температурного режиму, нерівномірність опадів і часті посухи зумовлюють необхідність оцінювати не лише загальне водоспоживання культур, а й ефективність перетворення використаної вологи у врожай.

В органічному землеробстві особливого значення набувають агротехнологічні заходи, які підвищують водоутримувальну здатність ґрунту, активізують розвиток кореневої системи та забезпечують раціональніше використання вологи. Тому важливими показниками є сумарні витрати води, коефіцієнт водоспоживання та витрати вологи на формування одиниці абсолютно сухої основної й побічної продукції. За близьких величин загального водоспоживання органічні й біологізовані системи удобрення сприяють накопиченню більшої сухої біомаси та підвищують водопродуктивність агроценозів [155–157].

За результатами досліджень, у середньому за 2023–2025 рр., найвищі загальні витрати води були характерні для гречки – 325,3–343,5 мм, дещо нижчі – для пшениці ярої – 314,9–331,3 мм, а найменші – для сої – 307,6–329,1 мм. Однак за водоемністю формування урожаю культури істотно відрізнялися. Зокрема, найбільші витрати води на 1 т абсолютно сухої речовини відмічено у гречки – від 708,7 до 1087,0 м³/т, що свідчить про її вищу водоемність порівняно з іншими культурами сівозміни, урожайність абсолютно сухої основної й побічної продукції при цьому була на рівні 3,16–4,59 т/га залежно від системи удобрення (табл. 3.4).

Витрати води на формування основної й побічної речовини урожаю сої становили 643,5–973,7 м³/т за найменших витрат води при застосуванні комплексної системи удобрення. Урожайність абсолютно сухої маси залежно від добрив була в межах від 3,38 до 4,78 т/га. Пшениця яра в умовах дослідження забезпечувала найефективніше використання води на формування одиниці сухої біомаси, зокрема, витрати води склали 375,4–588,5 м³/т за урожаю абсолютно сухої речовини від 5,63 до 8,43 т/га за найбільшої врожайності та найменших витрат води при застосуванні комплексної системи органічного удобрення.

Чіткою закономірністю було зменшення витрат води на одиницю абсолютно сухої речовини за застосування органічних систем удобрення, особливо комплексного поєднання побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива. У сої на контролі витрати води становили 973,7 м³/т, тоді як за комплексного удобрення – 643,5 м³/т, тобто зменшилися на 330,2 м³/т, або на 33,9 %. У пшениці ярої відповідний показник знизився з 588,5 до 375,4 м³/т, або на 36,2 %. У гречки витрати води зменшилися з 1087,0 до 708,7 м³/т, тобто на 378,3 м³/т, або на 34,8 %.

Дана закономірність вказує на те, що комплексна органічна система удобрення не мінімізувала абсолютне водоспоживання, проте істотно підвищувала продуктивність використаної води за рахунок формування більшої кількості сухої речовини.

Таблиця 3.4

**Вплив сівозмінного фактору та систем органічного удобрення на
споживання вологи культурами сівозміни, середнє за 2023–2025 рр.**

Культура	Система удобрення	Загальні витрати вологи культурою за вегетацію, мм	Сумарний урожай абсолютно сухої речовини (основна та побічна продукція), т/га	Витрати вологи на одиницю абсолютно сухої речовини урожаю, м ³ /т
Соя	п. п. п.* (контроль)	329,1	3,38	973,7
	п. п. п. + сидерат**	312,3	4,06	769,2
	п. п. п. + біодобриво	312,5	4,19	745,8
	п. п. п. + сидерат + біодобриво***	307,6	4,78	643,5
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		315,4±4,7	4,10±0,29	783,1±69,2
$V, \%$		3,0	14,0	17,7
S		9,4	0,57	138,3
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	331,3	5,63	588,5
	п. п. п. + сидерат	314,9	6,95	453,1
	п. п. п. + біодобриво	317,0	7,41	427,8
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	316,5	8,43	375,4
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		319,9±3,8	7,11±0,58	461,2±45,4
$V, \%$		2,4	16,3	19,7
S		7,6	1,16	90,8
Гречка	п. п. п. (контроль)	343,5	3,16	1087,0
	п. п. п. + сидерат	342,4	3,89	880,2
	п. п. п. + біодобриво	339,1	3,97	854,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	325,3	4,59	708,7
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		337,6±4,2	3,90±0,29	882,5±77,9
$V, \%$		2,5	15,0	17,7
S		8,4	0,59	155,8
Середнє по сівозміні				
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		324,3±3,8	5,04±0,39	708,9±64,0
$V, \%$		2,3	15,3	18,1
S		7,6	0,77	128,0

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Порівняння окремих систем удобрення показує послідовну тенденцію, зокрема, найвища водоемність урожаю формувалася на контролі, де застосовували лише побічну продукцію попередника. Дещо нижчі показники були за поєднання побічної продукції із сидератом, де витрати води склали для сої 769,2 м³/т, що на 23,4 м³/т або на 3,1 % більше, ніж за внесення під культуру п. п. п. із біодобрином (745,8 м³/т) і на 16,3 %, ніж за комплексного застосування всіх органічних компонентів.

За цієї ж системи витрати води для пшениці ярої становили 453,1 м³/т, що на 25,3 м³/т або на 5,6 % більше, ніж за застосування побічної продукції із біодобрином, де вологовитрати склали 427,8 м³/т і на 17,1 % або на 77,7 м³/т більше, ніж за комплексного удобрення.

Витрати води на абсолютну суху речовину врожаю гречки при застосуванні під культуру побічної продукції із сидеральним посівом гірчиці білої становили 880,2 м³/т, що на 26,0 м³/т або на 3,0 % більше, ніж за внесення п. п. п. із біодобрином, де витрати води склали 854,2 м³/т відповідно та на 19,5 % більше, ніж за внесення побічної продукції із сидератом і біодобрином. Ця тенденція свідчить про синергійний ефект органічних добрив, які забезпечували повніше використання доступної ґрунтової води, тим самим й поліпшували умови живлення рослин, активізували мікробіологічні процеси, сприяли кращому розвитку кореневої системи (див. табл. 3.4).

Аналіз витрат води в середньому по сівозміні за 2023–2025 рр. свідчить, що системи органічного удобрення істотно впливали на ефективність використання ґрунтової води для формування абсолютно сухої речовини урожаю культур короткоротаційної сівозміни. Зокрема, найвищі витрати води були характерні для контрольного варіанта із внесенням лише побічної продукції попередника і становили 883,1 м³/т, що свідчить про найнижчу ефективність використання ґрунтової води, оскільки для формування 1 т абсолютно сухої речовини рослини потребували найбільшої кількості водних ресурсів. Такий результат обумовлений менш інтенсивним розвитком рослин, нижчим рівнем

забезпечення елементами живлення та, відповідно, менш ефективною трансформацією використаної води в органічну речовину (рис. 3.1).

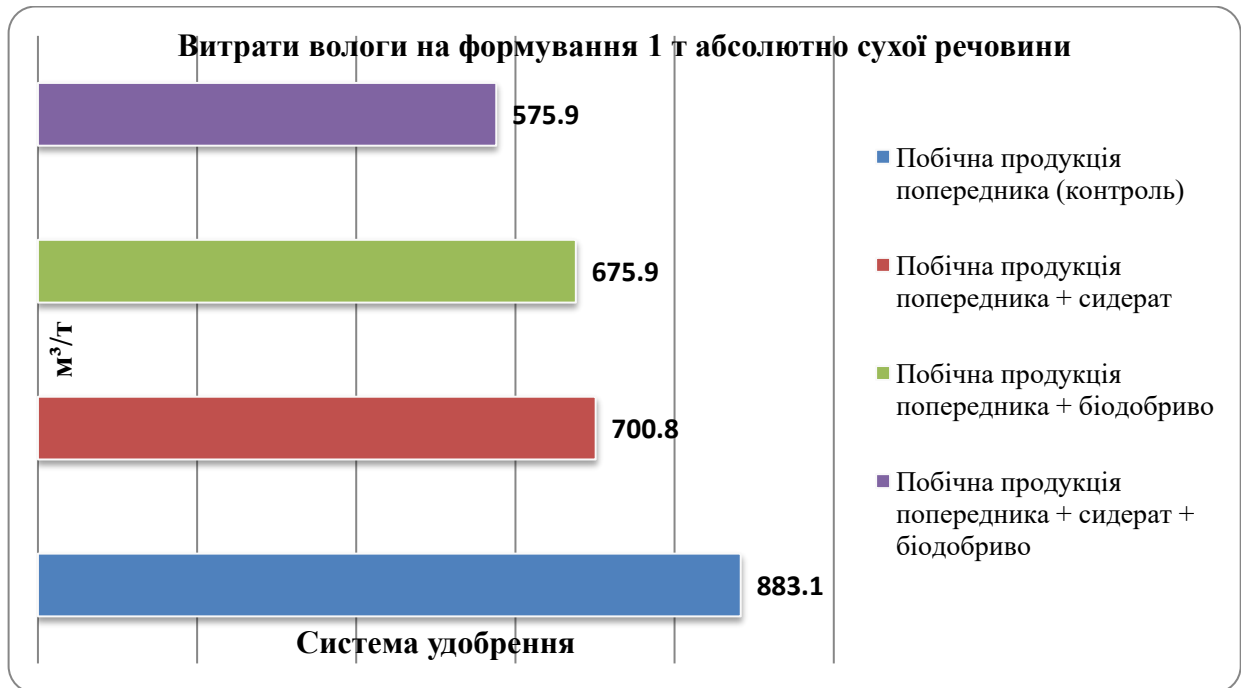


Рисунок 3.1. Витрати води на формування 1 т абсолютно сухої речовини урожаю в середньому по сівозміні, м³/т, за 2023–2025 рр.

Поєднання побічної продукції попередника із сидеральною культурою сприяло істотному підвищенню водопродуктивності агроценозу. Порівняно з контролем витрати води зменшилися до 700,8 м³/т, або на 182,3 м³/т (20,6 %). Це свідчить, що використання сидерату покращувало агрофізичний стан чорнозему, сприяло накопиченню органічної речовини, підвищенню водоутримувальної здатності ґрунту та створювало сприятливіші умови для засвоєння рослинами води.

Дещо вищу ефективність забезпечувало застосування побічної продукції попередника із біодобривом. За цього варіанта витрати води становили 675,9 м³/т, що на 207,2 м³/т (23,5 %) менше порівняно з контролем та на 24,9 м³/т (3,6 %) нижче, ніж за використання п. п. п. із сидератом. Отримані результати свідчать, що біодобриво більшою мірою активізувало фізіолого-біохімічні

процеси у рослинах і мікробіологічну активність ґрунту, забезпечуючи ефективніше використання доступної вологи.

Найкращу ефективність одержано за комплексного застосування побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива. За цієї системи удобрення витрати вологи на формування 1 т абсолютно сухої речовини становили лише 575,9 м³/т, що є найнижчим показником серед усіх досліджуваних варіантів. Порівняно з контролем витрати вологи скоротилися на 307,2 м³/т, або 34,8 %, порівняно із системою удобрення: побічна продукція + сидерат – на 124,9 м³/т (17,8 %), а відносно системи: побічна продукція + біодобриво – на 100,0 м³/т (14,8 %) відповідно (див. рис. 3.1).

Таким чином, зі зростанням рівня біологізації систем удобрення простежується чітка тенденція до підвищення ефективності використання ґрунтової вологи. Водночас покращення водопродуктивності досягалося не стільки за рахунок зменшення загального водоспоживання, скільки внаслідок інтенсивнішого накопичення абсолютно сухої речовини. Найефективнішою виявилася комплексна система органічного удобрення, яка забезпечила максимальну продуктивність використання кожного кубічного метра вологи.

Аналізуючи витрати вологи на одиницю формування абсолютно сухої речовини урожаю за роками досліджень виявлено, що у 2023 році умови водоспоживання були найбільш контрастними. Найвищі загальні витрати вологи спостерігалися у сої та гречки, тоді як пшениця яра витрачала менше води. Водночас саме у 2023 році витрати вологи на одиницю сухої речовини були найбільшими, особливо у гречки – 1226,2 м³/т на контролі та 828,7 м³/т за комплексного удобрення. У сої цей показник змінювався від 1152,9 до 760,4 м³/т, у пшениці ярої – від 721,6 до 415,7 м³/т. Отримані результати свідчать, що за підвищеного або менш збалансованого водоспоживання без достатньої продуктивної віддачі волога використовувалася менш економно. Проте навіть у цьому році комплексне удобрення забезпечувало найменшу водоемність формування урожаю (додаток В).

У 2024 році загальні витрати вологи були нижчими, особливо у сої та гречки, однак ефективність використання води істотно зросла. У сої витрати вологи на 1 т сухої речовини зменшувалися від 995,2 м³/т на контролі до 613,1 м³/т за комплексної системи удобрення. У пшениці ярої цей показник становив відповідно 508,3 і 370,9 м³/т, а у гречки – 1047,7 і 617,8 м³/т. Отже, 2024 рік показав найвиразнішу роль органічного удобрення у підвищенні водопродуктивності культур, оскільки приріст сухої речовини був вагомим, ніж зміна загального водоспоживання.

У 2025 році загальні витрати вологи були відносно вирівняними за варіантами удобрення, що підтверджується низькими коефіцієнтами варіації. Проте різниця у витратах вологи на одиницю абсолютно сухої речовини залишалася значною. У сої показник зменшувався з 800,5 м³/т на контролі до 574,0 м³/т за комплексного удобрення, у пшениці ярої – з 579,8 до 353,5 м³/т, у гречки – з 993,6 до 685,9 м³/т. Отримані результати підтверджують стійку закономірність, згідно з якою за практично однакового рівня сумарного водоспоживання органічні системи удобрення забезпечували ефективніше використання ґрунтової вологи, що проявлялося у збільшенні виходу абсолютно сухої речовини на одиницю використаних водних ресурсів (додаток В).

Загалом за 2023–2025 рр. найменш водоемною культурою була пшениця яра, оскільки вона формувала найбільший сумарний урожай абсолютно сухої речовини – до 8,43 т/га в середньому за три роки, а у 2025 році – до 10,67 т/га. Тоді як соя та гречка характеризувалися найбільшими витратами вологи на одиницю сухої речовини, що пов'язано з нижчим рівнем формування абсолютно сухої маси врожаю порівняно з пшеницею ярою. Водночас для всіх культур спільною була тенденція до зниження водоемності врожаю за органічного удобрення.

Отже, головною закономірністю досліджень є те, що ефективність використання вологи зростала не стільки за рахунок істотного зменшення загальних витрат води, скільки завдяки підвищенню продуктивності культур і збільшенню виходу абсолютно сухої речовини. Найефективнішою виявилася

комплексна система органічного удобрення – побічна продукція попередника + сидерат + біодобриво, яка забезпечувала найменші витрати вологи на одиницю сухої речовини у всіх досліджуваних культурах.

3.3. Поживний режим ґрунту впродовж вегетації польових культур у системі органічної сівозміни

Відтворення родючості ґрунту є основною передумовою екологічної стійкості агроєкосистем і стабільності сільськогосподарського виробництва. В органічному землеробстві, де обмежено застосування синтетичних добрив і хімічних засобів захисту рослин, особливого значення набувають біологізація технологій, підтримання бездефіцитного балансу органічної речовини, активізація ґрунтових процесів та оптимізація кругообігу поживних елементів [158–165].

Продуктивність культур значною мірою визначається забезпеченістю ґрунту доступними формами азоту, фосфору й калію, які впливають на ріст рослин, формування листової поверхні, накопичення біомаси та реалізацію генетичного потенціалу. В органічних системах сезонна динаміка поживного режиму залежить від мінералізації рослинних решток, післядії сидератів і активності ґрунтової мікробіоти, стимульованої біологічними препаратами [165–168].

Оптимізація живлення культур потребує врахування особливостей трансформації й засвоєння поживних речовин у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах. Азот є одним із головних макроелементів, оскільки входить до складу білків, амінокислот, ферментів, нуклеїнових кислот і хлорофілу. Рівень азотного живлення оцінюють за вмістом амонійного, нітратного, легко- та лужногідролізованого азоту, які характеризують поточну й потенційну забезпеченість рослин цим елементом упродовж вегетації [166, 169–174].

Азот рухомий. Особливості засвоєння мінеральних форм азоту рослинами зумовлені їхньою різною рухомістю в ґрунті. Нітратний азот, локалізований

переважно у ґрунтовому розчині, характеризується високою міграційною здатністю та швидкою доступністю для кореневої системи.

У дослідженнях 2023–2025 рр. оцінювання поживного режиму ґрунту проводили за вмістом нітратного азоту, рухомих сполук фосфору та рухомих сполук калію на час сівби і на час збирання врожаю культур сівозміни. Такий підхід дає змогу не лише встановити вихідний рівень забезпеченості ґрунту поживними речовинами перед початком активного росту рослин, а й оцінити зміну їхнього вмісту впродовж вегетаційного періоду залежно від культури, системи удобрення та погодних умов.

Дослідження поживного режиму ґрунту показали, що в середньому за 2023–2025 рр., уміст нітратного азоту в ґрунті на час сівби істотно залежав як від культури сівозміни, так і від системи органічного удобрення. Зокрема, на час сівби сої, яку висівали після гречки як попередника, уміст нітратного азоту в ґрунті становив: на контролі (п. п. п.) – 49,8 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту, у 20–40 см – 27,1 і в 40–60 см – 20,4 мг/кг, що відповідає середньому, підвищеному та високому вмісту, залежно від горизонту, згідно ДСТУ 4362:2004 [115]. На варіантах, де побічну продукцію попередника (п. п. п.) поєднували із сидеральним посівом відповідно – 53,2, 27,5 і 23,0 мг/кг, що на 3,4, 0,4 і 2,6 мг/кг ґрунту більше, ніж на контролі (табл. 3.5).

При застосуванні комплексного органічного удобрення, яке поєднує використання побічної продукції, сидерального посіву та «Біо-Гель» вміст NO_3 у 0–20 см шарі ґрунту був на рівні 60,0 мг/кг, у 20–40 см – 34,0 і у 40–60 см – 28,2 мг/кг ґрунту відповідно, що на 17–28 % більше, ніж на контролі та на 11–19 %, ніж за внесення під культуру п. п. п. із сидератом, де ці показники відповідають підвищеному, високому та дуже високому вмісту згідно ДСТУ.

У посівах гречки найактивніше нітрифікаційні процеси в орному і підорному шарах ґрунту відбувалися за комплексного органічного удобрення – 48,7 мг/кг ґрунту в 0–20 см горизонті, 36,7 у 20–40 см і 32,4 мг/кг у 40–60 см шарі ґрунту, що за ступенем забезпеченості знаходилося на рівні від високого до дуже високого вмісту відповідно (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

**Уміст нітратного азоту в ґрунті на час сівби зернових культур, мг/кг,
середнє за 2023–2025 рр.**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	20–40	40–60
Соя	п. п. п.* (контроль)	49,8	27,1	20,4
	п. п. п. + сидерат**	53,2	27,5	23,0
	п. п. п. + біодобриво***	54,5	29,9	25,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	60,0	34,0	28,2
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		54,4±2,1	29,7±1,9	24,2±1,1
$V, \%$		7,8	10,6	13,7
S		4,2	3,2	3,3
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	30,9	24,7	27,2
	п. п. п. + сидерат	43,9	27,5	30,7
	п. п. п. + біодобриво	42,9	28,7	31,8
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	44,9	33,1	33,1
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		40,6±1,7	28,5±2,2	30,7±0,2
$V, \%$		16,2	12,3	8,3
S		6,6	3,5	2,5
Гречка	п. п. п. (контроль)	40,1	31,3	26,7
	п. п. п. + сидерат	43,2	31,8	29,0
	п. п. п. + біодобриво	43,9	33,0	29,9
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	48,7	36,7	32,4
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		44,0±0,8	33,2±1,5	29,5±1,3
$V, \%$		8,1	7,4	8,0
S		3,6	2,5	2,4
Середнє по сівозміні				
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		46,3±2,2	30,5±1,0	28,1±1,1
$V, \%$		16,4	11,4	13,7
S		7,6	3,5	3,9

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

При застосуванні п. п. п. із сидеральним посівом ці показники становили: 43,2 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту, 31,8 мг/кг у 20–40 см і 29,0 мг/кг у 40–60 см горизонті відповідно. На контролі показники вмісту нітратного азоту були на 2–8 % меншими, ніж за сидерального посіву як елемента удобрення та на 15–18 % меншими, ніж за комплексного органічного удобрення, але в цілому вміст NO_3 був достатнім для проростання й ефективного росту та розвитку досліджуваних культур і гречки зокрема.

Вміст нітратного азоту в ґрунті на час сівби пшениці ярої становив 30,9 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту, 24,7 мг/кг у 20–40 см і 27,2 мг/кг у 40–60 см горизонті на контрольних варіантах (п. п. п.) досліді. За внесення під культуру п. п. п. + сидерат ці показники були дещо вищими і знаходилися на рівні 27,5–43,9 мг/кг ґрунту залежно від горизонту. Найвищий уміст NO_3 у посівах пшениці ярої був за комплексного поєднання органічних елементів удобрення, де ці показники становили: 44,9 мг/кг ґрунту в 0–20 см, 33,1 мг/кг у 20–40 см і 40–60 см горизонті, що на 2–16 % більше, ніж за внесення під культуру п. п. п. із сидератом і на 4–13 % більше, ніж за застосування п. п. п. із біодобрином «Біо-Гель», що за ступенем забезпеченості знаходилося на рівні від середнього до дуже високого його вмісту згідно ДСТУ [115] (див. табл. 3.5).

У середньому по сівозміні найбільше нітратного азоту було зосереджено у верхньому шарі ґрунту 0–20 см – від 40,2 до 51,2 мг/кг залежно від системи удобрення за найбільшого вмісту при застосуванні комплексу органічних добрив (побічна продукція попередників, сидеральний посів гірчиці білої та рідкого біодобрива), тоді як у шарі ґрунту 20–40 см вміст нітратного азоту знижувався відповідно, де його вміст знаходився на рівні від 27,7 до 34,6 мг/кг за тенденційно більшого вмісту за комплексної системи удобрення. Найменший же вміст нітратного азоту в ґрунті був на контрольних варіантах, що передбачало внесення лише побічної продукції попередників, що на 10,9 мг/кг, або на 27 % менше, ніж за комплексної системи удобрення (рис. 3.2). Це свідчить про переважну акумуляцію мінеральних форм азоту в орному шарі, де найактивніше

відбуваються процеси мінералізації органічних решток і функціонування кореневої системи культур.

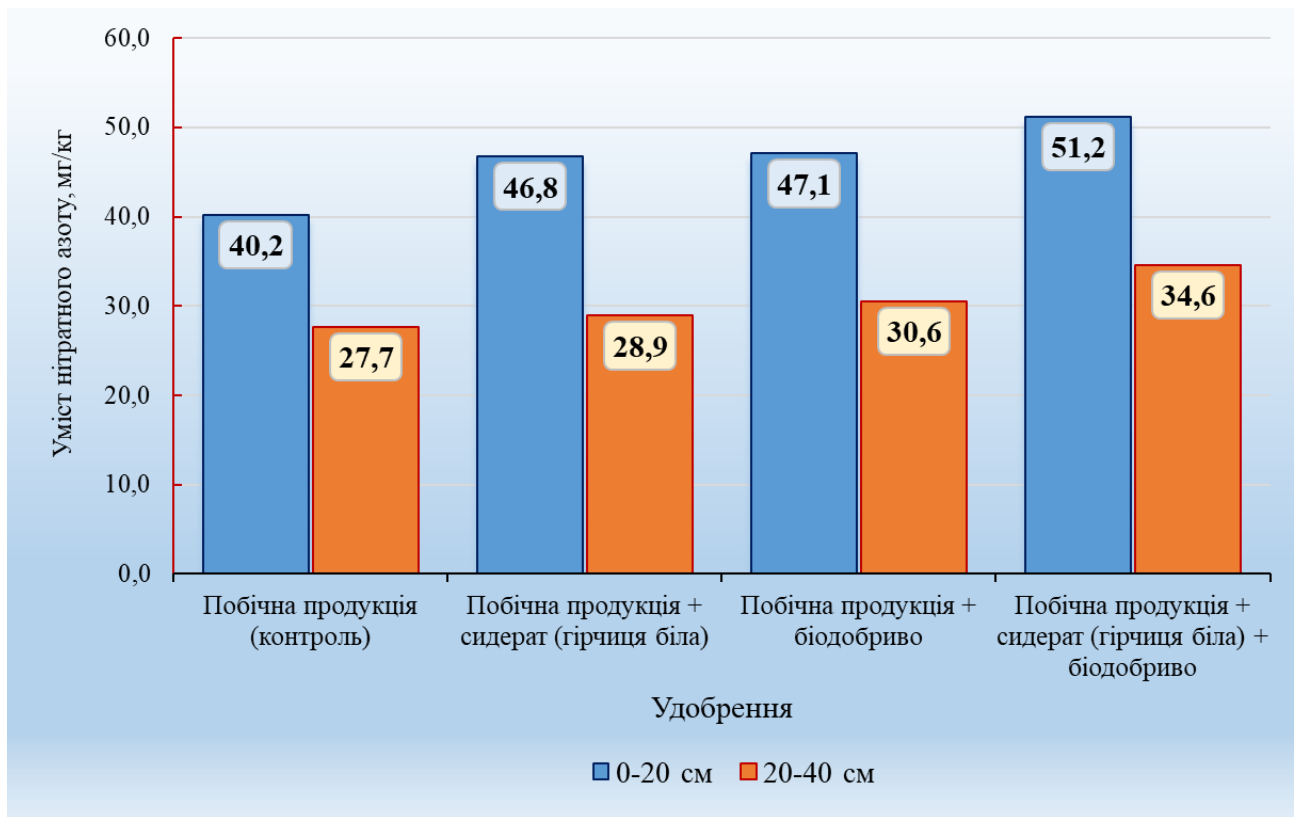


Рисунок 3.2. Уміст нітратного азоту в ґрунті на час сівби зернових культур у середньому по сівозміні, мг/кг, за 2023–2025 рр.

Аналізуючи вміст нітратного азоту в ґрунті на час сівби культур сівозміни за роками досліджень виявлено, що в 2023 році найбільший його вміст був у посівах сої 43,2–59,8 мг/кг і гречки 42,2–47,5 мг/кг ґрунту в 0–20 см горизонті, а в 40–60 см шарі в посівах пшениці ярої 29,8–36,9 мг/кг ґрунту. Найвищою забезпеченістю відзначилася комплексна система удобрення (п. п. п. + сидерат + «Біо-Гель») незалежно від досліджуваних культур сівозміни, де ці показники становили 39,9–59,8 мг/кг ґрунту в 0–20 см, 33,6–38,2 у 20–40 см і 29,5–36,6 мг/кг ґрунту в 40–60 см ґрунтовому горизонті. Зокрема, під соєю у шарі 0–20 см уміст нітратного азоту зростав із 45,1 мг/кг на контролі до 59,8 мг/кг за сумісного застосування п. п. п., сидерату й біопрепарату; під пшеницею ярою – з 20,9 до 39,9 мг/кг; під гречкою – з 42,2 до 47,5 мг/кг. У глибших шарах також відмічалася

підвищення вмісту нітратного азоту, особливо у варіантах із біологізованою системою удобрення, що вказує на формування більш рівномірного азотного профілю ґрунту (додаток Г 1).

За результатами досліджень щодо вмісту нітратного азоту в ґрунті на час сівби культур сівозміни в 2024 році визначено, що найбільшим його вмістом відзначилися посіви гречки 44,4–49,6 мг/кг і пшениці ярої 41,3–56,9 мг/кг ґрунту в 0–20 см, 42,1–44,4 мг/кг і 27,8–39,1 мг/кг ґрунту в 20–40 см, 33,5–40,6 і 28,9–38,9 мг/кг ґрунту в 40–60 см горизонті відповідно. Серед систем органічного удобрення найвищі значення були за застосування комплексного удобрення, де ці показники становили 36,9–55,9 мг/кг ґрунту в 0–20 см, 31,9–44,4 мг/кг у 20–40 см і 28,7–40,6 мг/кг ґрунту в 40–60 см горизонті відповідно, крім пшениці ярої, де кращим варіантом виявилася система удобрення, яка передбачає внесення побічної продукції попередника з сидеральним посівом і вміст нітратного азоту знаходився на рівні 56,9 мг/кг у 0–20 см горизонті, що свідчить про високу роль сидерального компонента в азотному живленні цієї культури. Згідно аналізу прослідковується збільшення вмісту азоту за рахунок застосування комплексної системи удобрення, зокрема, під соєю у шарі 0–20 см уміст нітратного азоту зростав із 28,6 мг/кг на контролі до 36,9 мг/кг за сумісного застосування п. п. п., сидерату і «Біо-Гелю»; під пшеницею ярою – з 41,3 до 55,9 мг/кг; під гречкою – з 44,4 до 49,6 мг/кг відповідно (додаток Г 1).

За результатами досліджень виявлено, що вміст нітратного азоту в ґрунті на час сівби культур сівозміни в 2025 році найбільшим був у посівах сої 75,6–85,5 мг/кг і гречки 33,6–49,0 мг/кг ґрунту в 0–20 см горизонті, а в 40–60 см шарі в посівах сої 27,1–33,8 мг/кг і пшениці ярої 25,0–28,8 мг/кг ґрунту. Найвищий вміст нітратного азоту у верхньому шарі ґрунту був під посівами сої: 75,6 мг/кг на контролі, 85,5 мг/кг за використання п. п. п. і сидерату, 85,2 мг/кг за застосування побічної продукції та «Біо-Гелю» і 83,2 мг/кг за їх сумісного використання. Під пшеницею ярою значення щодо вмісту азоту були нижчими, проте перевага удобрених варіантів зберігалася: 30,4 мг/кг на контролі проти 39,0 мг/кг за внесення під культуру п. п. п. і сидерату та за сумісного застосування

побічної продукції, сидерату із «Біо-Гелем». Під гречкою найбільший ефект забезпечило саме сумісне застосування п. п. п., сидерату й біодобрива – 49,0 мг/кг проти 33,6 мг/кг на контролі. Це дає підстави стверджувати, що у 2025 р. реакція азотного режиму ґрунту була більш диференційованою за культурами: під соєю високий рівень нітратного азоту формувався в усіх варіантах, тоді як під гречкою найбільш виражена перевага була характерна саме для комбінованої системи удобрення (додаток Г 1).

На час збирання врожаю вміст нітратного азоту закономірно знижувався в усіх шарах ґрунту, що пов'язано з його інтенсивним використанням рослинами впродовж вегетації. У середньому по сівозміні в шарі 0–20 см уміст нітратного азоту становив 25,2 мг/кг, у шарі 20–40 см – 16,2 мг/кг, у шарі 40–60 см – 11,8 мг/кг. Порівняно з показниками на час сівби зменшення становило відповідно 21,1; 14,3 і 16,3 мг/кг, або близько 46–58 % залежно від шару ґрунту. Найбільш різке зниження вмісту нітратного азоту відбувалося у посівах пшениці ярої, що свідчить про активне використання доступних форм азоту цією культурою в період формування врожаю (табл. 3.6).

Зокрема, у кінці вегетації досліджуваних культур, у середньому за 2023–2025 рр., найвищий уміст NO_3 в ґрунті відмічено у полі з соєю 34,7 мг/кг ґрунту в 0–20 см горизонті, 19,5 мг/кг у 20–40 см і 15,3 мг/кг у 40–60 см за комплексного застосування органічних добрив. На контрольному варіанті, що передбачав внесення лише побічної продукції попередника ці показники становили 26,7 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту, 17,1 мг/кг у 20–40 см і 10,9 мг/кг ґрунту в 40–60 см горизонті, що на 12–29 % менше, ніж за внесення під культуру комплексного удобрення. Застосування системи, яка передбачала внесення п. п. п. із «Біо-Гель» забезпечила вміст азоту на рівні 31,1 мг/кг у 0–20 см шарі, 17,2 у 20–40 см і 14,2 мг/кг ґрунту в 40–60 см горизонті відповідно (табл. 3.6).

На час збирання врожаю гречки вміст нітратного азоту був на рівні від 25,7 до 29,8 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту залежно від різних видів органічного удобрення за найвищого показника при застосуванні комплексної системи удобрення.

Таблиця 3.6

**Уміст нітратного азоту в ґрунті на час збирання врожаю зернових культур,
мг/кг, середнє за 2023–2025 рр.**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	20–40	40–60
Соя	п. п. п.* (контроль)	26,7	17,1	10,9
	п. п. п. + сидерат**	30,2	16,1	14,3
	п. п. п. + біодобриво***	31,1	17,2	14,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	34,7	19,5	15,3
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		30,7±1,6	17,5±0,7	13,7±1,0
$V, \%$		10,8	8,3	14,1
S		3,3	1,5	1,9
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	14,0	12,1	9,3
	п. п. п. + сидерат	16,6	12,2	8,6
	п. п. п. + біодобриво	18,0	14,0	9,6
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	21,6	15,8	12,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		17,6±1,6	13,5±0,9	9,9±0,8
$V, \%$		18,0	12,8	15,3
S		3,2	1,7	1,5
Гречка	п. п. п. (контроль)	25,7	16,0	10,7
	п. п. п. + сидерат	26,3	17,8	11,6
	п. п. п. + біодобриво	27,6	17,9	11,8
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	29,8	18,5	12,8
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		27,4±0,9	17,6±0,5	11,7±0,4
$V, \%$		6,7	6,2	7,5
S		1,8	1,1	0,9
Середнє по сівозміні				
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		25,2±1,8	16,2±0,7	11,8±0,6
$V, \%$		25,2	14,6	18,0
S		6,4	2,4	2,1

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

У 20–40 см шарі ґрунту ці показники знаходилися в межах 16,0–18,5 мг/кг ґрунту відповідно за вищого значення при комплексному удобренні, що на 14 % більше, ніж на контролі. За внесення під культуру побічної продукції попередника із сидеральним посівом вміст нітратного азоту був на рівні 26,3 у 0–20 см шарі ґрунту, 17,8 мг/кг у 20–40, 11,6 у 40–60 см горизонті, тоді як за внесення п. п. п. із «Біо-Гелем» – 27,6; 17,9 і 11,8 мг/кг ґрунту відповідно.

На період збирання врожаю пшениці ярої вміст NO_3 в ґрунті був дещо нижчим серед досліджуваних культур сівозміни і становив 14,0 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту, 12,1 мг/кг у 20–40, 9,3 у 40–60 см горизонті на контролі (п. п. п.). При внесенні побічної продукції попередника з сидеральним посівом ці показники знаходилися на рівні 16,6 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту, 12,2 мг/кг у 20–40 см і 8,6 мг/кг у 40–60 см шарі ґрунту відповідно. Комплексне застосування біодобрих, яке поєднує внесення побічної продукції, сидерату та рідкого органічного добрива «Біо-Гель», забезпечило вміст нітратного азоту в 0–20 см шарі ґрунту – 21,6 мг/кг, у 20–40 см – 15,8, у 40–60 см горизонті – 12,0 мг/кг ґрунту, що на 23–35 % більше, ніж на контролі та на 23–24 % більше, ніж за внесення п. п. п. із сидеральним посівом гірчиці білої (див. табл. 3.6).

Отже, навіть після проходження основного періоду споживання азоту культурами, тобто вегетаційний період, комбінована система удобрення забезпечувала вищий залишковий уміст нітратного азоту в ґрунті, що характеризує її пролонговану дію.

Аналізуючи вміст нітратного азоту в ґрунті на час збирання врожаю культур сівозміни за роками досліджень виявлено, що в 2023 році найбільший його вміст був у посівах сої 45,6–54,8 мг/кг ґрунту в 0–20 см, 19,3–24,2 мг/кг у 20–40, 14,4–19,4 мг/кг у 40–60 см шарі ґрунту, найменше ж у посівах пшениці ярої, що на 41–53 % нижче, ніж під соєю та на 28 % менше, ніж у посівах гречки. Аналізуючи системи удобрення з'ясовано, що найбільшим вмістом відзначилися посіви пшениці ярої та гречки у 3-пільній сівозміні в 0–20 см шарі ґрунту за комплексної системи удобрення, яка передбачає застосування побічної

продукції, сидерату та рідкого органічного добрива «Біо-Гель», тоді як у 20–40 см горизонті під посівами сої більший вміст азоту був на контролі (додаток Г 2).

За результатами досліджень у 2024 році виявлено, що найбільшим вмістом NO_3 в ґрунті на час збирання врожаю культур короткоротаційної сівозміни відзначилися посіви сої, де ці показники становили 24,3–27,3 мг/кг ґрунту в 0–20 см, 14,0–20,5 мг/кг у 20–40, 9,3–15,8 мг/кг у 40–60 см шарі ґрунту за вищих значень при застосуванні комплексної системи удобрення. В посівах пшениці ярої вміст нітратного азоту був на рівні 13,9–19,1 мг/кг у 0–20 см, 10,8–16,6 мг/кг у 20–40 см і 5,4–9,4 мг/кг у 40–60 см шарі ґрунту за кращих показників при внесенні під культуру побічної продукції, сидерату та біодобрива «Біо-Гель». На період збирання гречки вміст азоту знаходився в межах 11,9–15,5 мг/кг ґрунту в 0–20 см, 12,0–14,0 мг/кг у 20–40 см і 10,9–13,5 мг/кг у 40–60 см шарі ґрунту за вищого його вмісту при комплексному удобренні (додаток Г 2).

За результатами досліджень у 2025 році виявлено, що найбільшим вмістом NO_3 в ґрунті на час збирання врожаю культур короткоротаційної сівозміни відзначилися посіви гречки, де ці показники становили 32,4–36,1 мг/кг ґрунту в 0–20 см, 16,0–16,7 мг/кг у 20–40, 11,2–12,9 мг/кг у 40–60 см шарі ґрунту за вищих значень при застосуванні комплексної системи удобрення. В посівах пшениці ярої вміст нітратного азоту був на рівні 5,5–13,2 мг/кг у 0–20 см, 5,4–9,8 мг/кг у 20–40 см і 6,2–8,8 мг/кг у 40–60 см шарі ґрунту за кращих показників при внесенні під культуру побічної продукції, сидерату та біодобрива «Біо-Гель». На період збирання сої вміст азоту знаходився в межах 10,1–22,0 мг/кг ґрунту в 0–20 см, 13,2–16,6 мг/кг у 20–40 см і 8,9–11,8 мг/кг у 40–60 см шарі ґрунту за вищого його вмісту при комплексному удобренні (додаток Г 2).

Отже, азотний режим ґрунту був відносно лабільним, що є для цього показника характерним, де прослідковувалася чітка вертикальна диференціація з переважанням нітратного азоту в шарі 0–20 см, зниження вмісту впродовж вегетації та значна міжрічна мінливість. Найбільш стабільно позитивний вплив на накопичення нітратного азоту забезпечувала система удобрення, що поєднувала побічну продукцію попередника, сидерат і біодобриво «Біо-Гель»,

що свідчить про ефективність біологізованого регулювання азотного живлення культур у короткоротаційній органічній сівозміні.

Рухомий фосфор. Фосфор належить до найважливіших макроелементів живлення рослин, оскільки бере безпосередню участь у процесах енергетичного обміну, забезпечуючи накопичення, перенесення та використання енергії в клітині. Завдяки входженню до складу аденозинтрифосфату (АТФ) та інших високоенергетичних фосфорорганічних сполук він є ключовим компонентом енергетичного забезпечення фізіолого-біохімічних процесів. Крім того, фосфор входить до складу нуклеїнових кислот (ДНК і РНК), які забезпечують збереження, передачу та реалізацію спадкової інформації, а також бере активну участь у фотосинтетичному процесі, сприяючи асиміляції вуглекислого газу, синтезу органічних речовин і формуванню врожаю [166, 175–177].

Найкращими джерелами фосфорного живлення в ґрунті є водорозчинні калієві, натрієві, амонійні, кальцієві і магнієві солі фосфорної кислоти.

Фосфорний режим ґрунту, на відміну від азотного, характеризується значно меншою рухомістю елемента у ґрунтовому профілі та більшою залежністю від процесів мобілізації важкорозчинних фосфатів, корневих виділень, активності фосфатмобілізувальних мікроорганізмів і реакції ґрунтового середовища.

За результатами польових досліджень і лабораторних аналізів ґрунту в середньому за 2023–2025 рр. встановлено, що на період сівби сої, пшениці ярої та гречки в короткоротаційній органічній сівозміні вміст рухомих сполук фосфору в 0–20 см горизонті був на рівні від 262,7 до 319,1 мг/кг ґрунту залежно від різних видів удобрення біологічного спрямування та культури сівозміни за найвищих показників при застосуванні побічної продукції попередника з сидеральним посівом гірчиці білої та на контрольних варіантах, які передбачали внесення лише побічної продукції попередників. З-поміж культур сівозміни найвищий уміст рухомого фосфору в шарі 0–20 см відмічено під гречкою (табл. 3.7). Отримані показники відповідають дуже високому рівню забезпеченості згідно ДСТУ 4362:2004 [115].

Таблиця 3.7

**Уміст рухомих сполук фосфору в ґрунті на час сівби зернових культур,
мг/кг, середнє за 2023–2025 рр.**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
Соя	п. п. п.* (контроль)	294,2	272,2
	п. п. п. + сидерат**	292,3	255,8
	п. п. п. + біодобриво***	272,5	247,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	262,7	231,3
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		280,4±7,7	251,7±8,5
$V, \%$		5,5	6,8
S		15,4	17,0
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	302,5	281,7
	п. п. п. + сидерат	291,7	273,4
	п. п. п. + біодобриво	281,7	264,0
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	271,9	245,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		287,0±6,6	266,0±7,9
$V, \%$		4,6	5,9
S		13,1	15,8
Гречка	п. п. п. (контроль)	289,0	283,3
	п. п. п. + сидерат	319,1	300,5
	п. п. п. + біодобриво	293,2	255,8
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	286,7	236,2
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		297,0±7,5	268,9±14,3
$V, \%$		5,0	10,6
S		15,0	28,6
Середнє по сівозміні			
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		288,1±4,3	262,2±6,0
$V, \%$		5,2	7,9
S		14,9	20,8

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Зокрема, вміст рухомих сполук фосфору в 0–20 см шарі ґрунту під посівами гречки варіював у межах від 286,7 до 319,1 мг/кг ґрунту залежно від системи органічного удобрення за найбільшого його вмісту при застосуванні п. п. п. із сидератом, що на 32,4 мг/кг менше, ніж за комплексного удобрення, на 25,9 мг/кг менше, ніж за внесення під культуру п. п. п. + «Біо-Гель» та на 30,1 мг/кг ґрунту менше, ніж на контролі або на 8–10 % відповідно менше. Гречка відзначилася найбільшим вмістом фосфору порівняно до сої та пшениці ярої. Така закономірність свідчить, що фосфорний режим залежав не лише від системи удобрення, а й від біологічних особливостей культур. Особливо гречки, яка здатна ефективніше залучати фосфор із менш доступних сполук завдяки особливостям кореневого живлення.

Під посівами сої вміст рухомих сполук фосфору в 0–20 см шарі ґрунту знаходився на рівні від 262,7 до 294,2 мг/кг за вищого вмісту на контролі, що на 31,5 мг/кг або на 11 % більше, ніж за комплексного удобрення та на 7 % більше, ніж за внесення під культуру п. п. п. із «Біо-Гелем», де цей показник становив 272,5 мг/кг ґрунту.

Подібна закономірність прослідковується й під посівами пшениці ярої. Так, найбільший вміст рухомих сполук фосфору було зафіксовано на контролі 302,5 мг/кг ґрунту, тоді як найменший – за комплексного застосування органічних добрив (п. п. п. + сидерат + «Біо-Гель») 271,9 мг/кг, що на 30,6 мг/кг або на 10 % менше, ніж за внесення побічної продукції попередника (контроль) та на 20,8 мг/кг або на 7 % менше, ніж за застосування п. п. п. + біодобриво (281,7 мг/кг), порівняно до контролю (див. табл. 3.7).

З поглибленням шару ґрунту до 20–40 см уміст рухомого фосфору дещо знижувався, але рівень забезпеченості залишався дуже високим. Зокрема, найбільше сполук рухомого фосфору в 20–40 см шарі ґрунту було зафіксовано під посівами гречки за внесення побічної продукції попередника із біодобривом 300,5 мг/кг, що на 17,2 мг/кг більше, ніж на контролі та на 64,3 мг/кг або на 21 % більше, ніж за внесення під культуру п. п. п. + сидерат + «Біо-Гель».

Уміст сполук рухомого фосфору під посівами сої в 20–40 см горизонті варіював у межах від 231,3 до 272,2 мг/кг залежно від системи удобрення за найбільшого вмісту на контролі, що на 16,4 мг/кг або на 6 % більше, ніж за внесення побічної продукції з сидератом і на 40,9 мг/кг або на 15 % більше, ніж за комплексної системи удобрення.

Під пшеницею ярою вміст фосфору був на рівні від 245,0 до 281,7 мг/кг ґрунту за найбільшого вмісту на контролі, що передбачає внесення лише побічної продукції попередника, що на 8,3 мг/кг більше, ніж за внесення п. п. п. із сидератом, на 17,7 мг/кг, ніж за застосування п. п. п. + «Біо-Гель» та на 36,7 мг/кг або на 13 % більше, ніж за комплексного удобрення, що передбачає внесення під культуру п. п. п. + сидерат + біодобриво «Біо-Гель» (див. табл. 3.7).

У середньому по сівозміні за 2023–2025 рр., уміст рухомих сполук фосфору на час сівби був дуже високим і становив відповідно від 273,8 до 301,0 мг/кг у шарі ґрунту 0–20 см за найбільшого вмісту при застосуванні під культури сівозміни побічної продукції попередників із сидеральним посівом гірчиці білої та від 237,5 до 279,1 мг/кг ґрунту в 20–40 см горизонті за найбільшого вмісту на контролі, що передбачає внесення лише побічної продукції попередників. Найменший же вміст рухомих сполук фосфору в ґрунті був за комплексної системи удобрення, яка передбачає внесення побічної продукції попередників із сидератом і біодобривом, що на 27,2 мг/кг або на 9 % менше, ніж за внесення п. п. п. із сидеральним посівом у 0–20 см шарі ґрунту та на 41,6 мг/кг або на 14 % менше, ніж на контролі в 20–40 см горизонті (рис. 3.3). Вищі значення у верхньому шарі ґрунту узгоджуються з низькою міграційною здатністю фосфатів і переважною концентрацією доступних форм фосфору в зоні нагромадження органічних решток та основної діяльності кореневих систем культур 3-пільної органічної сівозміни.

Зниження вмісту рухомих сполук фосфору за біологізованих систем удобрення не слід розглядати лише як погіршення забезпеченості ґрунту, це може свідчити про активніше залучення фосфору рослинами та мікробним ценозом, а також про перерозподіл його форм у ґрунті

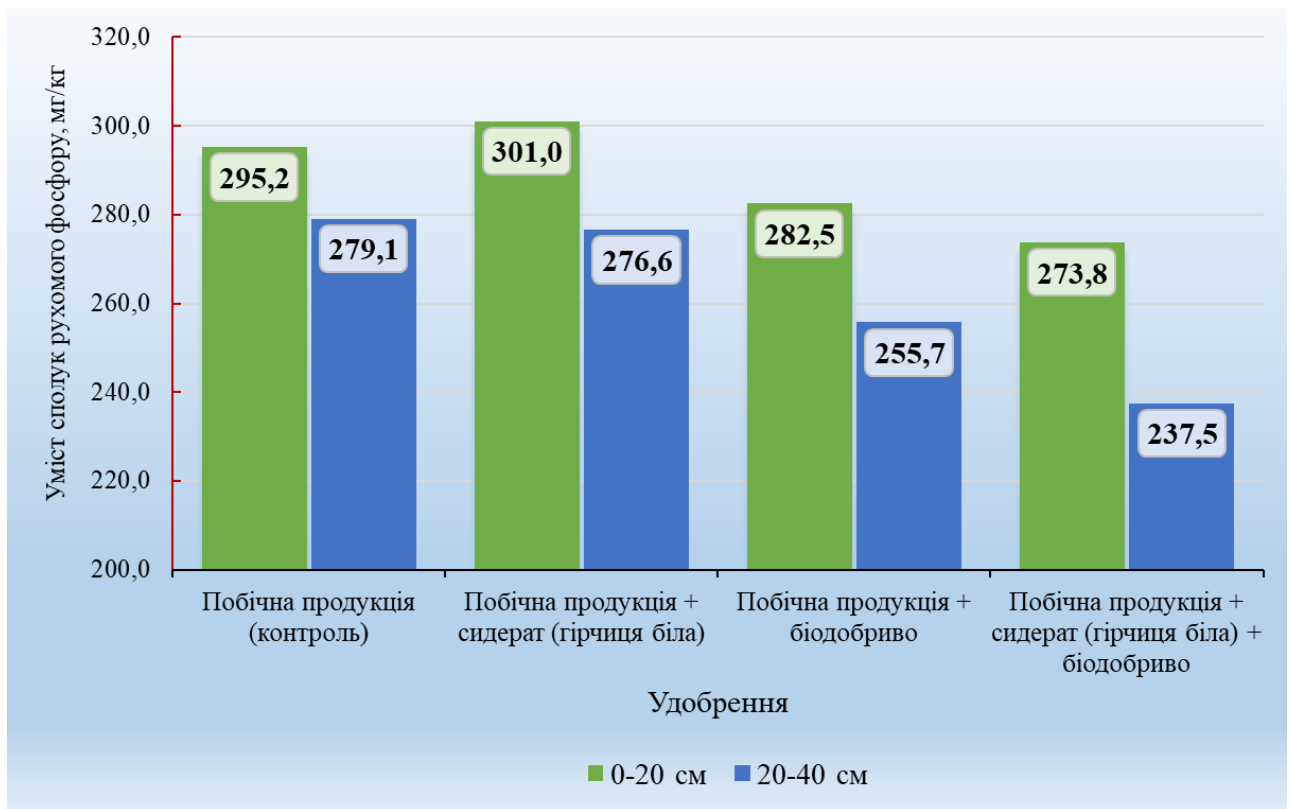


Рисунок 3.3. Уміст рухомих сполук фосфору в ґрунті на час сівби зернових культур у середньому по сівозміні, мг/кг, за 2023–2025 рр.

Аналізуючи вміст сполук рухомого фосфору в ґрунті за роками досліджень виявлено, що в 2023 році найбільший його вміст був під посівами пшениці ярої 302,5–306,3 мг/кг у 0–20 см шарі та 272,5–280,0 мг/кг ґрунту в 20–40 см горизонті за вищих значень на контролі, зокрема, цей показник був найбільш вирівняним з-поміж культур сівозміни, що свідчить про відносну стабільність фосфорного фону під цією культурою у 2023 р. На час сівби сої у шарі 0–20 см уміст рухомого фосфору становив 245,0 мг/кг на контролі, 254,5 мг/кг за внесення п. п. п. і сидерату, 240,2 мг/кг за п. п. п. і «Біо-Гелю» і 237,0 мг/кг за сумісного застосування побічної продукції, сидерату та біодобрива. Під гречкою найвищий уміст фосфору у верхньому шарі відмічено за внесення п. п. п. і сидерату – 270,0 мг/кг проти 254,5 мг/кг на контролі. Згідно ДСТУ 4362:2004 рівень забезпеченості фосфором під усіма культурами короткоротаційної сівозміни був дуже високим [115].

За результатами польових і лабораторних досліджень у 2024 році вміст сполук рухомого фосфору в ґрунті відповідає дуже високому рівню забезпеченості незалежно від культури сівозміни. Зокрема, на час сівби найбільш помітною особливістю було різке підвищення вмісту рухомого фосфору під гречкою, особливо за використання п. п. п. і сидерату: 400,0 мг/кг у шарі 0–20 см і 410,0 мг/кг у шарі 20–40 см. Це може бути наслідком поєднання сприятливих умов мінералізації органічної речовини, післядії сидеральної маси та біологічної здатності гречки активізувати використання фосфорних сполук. Водночас під пшеницею ярою у 2024 р. сумісне застосування сидерату й «Біо-Гелю» супроводжувалося зниженням умісту рухомого фосфору до 229,5 мг/кг у шарі 0–20 см і 212,0 мг/кг у шарі 20–40 см, що може бути пов'язано з інтенсивнішим використанням доступних форм фосфору культурою і мікробним угрупованням (додаток Д 1).

За результатами досліджень у 2025 році вміст сполук рухомого фосфору в ґрунті відповідає дуже високому рівню забезпеченості незалежно від культури сівозміни. Так, на час сівби найвищий уміст рухомого фосфору під соєю формувався на контролі – 362,5 мг/кг у шарі 0–20 см і 343,5 мг/кг у шарі 20–40 см. За внесення п. п. п., сидерату, «Біо-Гелю» та їх поєднання показники зменшувалися, особливо у шарі ґрунту 20–40 см, де за комбінованого варіанта вони становили 212,0 мг/кг. Під пшеницею ярою також простежувалася тенденція до зниження вмісту рухомого фосфору від контролю до біологізованих варіантів. Під гречкою найвищий показник у верхньому шарі відмічено за внесення п. п. п. і сидерату – 287,3 мг/кг, тоді як на контролі він становив 275,0 мг/кг ґрунту. Отже, у 2025 р. дія систем удобрення на фосфорний режим була специфічною: під соєю і пшеницею ярою переважало зниження доступних форм фосфору за активнішого біологічного впливу, а під гречкою сидерація сприяла їх певному підвищенню (додаток Д 1).

На час збирання врожаю, в середньому за 2023–2025 рр., середній уміст рухомих сполук фосфору залишався високим і відносно стабільним. У середньому по сівозміні в шарі 0–20 см він становив 288,1 мг/кг, тобто фактично

не змінився порівняно з періодом сівби. У шарі 20–40 см показник зменшився з 262,2 до 259,4 мг/кг, що свідчить про незначне використання або перерозподіл доступних форм фосфору впродовж вегетації. Найвищий уміст рухомого фосфору на час збирання врожаю у верхньому шарі ґрунту був характерний для гречки – 308,3 мг/кг, нижчий – для пшениці ярої 280,7 мг/кг і сої – 275,2 мг/кг.

Зокрема, на період збирання врожаю по всіх досліджуваних культурах відмічається тенденція зростання вмісту сполук рухомого фосфору, де ці показники в середньому за 2023–2025 рр. становили 269,2–316,7 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту, 243,0–296,7 мг/кг ґрунту в 20–40 см горизонті за різних систем органічного удобрення (табл. 3.8). Згідно ДСТУ 4362:2004 рівень забезпеченості фосфором під усіма культурами короткоротаційної сівозміни був дуже високим [115].

Найвищі значення, за результатами польових досліджень і лабораторного аналізу, отримали в посівах гречки 299,2–316,7 мг/кг у 0–20 см за вищого вмісту фосфору при внесенні побічної продукції попередника із сидеральним посівом і 247,5–296,7 мг/кг ґрунту в 20–40 см горизонті за більшого вмісту цього елемента на контролі.

У посівах пшениці ярої вміст сполук рухомого фосфору знаходився на рівні 279,0–283,3 мг/кг у 0–20 см і 243,0–271,5 мг/кг ґрунту в 20–40 см горизонті за вищих показників на контрольному варіанті. За комплексної системи удобрення вміст фосфору був на рівні 280,0 мг/кг ґрунту в 0–20 см і 248,7 мг/кг в 20–40 см горизонті, що на 3,3 і 22,8 мг/кг відповідно менше, ніж на контролі (табл. 3.8).

Під посівами сої вміст сполук рухомого фосфору з-поміж досліджуваних культур був найнижчим і становив 269,2–290,0 мг/кг у 0–20 см і 250,4–261,8 мг/кг ґрунту в 20–40 см горизонті. Найбільший вміст фосфору у верхньому горизонті був на контролі 290,0 мг/кг, що на 17,7 мг/кг або 6 % більше, ніж за внесення п. п. п. із сидератом і на 20,7 мг/кг або 7 % більше, ніж за комплексної системи удобрення.

Таблиця 3.8

Уміст рухомих сполук фосфору в ґрунті на час збирання врожаю зернових культур, мг/кг, середнє за 2023–2025 рр.

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
Соя	п. п. п.* (контроль)	290,0	258,0
	п. п. п. + сидерат**	272,3	261,5
	п. п. п. + біодобриво***	269,2	250,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	269,3	261,8
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		275,2±5,0	257,9±2,6
$V, \%$		3,6	2,1
S		10,0	5,3
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	283,3	271,5
	п. п. п. + сидерат	279,0	243,0
	п. п. п. + біодобриво	280,5	243,6
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	280,0	248,7
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		280,7±0,9	251,7±6,7
$V, \%$		0,7	5,3
S		1,9	13,4
Гречка	п. п. п. (контроль)	299,2	296,7
	п. п. п. + сидерат	316,7	269,5
	п. п. п. + біодобриво	309,3	260,9
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	308,0	247,5
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		308,3±3,6	268,7±10,4
$V, \%$		2,3	7,7
S		7,2	20,8
Середнє по сівозміні			
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		288,1±4,7	259,4±4,4
$V, \%$		4,7	4,4
S		5,7	5,8

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Тоді як у 20–40 см горизонті дещо більший вміст рухомого фосфору зафіксовано за внесення під культуру побічної продукції, сидерату та «Біо-Гель» – 261,8 мг/кг ґрунту. Не значна варіабельність систем удобрення може свідчити про активніше використання фосфору з підорного шару або про його включення у менш рухомі органо-мінеральні форми внаслідок біологічної активізації ґрунту (табл. 3.8).

Згідно з аналізом вмісту сполук рухомого фосфору в ґрунті за роками досліджень виявлено, що в 2023 році найбільший його вміст був під посівами пшениці ярої 300,0–325,0 мг/кг у 0–20 см шарі та 205,0–300,0 мг/кг ґрунту в 20–40 см горизонті за вищих значень на контролі, що на 25,0 і 63 мг/кг відповідно більше, ніж за комплексної системи удобрення. За системи, яка передбачає внесення під культуру п. п. п. із «Біо-Гелем» вміст фосфору становив 314,2 мг/кг у 0–20 см шарі та 218,9 мг/кг ґрунту в 20–40 см горизонті.

Під посівами сої в 2023 році вміст сполук рухомого фосфору був на рівні від 234,0 до 270,0 мг/кг у 0–20 см шарі та від 232,3 до 255,0 мг/кг ґрунту в 20–40 см горизонті за більшого вмісту на контролі. Подібна тенденція спостерігалася й під посівами гречки, де вміст рухомого фосфору становив 225,0–250,0 мг/кг у 0–20 та 185,0–245,0 мг/кг у 20–40 см шарі ґрунту за відповідно більшого вмісту на контрольних варіантах (додаток Д 2).

В 2024 році найбільше нагромаджували рухомого фосфору на період збирання врожаю посіви гречки, де ці показники становили 325,0–375,0 мг/кг у 0–20 см і 312,5–375,0 мг/кг ґрунту в 20–40 см горизонті за вищих показників на контрольних варіантах, які передбачають внесення лише побічної продукції попередника, що на 50,0 і 62,5 мг/кг ґрунту відповідно більше, ніж за комплексного удобрення та на 26,6 і 47,7 мг/кг більше, ніж за внесення під культуру п. п. п. і «Біо-Гель». Під посівами пшениці ярої вміст сполук рухомого фосфору варіював у межах від 237,0 до 275,0 мг/кг у 0–20 см шарі та від 232,7 до 264,5 мг/кг ґрунту в 20–40 см горизонті за найбільшого вмісту на контролі, що на 38,0 і 30,5 мг/кг більше, ніж за внесення п. п. п. із сидератом та на 35,0 і 30,5 мг/кг ґрунту відповідно більше, ніж за комплексної системи удобрення (п. п. п.

+ сидерат + біодобриво). Під соєю вміст фосфору становив 230,0–275,0 мг/кг і 251,6–264,5 мг/кг ґрунту в 0–20 і 20–40 см горизонті відповідно. У верхньому шарі ґрунту більший вміст був на контролі, тоді як у підорному – за внесення під культуру побічної продукції попередника із сидеральним посівом гірчиці білої (додаток Д 2).

За результатами досліджень щодо вмісту сполук рухомого фосфору в ґрунті виявлено, що в 2025 році найбільший його вміст був під посівами гречки 272,5–362,5 мг/кг та сої 325,0–337,0 мг/кг у 0–20 см шарі, тоді як у 20–40 см горизонті під посівами пшениці ярої 250,0–290,0 мг/кг та сої 264,5–283,0 мг/кг ґрунту. Вищий вміст у орному шарі ґрунту був при внесенні побічної продукції попередника з сидератом у посівах гречки, тоді як у посівах сої та пшениці ярої за комплексного удобрення, яке передбачає внесення п. п. п. + сидерат (гірчиця біла) + біодобриво («Біо-Гель»). У підорному горизонті більший вміст рухомих сполук фосфору був у посівах гречки на контролі, тоді як у посівах пшениці ярої за внесення п. п. п. із сидератом і у посівах сої відповідно за комплексної системи удобрення (додаток Д 2). Згідно ДСТУ 4362:2004 рівень забезпеченості фосфором під усіма культурами сівозміни був дуже високим [115].

Загалом фосфорний режим ґрунту в органічній сівозміні характеризувався високим рівнем забезпеченості та відносною стабільністю впродовж вегетації. Водночас, за роками досліджень і культурами спостерігалися суттєві відмінності, які вказують на важливу роль біологічних особливостей культур, особливо гречки, у формуванні доступності фосфору.

Рухомий калій. Калій належить до найважливіших макроелементів, оскільки бере участь у регуляції численних фізіолого-біохімічних процесів. Його достатнє надходження сприяє накопиченню розчинних вуглеводів і редукуючих цукрів, активує роботу значної кількості ферментних систем, забезпечує транспорт органічних і мінеральних сполук та підтримує енергетичний обмін клітини. За дефіциту калію порушуються процеси окиснювального фосфорилування, пригнічується синтез білків, що негативно впливає на ріст і розвиток рослин і на якісні показники врожаю [178, 179].

Оптимальна забезпеченість рослин калієм підвищує їх стійкість до дефіциту вологи, низьких температур, хвороб та інших стресових чинників, а також покращує використання азоту, фосфору й ґрунтової вологи [180, 181]. Калійний режим ґрунту визначає інтенсивність водного обміну, фотосинтезу, синтезу вуглеводів і формування врожаю. Вміст рухомих форм калію залежить від біологічних особливостей культур, винесення елемента врожаєм, повернення його з рослинними рештками та процесів катіонного обміну у ґрунтово-вбирному комплексі [166, 182–184].

За результатами польових і лабораторних досліджень у середньому за 2023–2025 рр. встановлено, що на початку польових робіт, сівби сої, пшениці ярої та гречки в короткоротаційній органічній сівозміні вміст сполук рухомого калію в ґрунті варіював у межах від 223,8 до 274,2 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту за більшого вмісту при застосуванні п. п. п. і сидерату та від 128,8 до 162,9 мг/кг у 20–40 см шарі ґрунту за дещо більшого вмісту на контролі (табл. 3.9), що за ступенем забезпеченості відповідає високому і дуже високому вмісту згідно ДСТУ 4362:2004 [115].

Найвищий вміст K_2O відмічали в посівах пшениці ярої та гречки, зокрема під пшеницею цей показник становив 223,8–274,2 мг/кг у 0–20 см і 134,6–145,8 мг/кг ґрунту в 20–40 см горизонті за вищих значень при застосуванні побічної продукції попередника з сидеральним посівом, що на 50,4 і 5,7 мг/кг або на 18 і 3 % більше, ніж за комплексного удобрення (п. п. п. + сидерат + біодобриво) та на 44,6 і 11,2 мг/кг або на 16 і 8 % більше, ніж на контролі, що передбачає внесення лише побічної продукції попередника. Тоді як у посівах гречки вміст рухомих сполук калію був на рівні 230,4–268,3 мг/кг у 0–20 см за більшого вмісту на контролі, що на 1–14 % більше, ніж за досліджуваних систем органічного удобрення та 157,9–162,9 мг/кг у 20–40 см шарі ґрунту відповідно за вищого вмісту при застосуванні під культуру побічної продукції попередника в комплексі з сидеральним посівом гірчиці білої, що на 3 % більше, ніж за комплексного удобрення та на 2 % більше, ніж на контролі (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

**Уміст рухомих сполук калію в ґрунті на час сівби зернових культур,
мг/кг, середнє за 2023–2025 рр.**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
Соя	п. п. п.* (контроль)	245,4	128,8
	п. п. п. + сидерат**	240,0	157,9
	п. п. п. + біодобриво***	235,2	158,5
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	227,9	162,5
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		237,2±3,7	151,9±7,8
$V, \%$		3,1	10,2
S		7,4	15,6
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	229,6	134,6
	п. п. п. + сидерат	274,2	145,8
	п. п. п. + біодобриво	242,4	135,3
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	223,8	140,1
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		242,5±11,3	139,0±2,6
$V, \%$		9,3	3,7
S		22,5	5,2
Гречка	п. п. п. (контроль)	268,3	159,6
	п. п. п. + сидерат	265,0	162,9
	п. п. п. + біодобриво	246,4	158,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	230,4	157,9
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		252,6±8,8	159,7±1,1
$V, \%$		7,0	1,4
S		17,6	2,3
Середнє по сівозміні			
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		244,1±4,9	150,2±3,6
$V, \%$		6,9	8,3
S		16,8	12,4

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Дещо меншим вмістом рухомого калію на час сівби відзначилися посіви сої, де цей показник варіював у межах від 227,9 до 245,4 мг/кг ґрунту в 0–20 см і від 128,8 до 162,5 мг/кг у 20–40 см горизонті незалежно від досліджуваних систем удобрення. Зокрема, в орному шарі ґрунту найбільший вміст рухомих сполук калію був на контролі 245,4 мг/кг, що на 10,2 мг/кг або на 4 % більше, ніж за внесення під культуру п. п. п. із біодобрином і на 17,5 мг/кг або на 7 % більше, ніж за застосування комплексного удобрення, де цей показник становив 227,9 мг/кг ґрунту.

В підорному горизонті вміст калію найбільшим був за внесення під культуру комплексу добрив (побічна продукція попередника + сидерат + біодобрино) 162,5 мг/кг, що на 4,6 мг/кг або на 3 % більше, ніж за внесення п. п. п. із сидератом і на 33,7 мг/кг або на 21 % більше, ніж на контролі (див. табл. 3.9).

За середніми даними 2023–2025 рр., на час сівби середній уміст рухомих сполук калію по сівозміні становив від 227,4 до 259,7 мг/кг у шарі ґрунту 0–20 см і від 141,0 до 155,6 мг/кг у 20–40 см горизонті за найбільшого вмісту при застосуванні під культури сівозміни побічної продукції попередників із сидеральним посівом гірчиці білої (рис. 3.4).

Найменший же вміст рухомих сполук калію в ґрунті був за комплексної системи удобрення у 0–20 см шарі ґрунту, тоді як у 20–40 см горизонті на контролі (рис. 3.4). Отже, верхній шар ґрунту був забезпечений рухомих калієм значно краще, ніж підорний, що свідчить про переважну концентрацію рухомих форм калію в зоні нагромадження рослинних решток, активного коренеутворення і біологічного колообігу елементів живлення.

Аналізуючи вміст сполук рухомого калію в ґрунті за роками досліджень виявлено, що в 2023 році найбільший його вміст на час сівби культур був під посівами пшениці ярої 270,0–337,5 мг/кг ґрунту в 0–20 см і 178,8–220,0 мг/кг у 20–40 см горизонті за кращого накопичення при застосуванні під культуру побічної продукції попередника в комплексі з сидеральним посівом. Під соєю показники щодо вмісту калію були нижчими: 187,5 мг/кг на контролі та 161,3 мг/кг за сумісного застосування сидерату і біодобрив у верхньому шарі ґрунту.

Під гречкою застосування сидерату підвищувало вміст калію у шарі 0–20 см до 216,3 мг/кг проти 182,5 мг/кг на контролі відповідно (додаток Е 1).

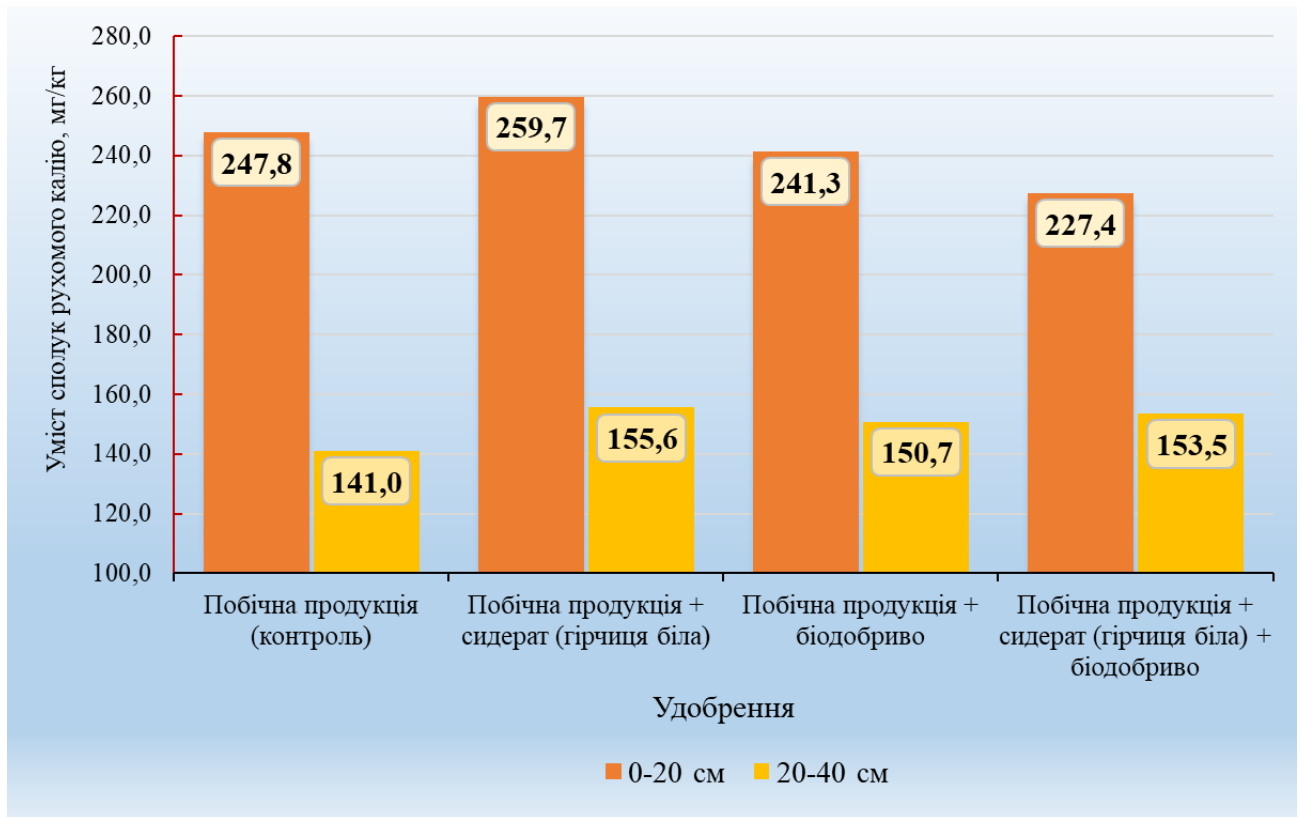


Рисунок 3.4. Уміст рухомих сполук калію в ґрунті на час сівби зернових культур у середньому по сівозміні, мг/кг, за 2023–2025 рр.

Згідно з аналізом вмісту сполук рухомого калію в ґрунті з'ясовано, що в 2024 році на період посіву досліджуваних культур короткоротаційної сівозміни найбільше накопичення цього елемента було під гречкою 328,8–410,0 мг/кг ґрунту в 0–20 см і 265,5–285,0 мг/кг у 20–40 см горизонті за вищих значень на контролі, що передбачає внесення лише побічної продукції попередника. За систем органічного удобрення вміст калію під гречкою в орному шарі ґрунту становив: за внесення п. п. п. і сидерату – 396,3 мг/кг, п. п. п. і біодобрива – 356,1 мг/кг та за сумісного застосування п. п. п., сидерату й біодобрива – 328,8 мг/кг.

Найменшим вмістом рухомого калію на час сівби відзначилися посіви сої, де цей показник варіював у межах від 192,5 до 220,0 мг/кг ґрунту в 0–20 см шарі ґрунту за більшого вмісту на контролі. Тоді як у 20–40 см горизонті вміст калію

був від 113,8 до 140,0 мг/кг за вищого накопичення за комплексної системи удобрення. Під пшеницею ярою досліджувані системи органічного удобрення сприяли істотному підвищенню вмісту калію, особливо у верхньому шарі ґрунту, зокрема, за внесення комплексу добрив вміст становив 240,0 мг/кг, за п. п. п. із сидератом – 292,5 мг/кг проти 187,5 мг/кг на контролі (додаток Е 1).

Найбільший вміст сполук рухомого калію у ґрунті в 2025 році на період сівби досліджуваних культур короткоротаційної сівозміни був під соєю 325,0–340,0 мг/кг ґрунту в 0–20 см і 182,5–265,0 мг/кг у 20–40 см горизонті за вищих значень при внесенні побічної продукції попередника з сидератом. Під пшеницею ярою спостерігалось зниження вмісту калію за удобрених варіантів порівняно з контролем: 216,3 мг/кг на контролі проти 161,3 мг/кг за комбінованої системи.

Найменшим вмістом рухомого калію на час сівби відзначилися посіви гречки, де цей показник варіював у межах від 175,0 до 212,5 мг/кг ґрунту в 0–20 см горизонті за вищого накопичення на контрольному варіанті та від 76,3 до 86,3 мг/кг у 20–40 см горизонті за більшого вмісту при внесенні під культуру побічної продукції попередника із сидератом і за комплексного удобрення відповідно. Це свідчить про значний вплив умов року та культури на формування калійного режиму ґрунту (додаток Е 1).

Вміст сполук рухомого калію на час збирання врожаю знижувався порівняно з періодом сівби. Так, у середньому по сівозміні в шарі 0–20 см він становив 201,9 мг/кг, у шарі 20–40 см – 128,2 мг/кг. Порівняно з періодом сівби зменшення становило відповідно 42,2 мг/кг у верхньому шарі і 22,0 мг/кг у шарі ґрунту 20–40 см, що свідчить про активне використання рухомих форм калію культурами впродовж вегетації та часткове залучення його до формування врожаю.

На час збирання врожаю всіх досліджуваних культур короткоротаційної органічної сівозміни, в середньому за 2023–2025 рр., вміст K_2O в ґрунті варіював у межах від 179,6 до 250,0 мг/кг у 0–20 см і від 106,7 до 164,6 мг/кг ґрунту в 20–40 см горизонті за вищих показників на контрольних варіантах (п. п. п.). Дещо менший уміст сполук рухомого калію, але не значно, був за комплексної системи

удобрення (побічна продукція попередника + сидерат + біодобриво), що за ступенем забезпеченості відповідає підвищеному, високому і дуже високому вмісту згідно ДСТУ 4362:2004 [115] (табл. 3.10).

Аналізуючи системи органічного удобрення, в середньому за три роки досліджень, під культури короткоротаційної 3-пільної сівозміни визначено, що найвищий уміст сполук рухомого калію було відмічено, згідно результатів лабораторного аналізу, в посівах пшениці ярої 191,3–250,0 мг/кг у 0–20 см і 113,3–147,9 мг/кг у 20–40 см шарі ґрунту за більшого вмісту на контролі, який передбачав внесення лише побічної продукції попередників, що на 29–31 % більше порівняно з іншими системами органічного удобрення.

В кінці вегетації сої вміст сполук рухомого калію варіював у межах від 181,4 до 222,5 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту та від 106,7 до 116,7 мг/кг у 20–40 см горизонті за вищих значень на контролі, що на 25,4 і 7,7 мг/кг ґрунту більше, ніж за внесення під культуру побічної продукції попередника із біодобривом та на 41,1 і 10,0 мг/кг або на 18 і 9 % більше, ніж за системи удобрення, яка передбачає внесення п. п. п. із сидеральним посівом гірчиці білої.

На час збирання врожаю гречки, в середньому за три роки досліджень, вміст K_2O в ґрунті був на рівні 179,6–195,0 мг/кг у 0–20 см і 136,7–164,6 мг/кг у 20–40 см шарі ґрунту відповідно за вищого вмісту при внесенні під культуру побічної продукції попередника (контроль), що на 15,4 і 25,8 мг/кг або 8 і 16 % більше, ніж за внесення п. п. п. із сидератом та на 7,1 і 20,0 мг/кг або на 4 і 12 % відповідно більше, ніж за комплексної системи удобрення.

Отримані результати щодо вмісту калію в ґрунті відповідають високому і дуже високому вмісту за ступенем забезпеченості. Гречка характеризувалася найінтенсивнішим використанням рухомого калію з верхнього шару ґрунту, що відповідає високим потребам цієї культури в калійному живленні та активним формуванням вегетативної маси (табл. 3.10).

Таблиця 3.10

Уміст рухомих сполук калію в ґрунті на час збирання врожаю зернових культур, мг/кг, середнє за 2023–2025 рр.

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
Соя	п. п. п.* (контроль)	222,5	116,7
	п. п. п. + сидерат**	181,4	106,7
	п. п. п. + біодобриво***	197,1	109,0
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	221,3	116,3
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		205,6±10,0	112,2±2,5
$V, \%$		9,7	4,5
S		19,9	5,1
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	250,0	147,9
	п. п. п. + сидерат	191,3	113,3
	п. п. п. + біодобриво	201,3	118,6
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	211,3	125,8
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		213,5±12,8	126,4±7,6
$V, \%$		12,0	12,1
S		25,7	15,3
Гречка	п. п. п. (контроль)	195,0	164,6
	п. п. п. + сидерат	179,6	138,8
	п. п. п. + біодобриво	184,7	136,7
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	187,9	144,6
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		186,8±3,2	146,2±6,4
$V, \%$		3,5	8,7
S		6,4	12,7
Середнє по сівозміні			
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		201,9±6,0	128,2±5,2
$V, \%$		10,3	14,1
S		20,9	18,1

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

За результатами польових досліджень та лабораторного аналізу виявлено, що найбільшим вмістом сполук рухомого калію в ґрунті на час збирання врожаю у 2023 році відзначилися посіви пшениці ярої 207,5–325,0 мг/кг у 0–20 см шарі та 110,0–161,3 мг/кг ґрунту в 20–40 см горизонті за вищих значень на контролі. Під соєю у шарі 0–20 см найвищий уміст рухомого калію був на контролі – 253,8 мг/кг, тоді як за сумісного застосування п. п. п., сидерату й біодобрива – 220,0 мг/кг. Під гречкою, навпаки, комбінований варіант забезпечував 153,8 мг/кг, що дещо перевищувало контроль – 150,0 мг/кг (додаток Е 2).

В 2024 році найбільше нагромаджували рухомого калію на період збирання врожаю посіви гречки, де ці показники становили 235,0–270,0 мг/кг у 0–20 см і 264,3–337,5 мг/кг ґрунту в 20–40 см горизонті за вищих показників на контрольних варіантах, які передбачають внесення лише побічної продукції попередника. За систем органічного удобрення вміст сполук рухомого калію був у межах 270,0–285,0 мг/кг ґрунту. Під посівами пшениці ярої вміст калію варіював від 188,9 до 232,5 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту та від 127,5 до 175,0 мг/кг у 20–40 см горизонті залежно від системи удобрення за найбільшого вмісту на контролі, що на 19–27 % більше, ніж за внесення п. п. п. із сидератом і на 10–16 % більше порівняно до комплексної системи удобрення (п. п. п. + сидерат + біодобриво). Вміст рухомих сполук калію на час збирання врожаю сої був у межах від 150,3 до 197,5 мг/кг в орному шарі ґрунту та від 106,3 до 130,0 мг/кг у підорному відповідно за дещо більшого вмісту цього елемента на контрольних варіантах (додаток Е 2).

За результатами досліджень виявлено, що найбільшим вмістом сполук рухомого калію в ґрунті на час збирання врожаю у 2025 році відзначилися посіви сої 201,3–265,0 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту, тоді як у 20–40 см горизонті посіви пшениці ярої 102,3–110,0 мг/кг ґрунту за вищих значень при застосуванні комплексної системи удобрення, що на 18–28 % більше, ніж на контролі. Внесення під культуру п. п. п. із біодобривом сприяло більшому вмісту калію на 8,4–21,4 мг/кг ґрунту порівняно до контролю. Під посівами гречки вміст рухомих сполук калію був у межах від 153,8 до 175,0 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту та від

55,0 до 75,0 мг/кг у 20–40 см горизонті за більшого вмісту при застосуванні комплексної системи удобрення, що на 10,0 і 8,7 мг/кг більше, ніж на контролі. Найменший же вміст калію в межах року був за системи удобрення, яка передбачає внесення побічної продукції попередника із сидеральним посівом гірчиці, де ці показники становили 153,8 мг/кг у орному та 55,0 мг/кг у підорному шарах ґрунту. Вміст рухомих сполук калію на час збирання врожаю пшениці ярої був у межах від 178,8 до 218,8 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту та від 102,3 до 110,0 мг/кг у 20–40 см горизонті відповідно за дещо більшого вмісту цього елементу за комплексного удобрення (додаток Е 2).

Отже, калійний режим ґрунту характеризувався вираженою шаровою диференціацією, високою залежністю від культури та значною мінливістю за роками досліджень. Зокрема, на час сівби найвищі показники калію частіше формувалися у верхньому шарі ґрунту, а на час збирання врожаю відбувалося їх зниження, що відображає активне використання калію культурами 3-пільної органічної сівозміни. Сидерація сприяла підвищенню вмісту сполук рухомого калію в окремі роки й під окремими культурами, однак сумісне застосування сидерату та біодобрива частіше проявлялося не стільки у накопиченні залишкового калію, а скільки у його активнішому залученні до біологічного колообігу. Але забезпеченість ґрунту рухомими формами калію упродовж вегетаційного періоду сільськогосподарських культур залишалася високою.

3.4. Урожайність побічної продукції та сидеральної маси як джерела органічного удобрення культур сівозміни

Чорноземи Лівобережного Лісостепу України мають високий природний потенціал родючості, однак тривале інтенсивне використання ріллі, скорочення надходження органічних добрив, порушення сівозмін і зміна кліматичних умов посилюють ризики дегуміфікації, дисбалансу поживних елементів та зниження біологічної активності ґрунту. У таких умовах важливого значення набувають

біологізовані системи удобрення, що поєднують побічну продукцію попередників, сидеральні культури та біодобрива.

Сидеральні та покривні культури є важливим джерелом органічної речовини, сприяють поліпшенню агрофізичних властивостей і водного режиму ґрунту, активізують мікробіологічні процеси та мобілізацію азоту, фосфору й калію [185–188]. Ефективність сидерації залежить від ґрунтово-кліматичних умов, виду культур, обсягу біомаси та способу її використання. У зоні нестійкого зволоження технологію необхідно адаптувати з урахуванням можливого посилення конкуренції за ґрунтову вологу [185].

Інтеграція сидеральних культур із біопрепаратами та органічними добривами є важливим напрямом біологізації землеробства. Їх комплексне застосування активізує ґрунтову мікробіоту й ферментативні процеси, поліпшує поживний режим, агрофізичні властивості та екологічний стан ґрунту, підвищує доступність елементів живлення й уповільнює деградаційні процеси [189–191]. Водночас ефективність таких систем залежить від ґрунтово-кліматичних умов, біологічних особливостей культур і тривалості застосування, що потребує проведення регіонально адаптованих досліджень [192, 193].

Рациональне використання побічної продукції сільськогосподарських культур є важливим резервом відтворення родючості ґрунту та джерелом органічної речовини й поживних елементів. Заробляння післяжнивних решток сприяє замиканню біологічного кругообігу речовин, стабілізації гумусового стану, поліпшенню агрофізичних і агрохімічних властивостей ґрунту та оптимізації процесів мінералізації й гуміфікації [194–198]. Найвища ефективність досягається за поєднання побічної продукції із сидеральними культурами та іншими складовими органічного удобрення, що підвищує продуктивність короткоротаційних сівозмін і зменшує потребу в традиційних добривах [199, 200]. У зв'язку з цим експериментальна оцінка ефективності органічних систем удобрення в короткоротаційних сівозмінах Лівобережного Лісостепу України є актуальною як у науковому, так і в практичному аспектах.

Урожайність побічної продукції культур короткоротаційної органічної сівозміни.

У середньому за 2023–2025 рр. урожайність побічної продукції культур короткоротаційної сівозміни істотно залежала від біологічних особливостей культур та системи органічного удобрення. Загальною закономірністю було послідовне підвищення виходу рослинної маси в міру ускладнення системи удобрення – від використання побічної продукції попередника до її поєднання із сидератом, біодобрином та комплексного застосування всіх компонентів. Найвищу врожайність побічної продукції не залежно від системи удобрення сформувала пшениця яра, тоді як у сої та гречки показники були нижчими, що зумовлено морфологічними особливостями культур у формуванні надземної біомаси та співвідношенні основної і побічної частин урожаю.

Зокрема, у посівах сої середня врожайність побічної продукції на контрольному варіанті становила 2,08 т/га. Поєднання побічної продукції попередника із сидератом забезпечувало її підвищення до 2,50 т/га, тобто на 0,42 т/га або на 20,2 %. Застосування біодобрива було дещо ефективнішим, за якого урожайність становила 2,58 т/га, а приріст щодо контролю – 0,50 т/га або 24,0 %. Найвищий показник одержано за комплексного застосування побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива – 2,94 т/га, що перевищувало контроль на 0,86 т/га або на 41,3 %. Отже, комплексна система майже вдвічі посилювала відносний ефект порівняно з окремим використанням сидерату та істотно переважала варіант із біодобрином, що свідчить про взаємодоповнювальну дію її складових (табл. 3.11).

У пшениці ярої на контролі, в середньому за три роки досліджень, сформувалося 3,07 т/га побічної маси. Застосування системи удобрення, яка поєднує побічну продукцію попередника із сидератом підвищувало врожайність сухої речовини до 3,79 т/га, забезпечуючи приріст 0,72 т/га або 23,5 %. За поєднання п. п. п. із біодобрином урожайність зростала до 4,04 т/га, що на 0,97 т/га або на 31,6 % перевищувало контроль. Максимальний вихід побічної продукції – 4,60 т/га одержано за комплексної системи удобрення, приріст

відповідно становив 1,53 т/га або 49,8 %, і був найбільшим за абсолютною величиною серед усіх культур сівозміни. Це свідчить про високу чутливість пшениці ярої до поліпшення поживного режиму за оптимальних умов для реалізації її потенціалу.

Таблиця 3.11

Урожайність побічної продукції культур короткоротаційної сівозміни, т/га, за 2023–2025 рр.

Удобрення	Роки досліджень			Середнє за 2023–2025 рр.	Приріст до контролю	
	2023	2024	2025		т/га	%
Соя						
П. п. п.* (контроль)	2,22	0,97	2,46	2,08	—	—
П. п. п. + сидерат**	2,53	1,26	2,93	2,50	0,42	20,2
П. п. п. + біодобриво	2,58	1,34	3,01	2,58	0,50	24,0
П. п. п. + сидерат + біодобриво***	2,77	1,62	3,46	2,94	0,86	41,3
<i>V, %</i>	<i>9,0</i>	<i>20,6</i>	<i>13,8</i>	<i>14,0</i>	—	—
Пшениця яра						
П. п. п. (контроль)	2,27	2,85	3,53	3,07	—	—
П. п. п. + сидерат	3,12	3,32	4,26	3,79	0,72	23,5
П. п. п. + біодобриво	3,13	3,44	4,87	4,04	0,97	31,6
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,61	3,64	5,82	4,60	1,53	49,8
<i>V, %</i>	<i>18,4</i>	<i>10,1</i>	<i>21,0</i>	<i>16,4</i>	—	—
Гречка						
П. п. п. (контроль)	1,90	1,12	2,18	1,99	—	—
П. п. п. + сидерат	2,43	1,36	2,60	2,45	0,46	23,1
П. п. п. + біодобриво	2,47	1,38	2,69	2,50	0,51	25,6
П. п. п. + сидерат + біодобриво	2,72	1,64	3,16	2,89	0,90	45,2
<i>V, %</i>	<i>14,5</i>	<i>15,5</i>	<i>15,1</i>	<i>15,0</i>	—	—

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

У гречки середня врожайність побічної продукції на контрольному варіанті була на рівні 1,99 т/га. Застосування побічної продукції попередника із

сидератом підвищувало її до 2,45 т/га, приріст до контролю при цьому становив 0,46 т/га або 23,1 %. Поєднання побічної продукції з біодобривом забезпечувало врожайність сухої речовини гречки в межах 2,50 т/га, що на 0,51 т/га або на 25,6 %, перевищувало контроль. За комплексного удобрення врожайність становила 2,89 т/га побічної продукції, а приріст відповідно 0,90 т/га або 45,2 %. Отже, хоча за абсолютною врожайністю гречка поступалася пшениці ярій, її відносна реакція на комплексне органічне удобрення була досить високою (табл. 3.11).

Порівняння культур у середньому за всіма системами удобрення підтвердило перевагу пшениці ярої за виходом побічної продукції. Середній показник культури становив 3,88 т/га, тоді як у сої – 2,53, а у гречки – 2,46 т/га. Таким чином, пшениця яра перевищувала сою на 1,35 т/га, або приблизно на 53 %, а гречку на 1,42 т/га, або на 58 %. Соя і гречка характеризувалися близькими середніми показниками, однак соя дещо переважала гречку на 0,07 т/га.

У середньому за культурами врожайність побічної продукції на контрольному варіанті становила 2,38 т/га. За поєднання побічної продукції із сидератом вона підвищувалася до 2,91 т/га, тобто приблизно на 22,3 %. Використання біодобрива забезпечувало 3,04 т/га та приріст близько 27,7 %. Найвищий середній показник – 3,48 т/га одержано за комплексної системи удобрення, що на 1,10 т/га або приблизно на 46,2 % перевищувало контроль, що сприяло найбільшому позитивному ефекту та може бути пов'язано з надходженням до ґрунту органічних речовин із різним хімічним складом і швидкістю трансформації. Побічна продукція забезпечує триваліше поповнення ґрунту органічною речовиною, сидеральна маса є джерелом легкомінералізованих сполук, а біодобриво сприяє активізації мікробіологічних процесів і підвищенню доступності елементів живлення. Поєднання цих факторів створює найбільш сприятливі умови для росту культур та накопичення ними надземної біомаси.

Аналізуючи врожайність побічної продукції культур короткоротаційної сівозміни за роками визначено чітку залежність як від морфологічних особливостей сільськогосподарських культур і системи удобрення, так і від

агрометеорологічних умов у роки проведення досліджень. Зокрема, у 2023 р. урожайність побічної продукції сої варіювала в межах від 2,22 т/га на контрольному варіанті до 2,77 т/га за комплексного удобрення. Застосування сидерату забезпечувало врожайність сухої речовини на рівні 2,53 т/га, що на 0,31 т/га або на 14,0 % перевищувало контроль. На варіанті з біодобривом урожайність становила 2,58 т/га, що на 0,36 т/га або на 16,2 % більше, ніж на контролі. Комплексна система удобрення підвищувала врожайність побічної продукції на 0,55 т/га або на 24,8 % відповідно. Коефіцієнт варіації 9,0 % свідчить про порівняно невелику диференціацію варіантів удобрення та відносно рівномірне формування побічної маси сої (див. табл. 3.11).

У пшениці ярої показники врожайності змінювалися від 2,27 т/га на контролі до 3,61 т/га за комплексної системи. Застосування сидерату і біодобрива забезпечувало майже однакові результати – відповідно 3,12 і 3,13 т/га. Прирости становили 0,85 т/га або 37,4 % та 0,86 т/га або 37,9 %. За комплексного удобрення перевищення контролю досягало 1,34 т/га або 59,0 %. Коефіцієнт варіації 18,4 % указує на істотну реакцію пшениці ярої на системи удобрення.

У гречки врожайність побічної продукції варіювала від 1,90 до 2,72 т/га. Застосування сидерату підвищувало врожайність до 2,43 т/га, тобто на 0,53 т/га або на 27,9 %. Біодобриво забезпечувало рівень накопичення маси 2,47 т/га та приріст 0,57 т/га або 30,0 % порівняно до контролю. За комплексної системи удобрення одержано врожайність побічної продукції на рівні 2,72 т/га, що на 0,82 т/га або на 43,2 % перевищувало контроль. Коефіцієнт варіації становив 14,5 %, що характеризує середній рівень диференціації систем удобрення.

У 2024 р. відбулося істотне зниження врожайності побічної продукції сої та гречки порівняно з 2023 і 2025 рр., що пов'язано з погодними умовами 2024 р. Так, у сої на контрольному варіанті врожайність сухої речовини була лише 0,97 т/га. Застосування сидерату підвищувало показник до 1,26 т/га за приросту до контролю 0,29 т/га або 29,9 %. За внесення біодобрива одержано 1,34 т/га побічної маси, що на 0,37 т/га або на 38,1 % перевищувало контроль. Комплексне удобрення забезпечувало врожайність побічної продукції культури на рівні 1,62

т/га за приросту 0,65 т/га або 67,0 %. Коефіцієнт варіації 20,6 % був найвищим для сої за роки досліджень, що свідчить про посилення ролі удобрення за менш сприятливих умов формування врожаю.

У пшениці ярої врожайність побічної продукції була стабільнішою і становила від 2,85 до 3,64 т/га. Застосування сидерату забезпечувало приріст до контролю на рівні 0,47 т/га або 16,5 %, біодобрива – 0,59 т/га або 20,7 %, а комплексної системи – 0,79 т/га або 27,7 % відповідно. Коефіцієнт варіації 10,1 % був найнижчим для культури за весь період, що вказує на відносно невелику диференціацію систем удобрення у 2024 році.

У гречки контрольний показник становив 1,12 т/га. За застосування сидерату отримано врожайність побічної продукції на рівні 1,36 т/га, що на 0,24 т/га або на 21,4 % більше контролю. Біодобриво забезпечувало 1,38 т/га і приріст 0,26 т/га або 23,2 %. Комплексна система підвищувала врожайність до 1,64 т/га, приріст при цьому становив 0,52 т/га або на 46,4 %. Коефіцієнт варіації дорівнював 15,5 %.

Отже, 2024 р. був найменш сприятливим для формування побічної продукції сої та гречки. Водночас за низького рівня врожайності на контролі відносна ефективність комплексного удобрення істотно зростала, особливо у сої. Це свідчить про стабілізаційну роль органічних систем удобрення та їх здатність частково пом'якшувати негативний вплив несприятливих умов року.

У 2025 р. сформовано найвищі показники врожайності побічної продукції більшості культур. У сої на контролі одержано 2,46 т/га. Застосування сидерату підвищувало врожайність до 2,93 т/га, що на 0,47 т/га або на 19,1 % перевищувало контроль. Біодобриво забезпечувало 3,01 т/га і приріст 0,55 т/га або 22,4 %. За комплексної системи сформовано 3,46 т/га, тобто на 1,00 т/га або на 40,7 % більше контролю. Коефіцієнт варіації становив 13,8 %.

У пшениці ярої врожайність побічної продукції досягала 3,53 т/га на контролі, 4,26 т/га за використання сидерату, 4,87 т/га за застосування біодобрива та 5,82 т/га за комплексного удобрення. Прирости відповідно становили 0,73 т/га або 20,7 %, 1,34 т/га або 38,0 % і 2,29 т/га або 64,9 %

відповідно. Коефіцієнт варіації 21,0 % був найвищим для пшениці ярої за період досліджень, що відображає значну диференціацію варіантів удобрення та повнішу реалізацію переваг комплексної системи.

У гречки врожайність побічної продукції змінювалася від 2,18 т/га на контролі до 3,16 т/га за комплексного удобрення. Сидерат забезпечував приріст 0,42 т/га або 19,3 %, біодобриво – 0,51 т/га або 23,4 %, а комплексна система – 0,98 т/га або 45,0 %. Коефіцієнт варіації становив 15,1 %, залишаючись близьким до показників попередніх років (див. табл. 3.11).

Отже, 2025 рік був найсприятливішим для реалізації продукційного потенціалу досліджуваних культур. Максимальну врожайність побічної продукції за весь період досліджень сформувала пшениця яра за комплексного удобрення – 5,82 т/га. Високі абсолютні й відносні прирости свідчать, що за сприятливих агрометеорологічних умов комплексна система забезпечувала найповніше використання культурами доступних ресурсів.

Таким чином, урожайність побічної продукції культур короткоротаційної сівозміни формувалася під комплексним впливом системи органічного удобрення, біологічних особливостей культур та погодних умов років досліджень. Найбільшу кількість рослинної маси стабільно формувала пшениця яра, тоді як соя і гречка характеризувалися нижчими та близькими між собою показниками.

Використання побічної продукції попередника із сидератом або біодобривом забезпечувало помірне підвищення врожайності, проте максимальний і найбільш стабільний ефект отримано за комплексного застосування побічної продукції, сидерату та біодобрива. У середньому за 2023–2025 рр. ця система підвищувала вихід побічної продукції сої на 0,86 т/га або на 41,3 %, пшениці ярої на 1,53 т/га або на 49,8 %, гречки на 0,90 т/га або на 45,2 % порівняно з контролем. Збереження переваги комплексного удобрення за різних погодних умов підтверджує закономірний характер його дії та свідчить про доцільність застосування цієї системи для збільшення обсягів органічної маси,

яка повертається у ґрунт для посилення біологічного колообігу речовин у короткоротаційній органічній сівозміні.

Урожайність зеленої маси пожнивного (сидерального) посіву гірчиці білої.

У середньому за 2023–2025 рр. урожайність зеленої маси пожнивного посіву гірчиці білої визначалася передусім культурою-попередником, строками звільнення поля та тривалістю періоду осінньої вегетації. Додатковий вплив мало застосування біодобрива, яке сприяло підвищенню продуктивності сидеральної культури після всіх попередників. Водночас величина його ефекту була значно меншою, ніж відмінності, зумовлені місцем гірчиці у сівозміні.

Зокрема, після сої на варіанті побічна продукція попередника + сидерат урожайність зеленої маси становила в середньому 5,97 т/га. Додаткове застосування біодобрива підвищувало показник до 6,33 т/га. Приріст становив 0,36 т/га або 6,0 %. Так, використання біодобрива після сої забезпечувало помірне, проте стабільне збільшення обсягу сидеральної біомаси (табл. 3.12).

Найвищу врожайність гірчиці білої отримано після пшениці ярої. На варіанті із сидератом сформовано 11,59 т/га зеленої маси, а за додаткового застосування біодобрива – 12,27 т/га. Приріст дорівнював 0,68 т/га або 5,9 %. Порівняно з посівом після сої врожайність гірчиці після пшениці була вищою на 5,62 т/га або на 94,1 % без біодобрива та на 5,94 т/га або на 93,8 % за його застосування. Це свідчить про майже дворазову перевагу пшениці ярої як попередника щодо врожайності пожнивної сидеральної культури.

Після гречки врожайність зеленої маси гірчиці становила 6,12 т/га на варіанті із сидератом та 6,53 т/га за додаткового використання біодобрива. Приріст становив 0,41 т/га або 6,7 %. Порівняно із соєю гречка забезпечувала незначне підвищення продуктивності гірчиці – на 0,15–0,20 т/га або на 2,5–3,2 %. Водночас після пшениці ярої врожайність сидерату була вищою, ніж після гречки на 5,47 т/га або на 89,4 % без біодобрива та на 5,74 т/га або на 87,9 % за його застосування.

У середньому за попередниками врожайність зеленої маси гірчиці білої на варіанті побічна продукція + сидерат становила 7,89 т/га, тоді як за додаткового

застосування біодобрива – 8,38 т/га. Середній приріст дорівнював 0,49 т/га або 6,2 %. Це свідчить, що біодобриво стабільно посилювало формування зеленої маси, однак головним чинником урожайності сидерату залишалася культура-попередник.

Таблиця 3.12

Урожайність зеленої маси пожнивного (сидерального) посіву гірчиці білої, т/га, за 2023–2025 рр.

Удобрення	Роки досліджень			Середнє за 2023– 2025 рр.
	2023	2024	2025	
Соя				
П. п. п.* (контроль)	—	—	—	—
П. п. п. + сидерат**	5,08	5,95	6,87	5,97
П. п. п. + біодобриво***	—	—	—	—
П. п. п. + сидерат + біодобриво	5,50	6,11	7,39	6,33
Пшениця яра				
П. п. п. (контроль)	—	—	—	—
П. п. п. + сидерат	10,65	11,26	12,85	11,59
П. п. п. + біодобриво	—	—	—	—
П. п. п. + сидерат + біодобриво	11,26	11,90	13,65	12,27
Гречка				
П. п. п. (контроль)	—	—	—	—
П. п. п. + сидерат	4,63	6,42	7,30	6,12
П. п. п. + біодобриво	—	—	—	—
П. п. п. + сидерат + біодобриво	5,07	7,04	7,49	6,53

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Перевага пшениці ярої як попередника пов'язана передусім із раннім строком її збирання. Це забезпечувало своєчасну сівбу гірчиці білої, триваліший період вегетації та повніше використання запасів ґрунтової вологи, атмосферних опадів і теплових ресурсів другої половини літа та осені. Після сої та гречки строки сівби сидеральної культури були пізнішими, унаслідок чого скорочувався період формування її надземної біомаси.

Аналізуючи врожайність зеленої маси сидеральної культури за роками досліджень визначено, що в 2023 р. після сої врожайність біомаси гірчиці білої становила 5,08 т/га без додаткового застосування біодобрива та 5,50 т/га за його використання. Приріст при цьому був на рівні 0,42 т/га або 8,3 %. Після пшениці ярої сформовано відповідно 10,65 і 11,26 т/га зеленої маси. Біодобриво забезпечувало додатково 0,61 т/га або 5,7 %. Урожайність сидерату після пшениці була у 2,1 рази вищою, ніж після сої, що підтверджує перевагу раннього звільнення поля від основної культури сівозміни. Після гречки отримано найнижчі показники в межах року – 4,63 т/га без біодобрива та 5,07 т/га за його застосування. Приріст становив 0,44 т/га або 9,5 % і був найбільшим у відносному вираженні серед попередників (табл. 3.12).

Отже, у 2023 р. найвищу врожайність гірчиці забезпечувало її розміщення після пшениці ярої, а найнижчу – після гречки. Водночас за нижчого рівня врожайності після гречки відносний ефект біодобрива проявлявся сильніше.

У 2024 р. урожайність зеленої маси гірчиці після сої становила 5,95 т/га на варіанті із сидератом та 6,11 т/га за додаткового застосування біодобрива. Приріст був порівняно невеликим – 0,16 т/га або 2,7 %. Після пшениці ярої сформовано 11,26 і 11,90 т/га зеленої маси. Застосування біодобрива підвищувало показник на 0,64 т/га або на 5,7 %. Пшениця яра зберігала суттєву перевагу над іншими попередниками. Після гречки врожайність становила відповідно 6,42 і 7,04 т/га. Приріст від біодобрива становив 0,62 т/га або 9,7 % і був найбільшим серед культур-попередників. Порівняно з 2023 р. урожайність гірчиці після гречки підвищилася на 1,79 т/га без біодобрива та на 1,97 т/га за його застосування.

Особливістю 2024 р. було істотне зростання продуктивності сидерального посіву після гречки та незначний ефект біодобрива після сої. Це підтверджує, що результативність біодобрива залежала від агрометеорологічних умов післязбирального періоду та вихідного рівня забезпечення рослин ресурсами.

У 2025 р. сформовано найвищу врожайність зеленої маси гірчиці білої за весь період досліджень. Після сої урожайність біомаси гірчиці становила 6,87

т/га без біодобрива та 7,39 т/га за його застосування. Приріст дорівнював 0,52 т/га або 7,6 %. Після пшениці ярої отримано максимальні значення – відповідно 12,85 і 13,65 т/га. Застосування біодобрива забезпечувало приріст 0,80 т/га або 6,2 %. Саме цей варіант характеризувався найбільшим абсолютним виходом сидеральної маси за досліджуваний період. Після гречки врожайність гірчиці становила 7,30 та 7,49 т/га відповідно. Додатковий ефект біодобрива був найменшим – 0,19 т/га або 2,6 %. Це може свідчити про те, що за сприятливих умов року та високого рівня реалізації продукційного потенціалу рослин стимулювальна дія біодобрива проявлялася слабше (див. табл. 3.12).

Порівняно з 2023 р. урожайність зеленої маси у 2025 р. зросла після сої на 1,79 т/га без біодобрива і на 1,89 т/га за його застосування; після пшениці ярої – відповідно на 2,20 і 2,39 т/га; після гречки – на 2,67 і 2,42 т/га. Отже, загальною міжрічною тенденцією було послідовне підвищення продуктивності гірчиці від 2023 до 2025 р.

Таким чином, урожайність зеленої маси пожнивного посіву гірчиці білої найбільшою мірою залежала від культури-попередника, строку звільнення поля та погодних умов післязбирального періоду. Найвищі показники стабільно формувалися після пшениці ярої – у середньому 11,59–12,27 т/га, що майже вдвічі перевищувало продуктивність сидерату після сої та гречки.

Додаткове застосування біодобрива підвищувало середню врожайність зеленої маси після сої на 0,36 т/га або на 6,0 %, після пшениці ярої – на 0,68 т/га або на 5,9 %, після гречки – на 0,41 т/га або на 6,7 %. Отже, його дія була стабільно позитивною, проте мала допоміжний характер порівняно з впливом попередника.

Найменшу врожайність сидеральної маси переважно одержано у 2023 р., а максимальну – у 2025 р. Послідовне зростання показників за роками свідчить про визначальну роль гідротермічного режиму другої половини вегетаційного періоду. Вирощування гірчиці білої після пшениці ярої за додаткового застосування біодобрива забезпечувало найбільше надходження свіжої органічної маси до ґрунту та створювало найсприятливіші передумови для

активізації біологічних процесів і відтворення родючості ґрунту в короткоротаційній органічній сівозміні.

Висновки до Розділу 3

1. Встановлено, що за органічного вирощування культур короткоротаційної сівозміни запаси продуктивної вологи на початку вегетації були достатніми для формування дружніх сходів і становили 29,7–41,9 мм у шарі ґрунту 0–20 см, 69,4–79,8 мм – у шарі 0–50 см та 135,7–167,4 мм – у 0–100 см горизонті. Найбільші початкові запаси вологи переважно формувалися на контролі, тоді як застосування сидерату та біодобрива сприяло її інтенсивнішому використанню рослинами. На час збирання врожаю комплексна система удобрення (побічна продукція попередника + сидерат + біодобриво) забезпечувала найбільші залишкові запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту (46,4–60,7 мм), що на 13–25 % перевищувало контроль і свідчило про підвищення водоутримувальної здатності ґрунту;

2. Закономірним наслідком формування оптимального водного режиму стало підвищення ефективності використання вологи культурами сівозміни. Найбільші загальні витрати вологи були характерні для гречки (325,3–343,5 мм), дещо менші – для пшениці ярої (314,9–331,3 мм), а найменші – для сої (307,6–329,1 мм). Водночас комплексна система удобрення забезпечила найнижчі витрати вологи на формування 1 т абсолютно сухої речовини: 643,5 м³/т у сої, 375,4 м³/т у пшениці ярій та 708,7 м³/т у гречки, що відповідно на 33,9; 36,2 та 34,8 % менше порівняно з контролем, підтверджуючи істотне підвищення водопродуктивності агроценозів;

3. Оптимізація водного режиму ґрунту супроводжувалася покращенням азотного живлення культур. Зокрема, на час сівби у шарі ґрунту 0–20 см у середньому по сівозміні вміст нітратного азоту становив 40,2–51,2 мг/кг і був найбільшим за комплексного удобрення, перевищуючи контроль на 10,9 мг/кг або на 27 %. В кінці вегетації культур сівозміни його вміст закономірно знижувався до 25,2 мг/кг у шарі 0–20 см, 16,2 мг/кг у 20–40 см і 11,8 мг/кг у 40–

60 см горизонті, тобто на 46–58 %, що відображає активне засвоєння азоту культурами, водночас під соєю за комплексного удобрення зберігалось 34,7 мг/кг у верхньому шарі проти 26,7 мг/кг на контролі;

4. На відміну від більш динамічного азотного режиму, забезпеченість ґрунту рухомими сполуками фосфору залишалася високою і відносно стабільною. У середньому по сівозміні на час збирання їх уміст становив 288,1 мг/кг у шарі ґрунту 0–20 см і 259,4 мг/кг у шарі 20–40 см проти 262,2 мг/кг ґрунту на початку вегетації в підорному горизонті. Найвищий середній показник у верхньому шарі встановлено під гречкою – 308,3 мг/кг, тоді як під пшеницею ярою і соєю він становив відповідно 280,7 і 275,2 мг/кг. Певне зниження залишкового фосфору за біологізованих систем свідчить переважно про його активніше залучення рослинами та мікробіотою до біологічного колообігу;

5. Аналогічна шарова диференціація була характерною для рухомого калію: на час сівби його вміст становив 223,8–274,2 мг/кг у шарі ґрунту 0–20 см і 128,8–162,9 мг/кг у 20–40 см горизонті, що відповідало високому та дуже високому рівням забезпеченості. Наприкінці вегетації середній уміст калію по сівозміні зменшувався до 201,9 і 128,2 мг/кг ґрунту відповідно. Найвищі показники у верхньому шарі зафіксовано під пшеницею ярою – до 250,0 мг/кг, а відносно нижчий залишковий уміст за сидерації та комплексного удобрення відображав інтенсивніше винесення калію врожаєм і його активне включення у біологічний колообіг;

6. Поліпшення водного й поживного режимів чорнозему закономірно позначилося на урожайності побічної продукції культур органічної сівозміни. За комплексного застосування побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива урожайність надземної біомаси становила 2,94 т/га у сої, 4,60 т/га у пшениці ярої та 2,89 т/га у гречки, перевищуючи контроль відповідно на 0,86 т/га або 41,3 %, 1,53 т/га або 49,8 % та 0,90 т/га або 45,2 % відповідно. Найвищий абсолютний вихід побічної маси формувала пшениця яра, що визначає її вагомий внесок у поповнення ґрунту органічною речовиною;

7. Зростання кількості побічної продукції створювало сприятливу основу для формування сидеральної біомаси. Найвищу врожайність зеленої маси гірчиці білої одержано після пшениці ярої – 11,59 т/га за використання сидерату та 12,27 т/га за додаткового внесення біодобрива; після сої вона становила відповідно 5,97 і 6,33 т/га, після гречки – 6,12 і 6,53 т/га. Додаткове застосування біодобрива забезпечувало приріст сидеральної маси на 0,36–0,68 т/га, або на 5,9–6,7 %, тоді як вирішальною перевагою пшениці ярої як попередника було раннє звільнення поля та довший період вегетації пожнивного посіву;

8. Отже, встановлено цілісну закономірність: комплексна система органічного удобрення оптимізувала збереження й продуктивність використання вологи, активізувала залучення доступних форм азоту, фосфору та калію у продукційний процес і забезпечувала найбільше накопичення побічної та сидеральної біомаси, посилюючи біологічний колообіг речовин і відтворення родючості чорнозему типового малогумусного.

Основні результати досліджень за даним розділом опубліковано в наукових працях [201–203].

РОЗДІЛ 4

АГРОХІМІЧНІ, ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА БІОЛОГІЧНА АКТИВНІСТЬ ҐРУНТУ ПІД КУЛЬТУРАМИ ОРГАНІЧНОЇ КОРОТКОРОТАЦІЙНОЇ СІВОЗМІНИ

4.1. Вплив сівозмінного фактору та органічного удобрення на вміст гумусу під культурами короткоротаційної сівозміни

Отримані результати щодо оптимізації водного та поживного режимів ґрунту свідчать, що комплексне застосування побічної продукції попередника, сидеральних культур і біодобрива не лише забезпечувало ефективніше використання продуктивної вологи та підвищувало забезпеченість рослин доступними формами азоту, фосфору й калію, а й сприяло формуванню більшої кількості органічної біомаси. Зростання врожайності побічної продукції культур сівозміни та сидеральної маси гірчиці білої істотно збільшувало надходження органічної речовини до ґрунту, створюючи передумови для активізації процесів гумусоутворення, посилення мікробіологічної діяльності та відтворення родючості чорнозему. У зв'язку з цим важливого значення набуває оцінка впливу досліджуваних систем органічного удобрення на зміну вмісту гумусу як інтегрального показника ефективності біологізації короткоротаційної сівозміни та стабільності функціонування агроecosистеми.

Найважливішим показником родючості та агроecологічного стану ґрунтів, а особливо чорноземів, є вміст гумусу в ньому. Джерелом елементів живлення є органічна речовина, яка й визначає його структурно-агрегатний стан, фізико-хімічні та обмінні властивості. Завдяки гумусу забезпечується стійкість чорноземів до зовнішніх впливів і підтримується їхня біогенність [204–215].

Гумус є джерелом практично всіх елементів мінерального живлення рослин, які вивільняються в процесі його мінералізації. Процеси розкладання гумусу мікроорганізмами супроводжуються продукуванням вуглекислого газу,

необхідного рослинам для фотосинтезу, а також різних біологічно активних речовин, які стимулюють життєдіяльність рослинних мікроорганізмів. Джерелом гумусу є органічні рештки вищих рослин, мікроорганізмів і тварин, що населяють ґрунт, а також внесенні органічні добрива [216].

Уміст гумусу в чорноземі типовому малогумусному Лівобережного Лісостепу визначали в стаціонарному досліді з вивчення впливу різних систем біологічного удобрення на продуктивність зернових культур короткоротаційної сівозміни і родючість ґрунту за органічного виробництва сільськогосподарської продукції. В 0–20 см шарі ґрунту на початку досліджень містилося 3,06–3,17 %, у 20–40 см шарі відповідно 2,49–2,86 % гумусу.

Уміст і запаси гумусу є інтегральними показниками родючості ґрунту, які відображають баланс надходження органічної речовини, інтенсивність її гуміфікації та мінералізації. Наведені дані свідчать, що формування гумусового стану чорнозему залежало як від системи органічного удобрення, так і від культури сівозміни, року досліджень та глибини ґрунтового шару. Загальною закономірністю було переважання вмісту і запасів гумусу в шарі 0–20 см порівняно із шаром 20–40 см, що пов'язано з поверхневим надходженням побічної продукції, сидеральної маси, інтенсивнішим розвитком корневих систем і вищою біологічною активністю орного шару.

Для оцінювання впливу досліджуваних факторів на вміст і запаси гумусу в ґрунті нами проведено відбір і агрохімічний аналіз зразків ґрунту під культурами короткоротаційної органічної сівозміни. За результатами досліджень в середньому за 2023–2025 рр., встановлено, що вміст гумусу залежав як від культури короткоротаційної сівозміни, так і від застосованих систем органічного удобрення, зокрема, вміст гумусу варіював у межах від 3,05 до 3,30 %, а запаси від 74,3 до 79,2 т/га у 0–20 см шарі ґрунту та відповідно від 2,56 до 2,90 % і від 63,8 до 72,5 т/га у 20–40 см горизонті за найбільшого вмісту та запасів під посівами пшениці ярої 3,20–3,30 % і 2,67–2,90 % та 76,8–79,2 т/га і 66,8–72,5 т/га відповідно. Найбільший вміст гумусу був за застосування комплексної системи удобрення (побічна продукція попередника + сидеральний посів гірчиці +

біодобриво «Біо-Гель») 3,30 % у 0–20 см і 2,90 % у 20–40 см горизонті, що на 0,08 % і 0,07–0,11 % більше, ніж за внесення під культуру п. п. п. із сидератом і п. п. п. із біодобривом та на 0,10 і 0,23 % більше, ніж на контролі. Запаси гумусу за цієї ж системи удобрення під пшеницею ярою становили 79,2 у 0–20 см і 72,5 т/га у 20–40 см горизонті відповідно (табл. 4.1).

Дещо менший вміст гумусу був під посівами сої 3,05–3,23 % у 0–20 см шарі ґрунту та 2,59–2,73 % у 20–40 см горизонті за більшого показника при застосуванні комплексу добрив органічного походження, що на 0,12–0,16 % в орному шарі ґрунту більше, ніж за внесення побічної продукції з сидератом і п. п. п. із біодобривом і на 0,18 % більше порівняно до контролю, тоді як у підорному горизонті найменший вміст гумусу було зафіксовано за внесення під культуру побічної продукції попередника з сидеральним посівом гірчиці 2,59 %, а контрольний варіант був наближений до комплексної системи удобрення. Запаси гумусу під соєю, в середньому за три роки досліджень, також найбільшими були за комплексної системи удобрення – 78,6 т/га в 0–20 см шарі ґрунту та 67,4 т/га в 20–40 см горизонті.

Вміст гумусу під посівами гречки, в середньому за 2023–2025 рр. досліджень, був на рівні від 3,10 до 3,21 % у 0–20 см шарі ґрунту та від 2,56 до 2,70 % у 20–40 см горизонті. З-поміж систем удобрення під культуру найбільший вміст гумусу був за комплексного удобрення, що на 0,11 % у орному та на 0,14 % у підорному шарах ґрунту більше, ніж на контролі, який передбачає внесення лише побічної продукції попередника. Вміст гумусу за внесення під гречку п. п. п. із сидератом і п. п. п. із біодобривом становив 3,13 і 3,15 % у 0–20 см та 2,68 і 2,67 % у 20–40 см горизонтах, що на 0,03–0,05 % і 0,11–0,12 % більше, ніж на контрольному варіанті. Запаси гумусу під гречкою були в межах від 74,4 до 77,0 т/га в 0–20 см шарі ґрунту та від 64,0 до 67,5 т/га в 20–40 см горизонті за найбільших запасів при внесенні під культуру комплексу добрив (п. п. п. + сидерат + біодобриво), тоді як найменші відповідно – на контролі, що на 2,6 т/га в орному та на 3,5 т/га у підорному горизонтах ґрунту менше, ніж за комплексної системи удобрення (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

**Уміст і запаси гумусу в ґрунті під культурами короткоротаційної
органічної сівозміни, середнє за 2023–2025 рр.**

Система удобрення	Уміст гумусу, %		Запаси гумусу, т/га	
	Шар ґрунту, см			
	0–20	20–40	0–20	20–40
Соя				
П. п. п.* (контроль)	3,05	2,72	74,3	67,1
П. п. п. + сидерат**	3,07	2,59	74,6	63,8
П. п. п. + біодобриво***	3,11	2,66	75,6	65,6
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,23	2,73	78,6	67,4
$\overline{X} \pm S_{\overline{x}}$	3,11±0,04	2,68±0,03	75,78±0,97	65,99±0,82
<i>V, %</i>	2,58	2,50	2,6	2,5
<i>S</i>	0,08	0,07	1,95	1,64
Пшениця яра				
П. п. п. (контроль)	3,20	2,67	76,8	66,8
П. п. п. + сидерат	3,22	2,79	77,3	69,8
П. п. п. + біодобриво	3,22	2,83	77,4	70,8
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,30	2,90	79,2	72,5
$\overline{X} \pm S_{\overline{x}}$	3,24±0,02	2,80±0,05	77,66±0,53	69,96±1,19
<i>V, %</i>	1,36	3,39	1,4	3,4
<i>S</i>	0,04	0,09	1,06	2,37
Гречка				
П. п. п. (контроль)	3,10	2,56	74,4	64,0
П. п. п. + сидерат	3,13	2,68	75,1	66,9
П. п. п. + біодобриво	3,15	2,67	75,7	66,8
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,21	2,70	77,0	67,5
$\overline{X} \pm S_{\overline{x}}$	3,15±0,02	2,65±0,03	75,56±0,56	66,31±0,78
<i>V, %</i>	1,48	2,37	1,5	2,4
<i>S</i>	0,05	0,06	1,12	1,57
Середнє по сівозміні				
$\overline{X} \pm S_{\overline{x}}$	3,17±0,03	2,71±0,03	76,33±0,68	67,42±0,68
<i>V, %</i>	1,84	2,04	1,8	2,0
<i>S</i>	0,06	0,06	1,36	1,35

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

У середньому за всіма системами удобрення найвищий уміст гумусу в шарі ґрунту 0–20 см сформувався під пшеницею ярою – 3,24 %, тоді як під гречкою він становив 3,15 %, а під соєю – 3,11 %. Запаси гумусу в орному шарі також були найбільшими під пшеницею ярою – 77,66 т/га, що на 2,10 т/га перевищувало показник під гречкою та на 1,88 т/га – під соєю (табл. 4.1).

У шарі ґрунту 20–40 см перевага пшениці ярої була ще виразнішою: середній уміст гумусу становив 2,80 %, а запаси – 69,96 т/га. Порівняно із соєю це було більше відповідно на 0,12 % і 3,97 т/га, а порівняно з гречкою – на 0,15 % і 3,65 т/га. Така закономірність може бути зумовлена значним надходженням післязбирально-коренових решток пшениці, їх відносно широким співвідношенням та поступовою гуміфікацією органічної маси.

Під гречкою середній уміст гумусу становив 3,15 % у орному та 2,65 % у підорному шарі ґрунту, а запаси – 75,56 і 66,31 т/га відповідно. Порівняно із соєю гречка мала дещо вищий уміст гумусу в шарі 0–20 см – на 0,04 %, однак запаси в нижньому шарі ґрунту були майже однаковими.

Під соєю спостерігалася найбільш неоднозначна дія окремих систем удобрення, особливо в шарі ґрунту 20–40 см. Зокрема, у середньому вміст гумусу становив 2,68 %, а запаси – 65,99 т/га. На варіанті із сидератом вони були навіть нижчими за контроль – відповідно на 0,13 % та 3,3 т/га. Це може свідчити про посилення мінералізації органічної речовини під впливом біологічно активної сидеральної маси та азотфіксувальної здатності сої, коли надходження свіжої органіки тимчасово стимулювало розклад раніше сформованих гумусових сполук. Водночас комплексне удобрення нівелювало цю тенденцію і забезпечило під соєю максимальні показники у орному шарі ґрунту – 3,23 % та 78,6 т/га гумусу.

Отже, найчіткішу позитивну реакцію на органічне удобрення в орному шарі ґрунту виявлено під пшеницею ярою: комплексна система підвищувала вміст гумусу від 2,67 до 2,90 %, а його запаси – від 66,8 до 72,5 т/га. Під гречкою відповідне зростання становило від 2,56 до 2,70 % і від 64,0 до 67,5 т/га (див. табл. 4.1).

Така закономірність свідчить про високу ефективність застосовуваних систем органічного удобрення під культури короткоротаційної 3-пільної сівозміни, особливо ефективною виявилася комплексна система удобрення біологічного походження (п. п. п. + сидерат + біодобриво).

У середньому по сівозміні найнижчі показники гумусового стану ґрунту сформувалися на контрольному варіанті, де застосовували лише побічну продукцію попередника. Так, уміст гумусу за такого удобрення становив 3,12 % у шарі ґрунту 0–20 см і 2,65 % у 20–40 см горизонті, а його запаси – відповідно 75,2 і 66,0 т/га (рис. 4.1, 4.2).

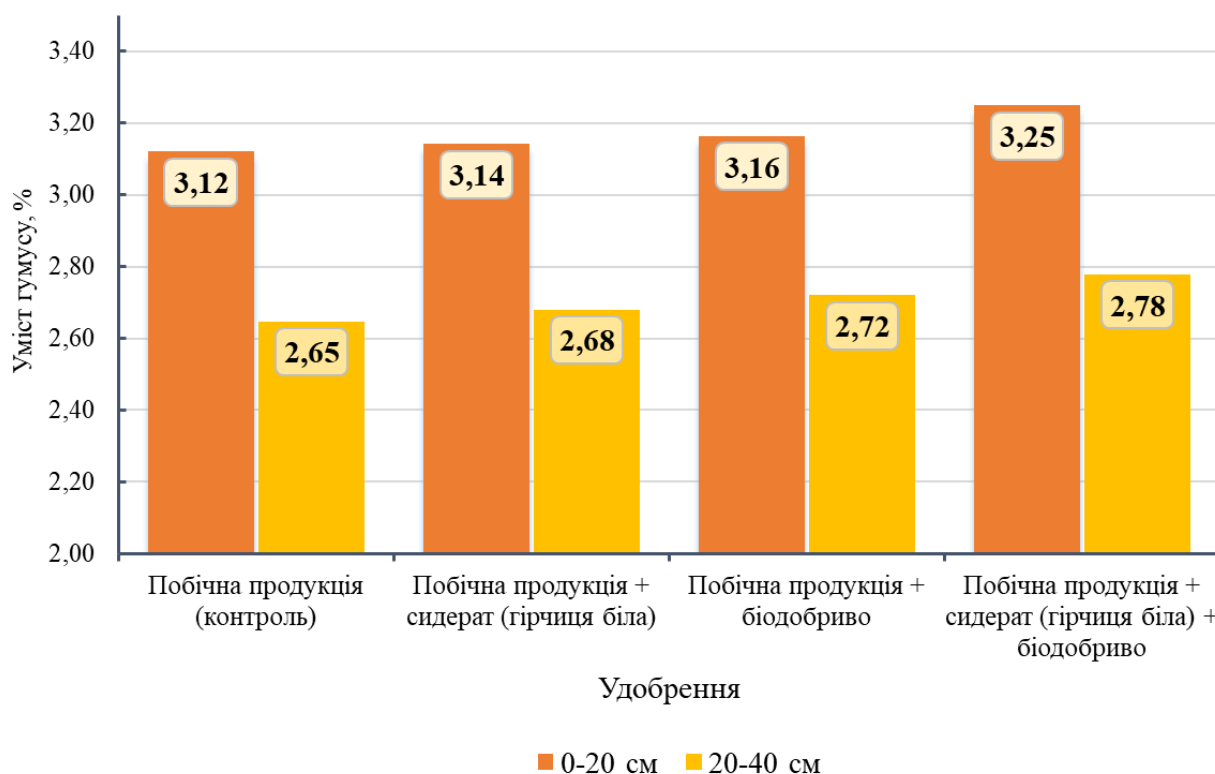


Рисунок 4.1. Уміст гумусу в ґрунті під культурами, %, у середньому по сівозміні за 2023–2025 рр.

Додаткове залучення сидерату сприяло незначному підвищенню вмісту гумусу до 3,14 і 2,68 %, тобто на 0,02 і 0,03 % гумусу або на 0,6 і 1,1 % порівняно з контролем. Запаси гумусу зросли на 0,5 т/га у орному та на 0,8 т/га у підорному шарах ґрунту. На варіанті з біодобривом уміст гумусу становив 3,16 % у шарі

грунту 0–20 см і 2,72 % у 20–40 см горизонті, перевищуючи контроль відповідно на 0,04 і 0,07 %. Запаси гумусу збільшувалися до 76,2 і 67,7 т/га або на 1,0 і 1,7 т/га. Відносно більший ефект у шарі ґрунту 20–40 см може бути пов’язаний з активізацією трансформації коренових решток і переміщенням розчинних органічних сполук у нижчу частину ґрунтового профілю (рис. 4.1, 4.2).

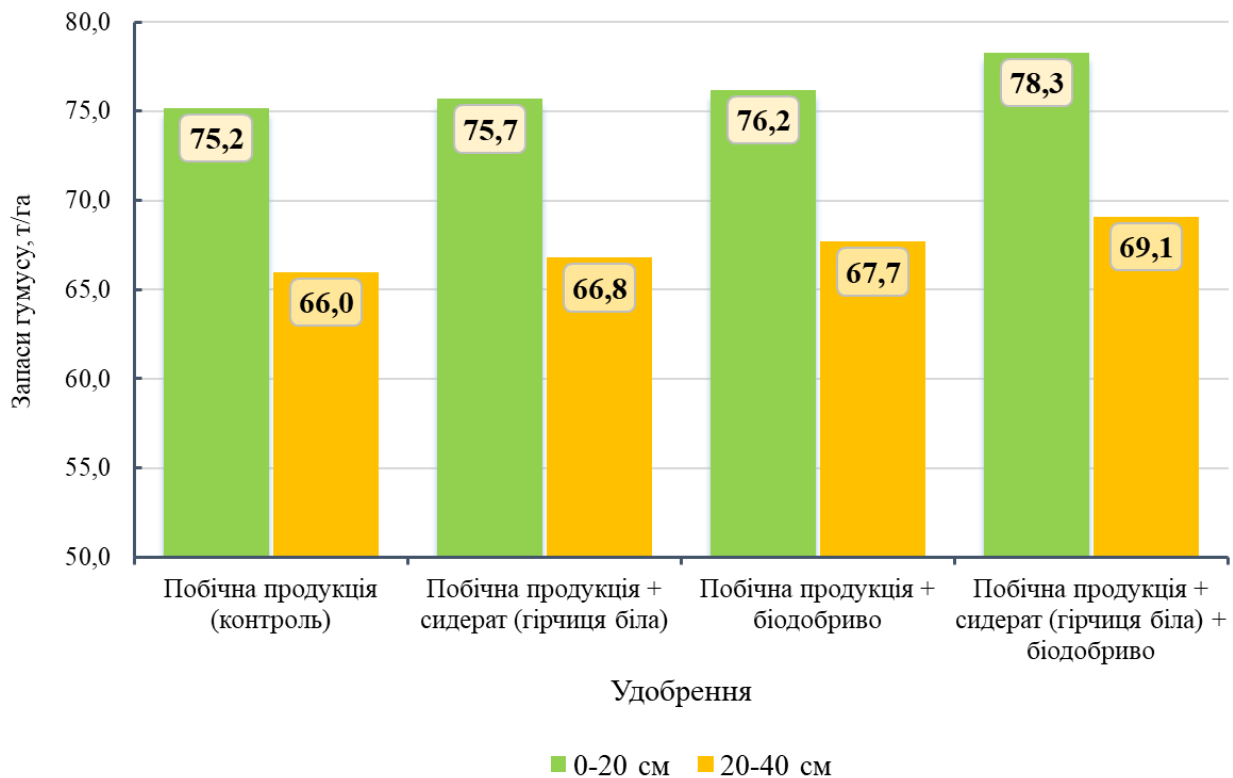


Рисунок 4.2. Запаси гумусу в ґрунті під культурами, т/га, у середньому по сівозміні за 2023–2025 рр.

Найбільш виражену гумусонакопичувальну дію забезпечувало комплексне застосування побічної продукції, сидерату та біодобрива. Уміст гумусу досягав 3,25 % у шарі ґрунту 0–20 см і 2,78 % у 20–40 см горизонті, що перевищувало контроль на 0,13 % в обох шарах, або відповідно на 4,2 і 4,9 %. Запаси гумусу становили 78,3 та 69,1 т/га, збільшуючись відносно контролю на 3,1 т/га або на 4,1–4,7 %. Це вказує на синергічну дію різних джерел органічної речовини: побічна продукція забезпечувала надходження вуглецевмісного матеріалу,

сидерат – легкорозкладної біомаси, а біодобриво сприяло активізації процесів її біологічної трансформації.

Аналізуючи вміст гумусу під культурами короткоротаційної органічної сівозміни за роками досліджень встановлено, що застосування органічних елементів удобрення (сидератів та біодобрив) сприяло підвищенню вмісту гумусу в орному та підорному шарах ґрунту порівняно з контролем (лише побічна продукція попередника). Зокрема, за результатами польових і лабораторних досліджень у 2023 році виявлено, що вміст гумусу під культурами короткоротаційної органічної сівозміни варіював у межах від 3,06 до 3,38 % у 0–20 см шарі ґрунту та від 2,52 до 2,88 % у 20–40 см шарі відповідно за різних видів органічного удобрення. Найбільшим вмістом і запасами гумусу відзначилися посіви пшениці ярої 3,25–3,38 % і 78,0–81,1 т/га у 0–20 см шарі ґрунту та 2,64–2,88 % і 66,0–72,0 т/га у 20–40 см горизонті. З-поміж досліджуваних систем удобрення найвищому вмісту та запасів гумусу сприяло комплексне застосування органічних добрив, які включають в себе використання побічної продукції попередника, посіву сидеральної культури та внесення органічних рідких біодобрив «Біо-Гель». Особливістю року стало зменшення показників під соєю на варіанті із сидератом: порівняно з контролем уміст гумусу в шарі ґрунту 20–40 см знизився від 2,75 до 2,52 %, а запаси – від 66,0 до 60,5 т/га.

Середній вміст гумусу по сівозміні в 2023 р. варіював у межах від 3,16 до 3,26 % у шарі ґрунту 0–20 см і від 2,65 до 2,77 % у шарі 20–40 см. Запаси гумусу становили відповідно 76,8–79,4 та 65,3–68,4 т/га. Комплексна система удобрення перевищувала контроль за вмістом гумусу на 0,10 % у орному і на 0,12 % в підорному шарах ґрунту. Запаси зростали на 2,6 і 3,1 т/га або на 3,4 і 4,7 % відповідно (додаток Ж).

У 2024 році спостерігалось певне зниження загального рівня гумусу порівняно з попереднім роком. Так, за результатами польових і лабораторних досліджень з'ясовано, що вміст гумусу з-поміж досліджуваних культур органічної короткоротаційної сівозміни знаходився на рівні від 2,93 до 3,28 % у 0–20 см шарі ґрунту та від 2,55 до 2,91 % у 20–40 см горизонті за найвищих

показників під посівами сої в 0–20 см шарі 2,93–3,28 % та пшениці ярої у 20–40 см шарі ґрунту відповідно – 2,68–2,91 %. З-поміж досліджуваних систем органічного удобрення найвищому вмісту гумусу в 2024 році сприяло внесення під культури комплексу добрив і побічної продукції попередника в поєднанні з сидеральним посівом гірчиці білої.

У 2024 р. зафіксовано найнижчий середній по сівозміні вміст гумусу в шарі ґрунту 0–20 см за весь період досліджень – 3,07 %, а середні запаси – 74,38 т/га. Порівняно з 2023 р. запаси гумусу в орному шарі зменшилися приблизно на 3,4 т/га або на 4,3 %. Це може вказувати на посилення мінералізаційних процесів або менш сприятливе співвідношення між надходженням і розкладом органічної речовини в умовах цього року.

Водночас саме у 2024 р. проявилася найбільша диференціація між контролем і комплексною системою удобрення. Зокрема, у середньому по сівозміні вміст гумусу в шарі ґрунту 0–20 см зростав від 3,03 до 3,21 %, а запаси – від 72,6 до 77,1 т/га. Приріст відповідно становив 0,18 % і 4,5 т/га або 5,9 та 6,2 %. У шарі ґрунту 20–40 см комплексне удобрення забезпечувало 2,77 % гумусу і 69,2 т/га, перевищуючи контроль на 0,14 % та 3,5 т/га (додаток Ж).

За результатами польових і лабораторних досліджень у 2025 році з'ясовано, що вміст гумусу з-поміж досліджуваних культур органічної короткоротаційної сівозміни знаходився на рівні від 3,06 до 3,36 % у 0–20 см шарі ґрунту та від 2,55 до 2,91 % у 20–40 см горизонті за найвищих показників під посівами пшениці ярої 3,27–3,36 % у 0–20 см і 2,70–2,91 % у 20–40 см шарі ґрунту відповідно. Найнижчий вміст гумусу в 0–20 см шарі ґрунту зафіксовано під посівами сої 3,06–3,21 %, у 20–40 см горизонті – 2,55–2,76 %.

З-поміж досліджуваних систем удобрення у 2025 році найвищому запасу гумусу сприяло комплексне застосування органічних добрив, які включають в себе використання побічної продукції попередника, посіву сидеральної культури та внесення органічних рідких біодобрив «Біо-Гель».

У 2025 р. середній уміст гумусу в шарі ґрунту 0–20 см становив 3,20 %, а запаси – 76,88 т/га. У підорному шарі середні показники були на рівні 2,72 % і

68,08 т/га, що було найвищим середньорічним рівнем запасів гумусу в шарі ґрунту 20–40 см за період досліджень. За комплексної системи удобрення в середньому по сівозміні вміст гумусу в орному та підорному шарах ґрунту становив 3,26 і 2,79 %, а його запаси – 78,3 і 69,8 т/га. Порівняно з контролем приріст дорівнював 0,09 і 0,11 % та 2,2 і 2,9 т/га. Відносне підвищення запасів гумусу становило 2,9 % у шарі 0–20 см і 4,3 % у шарі ґрунту 20–40 см відповідно.

З-поміж культур у середньому по сівозміні найвищі показники сформувалися під пшеницею ярою: за комплексної системи вміст гумусу становив 3,36 і 2,91 %, а запаси – 80,6 та 72,8 т/га. Під гречкою аналогічний варіант забезпечував 3,22 і 2,71 % та 77,3 і 67,8 т/га. Під соєю комплексна система підвищувала запаси гумусу орного шару до 77,0 т/га, проте у підорному шарі ґрунту вони лише відповідали контролю – 69,0 т/га (додаток Ж).

Коефіцієнти варіації вмісту та запасів гумусу впродовж 2023–2025 рр. були низькими й переважно змінювалися в межах 0,82–4,71 %, що свідчить про високу однорідність експериментальних даних і стабільність виявлених закономірностей. У середньому за три роки по сівозміні варіабельність становила 1,84–2,04 % для вмісту гумусу та 1,8–2,0 % для його запасів, тобто вплив систем удобрення проявлявся на вирівняному фоні. Загалом усі значення не перевищували 5 %, тому сукупність даних можна вважати слабковаріабельною, а встановлені тенденції – достатньо надійними.

Таким чином, у середньому за 2023–2025 рр. систематичне застосування органічних видів добрив забезпечувало стабілізацію та поступове поліпшення гумусового стану чорнозему типового малогумусного. Найефективнішою була комплексна система, що поєднувала побічну продукцію попередника, сидерат і біодобриво: порівняно з контролем вона підвищувала вміст гумусу в шарах ґрунту 0–20 і 20–40 см на 0,13 %, а його запаси – на 3,1 т/га в кожному шарі. Найвищий рівень гумусованості сформувався під пшеницею ярою, тоді як під соєю дія окремих органічних компонентів була менш стабільною, особливо у шарі ґрунту 20–40 см. Міжрічна динаміка характеризувалася тимчасовим зниженням запасів гумусу в орному шарі у 2024 р. та їх відновленням у 2025 р.,

водночас у нижньому шарі простежувалося поступове накопичення гумусу. Отже, поєднання різних за складом і швидкістю розкладання органічних компонентів є найбільш обґрунтованим заходом для підтримання бездефіцитного гумусового балансу й підвищення потенційної родючості ґрунту в короткоротаційній органічній сівозміні.

4.2. Вплив сівозмінного фактору та органічного удобрення на целюлозоруйнівну активність ґрунту під культурами короткоротаційної сівозміни

Целюлозоруйнівна здатність ґрунту відображає діяльність груп мікроорганізмів і грибів, які за аеробних умов розкладають клітковину шляхом гідролізу целюлози та ступінь її окислення. В результаті розкладання виникають проміжні продукти, що окислюються до CO_2 і H_2O .

Розкладання клітковини окисислотами та іншими продуктами окислення на проміжній стадії є джерелом живлення азотфіксуючих бактерій (*Azotobacter*, *Clostridium*). В результаті чого створюються умови для посиленого розвитку цих бактерій, що призводить до фіксації ними атмосферного азоту. Мінералізація ґрунту та клітковини в ньому пов'язана з процесами гумусоутворення. Інтенсивність мінералізації клітковини охоплює направленість мобілізаційних процесів у ґрунті, в результаті цього, ґрунти забезпечуються доступними формами вуглецю. Поміж різних органічних сполук вуглецю найпоширенішою є целюлоза, яка за ступенем інтенсивності розкладання є одним із показників родючості ґрунтів [217].

Целюлозоруйнівну активність ґрунту визначали аплікаційним методом за допомогою лляної тканини на скляних пластинах, поміщених в орний шар ґрунту – зону інтенсивного розвитку корневих систем рослин. Термін експозиції пластин – 30 днів.

Дослідження проводили в короткоротаційній сівозміні під пшеницею ярою, соєю та гречкою за різних видів органічного удобрення: побічна продукція

попередників (п. п. п.); п. п. п. + післяжнивний сидеральний посів (гірчиця біла); п. п. п. + сидеральний посів + «Біо-Гель» (органічне рідке добриво), який вносили у фазі повних сходів і цвітіння.

Целюлозуруйнівна активність ґрунту є одним із найбільш інформативних біологічних показників, який характеризує інтенсивність мікробіологічних процесів, швидкість трансформації рослинних решток та потенціал відтворення органічної речовини. Інтенсивність розкладання лляної тканини безпосередньо відображає активність целюлозуруйнівних мікроорганізмів, яка істотно залежить від надходження органічної маси, забезпеченості ґрунту поживними речовинами та гідротермічних умов року. Отримані результати свідчать про чітку залежність біологічної активності чорнозему типового від систем органічного удобрення, біологічних особливостей культур сівозміни та погодних умов років досліджень.

Зокрема, у середньому по сівозміні найнижча целюлозуруйнівна активність відмічена на контрольному варіанті, де розкладання лляної тканини становило лише 18,9 %. Застосування сидерату підвищувало інтенсивність розкладання до 21,0 %, що на 2,1 % (11,1 %) більше від контролю. Використання біодобрива забезпечувало ще вищий рівень біологічної активності – 21,5 %, або на 2,6 % (13,8 %) більше контролю. Найефективнішою виявилася комплексна система удобрення (побічна продукція попередника + сидерат + біодобриво), за якої середній рівень розкладання лляної тканини досягав 23,6 %, що перевищувало контроль на 4,7 % розкладання, або майже на 25 % відповідно. Це свідчить про синергетичну дію різних джерел органічної речовини, коли сидеральна маса забезпечує легкодоступний субстрат для мікроорганізмів, побічна продукція підтримує довготривале надходження вуглецю, а біодобриво активізує чисельність і ферментативну діяльність ґрунтової мікробіоти (табл. 4.2).

Найвищою середньою целюлозуруйнівною активністю характеризувався ґрунт під соєю, де середній рівень розкладання лляної тканини становив 23,6 %. Це пояснюється інтенсивним розвитком кореневої системи бобової культури,

накопиченням азоту біологічного походження та створенням сприятливих умов для розвитку мікроорганізмів. Зокрема, виявлено, що найактивніше розкладання лляного полотна, з-поміж систем удобрення, відбувалося під посівами сої за комплексного застосування біодобрих, де цей показник становив 25,7 %, що на 1,6–1,8 % більше, ніж за внесення під культуру п. п. п. із сидератом і п. п. п. із біодобривом. Приріст до контролю при цьому становив 3,9 %.

Дещо нижчою целюлозоруйнівна активність чорнозему типового була під пшеницею ярою із середнім показником 21,1 %, тоді як під гречкою цей показник становив 19,1 %. Отже, порівняно із гречкою біологічна активність ґрунту під соєю була вищою на 4,5 % (23,6 %), а під пшеницею на 2,0 % (10,5 %) відповідно.

Водночас найбільша реакція на органічне удобрення проявилася саме під пшеницею ярою. За комплексної системи удобрення рівень розкладання лляної тканини зростав від 17,4 до 24,0 %, тобто на 6,6 % (37,9 %). Під гречкою відповідний приріст становив 3,5 %. Це свідчить про те, що органічні добрива найбільш інтенсивно стимулювали розвиток целюлозоруйнівної мікрофлори саме у ризосфері пшениці.

Середні показники по сівозміні демонструють істотний вплив погодних умов на активність ґрунтової мікробіоти. Найбільш інтенсивне розкладання лляної тканини відбулося у 2023 році – 22,9 %, дещо нижчим цей показник був у 2025 році – 21,5 %, тоді як найменша біологічна активність спостерігалася у 2024 році – лише 19,3 %. Отже, порівняно із 2023 роком середній показник у 2024 році зменшився на 3,6 % (15,7 %), що свідчить про менш сприятливі умови для функціонування ґрунтової мікрофлори, насамперед через особливості температурного та водного режимів. У 2025 році активність частково відновилася, однак залишалася дещо нижчою за рівень 2023 року.

Зокрема, 2023 рік характеризувався найвищою біологічною активністю ґрунту. Максимальний рівень розкладання лляної тканини зафіксовано під соєю (29,8 %) та пшеницею (29,2 %) при комплексній системі удобрення. Навіть контрольні варіанти забезпечували достатньо високі показники (20,1–24,4 %) (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

**Целюлозоруйнівна активність чорнозему типового під культурами
короткоротаційної органічної сівозміни, %**

Культура	Система удобрення	Розкладання лляної тканини, %				
		роки				приріст до контролю
		2023	2024	2025	середнє	
Соя	п. п. п. (контроль)	24,4	15,9	25,0	21,8	–
	п. п. п. + сидерат	25,8	17,3	27,1	23,4	1,6
	п. п. п. + біодобриво	26,1	17,4	27,4	23,6	1,8
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	29,8	17,6	29,6	25,7	3,9
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		26,5±1,2	17,1±0,4	27,3±0,9	23,6±0,8	–
$V, \%$		8,7	4,6	6,9	6,8	–
S		2,3	0,8	1,9	1,6	–
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	20,8	15,2	16,2	17,4	–
	п. п. п. + сидерат	23,7	23,1	17,1	21,3	3,9
	п. п. п. + біодобриво	24,2	23,5	17,3	21,7	4,3
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	29,2	24,4	18,4	24,0	6,6
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		24,5±1,7	21,6±2,1	17,3±0,5	21,1±1,4	–
$V, \%$		14,3	19,8	5,2	13,0	–
S		3,5	4,3	0,9	2,7	–
Гречка	п. п. п. (контроль)	15,2	18,3	18,9	17,5	–
	п. п. п. + сидерат	16,4	19,2	19,7	18,4	0,9
	п. п. п. + біодобриво	17,9	19,6	20,4	19,3	1,8
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	21,3	20,3	21,4	21,0	3,5
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		17,7±1,3	19,4±0,4	20,1±0,5	19,1±0,8	–
$V, \%$		14,9	4,3	5,3	7,9	–
S		2,6	0,8	1,1	1,5	–
Середнє по сівозміні						
П. п. п.* (контроль)		20,1	16,5	20,0	18,9	–
П. п. п. + сидерат**		22,0	19,9	21,3	21,0	2,1
П. п. п. + біодобриво***		22,7	20,2	21,7	21,5	2,6
П. п. п. + сидерат + біодобриво		26,8	20,8	23,1	23,6	4,7
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		22,9±1,4	19,3±1,0	21,5±0,6	21,3±1,0	–
$V, \%$		12,2	10,0	5,9	9,0	–
S		2,8	1,9	1,3	1,9	–

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

У 2024 р. целюлозоруйнівна активність ґрунту була дещо найнижчою. Особливо це проявилось під соєю, де контрольний варіант забезпечив лише 15,9 % та під пшеницею – 15,2 %. Незважаючи на це, комплексне органічне удобрення дозволяло підтримувати активність мікроорганізмів на рівні 20,3–24,4 %, тобто значною мірою компенсувало негативний вплив погодних умов.

За результатами досліджень 2025 р. виявлено, що біологічна активність чорнозему була на достатньо високому рівні. Найвищі показники забезпечувало комплексне удобрення: під соєю – 29,6 %, під гречкою – 21,4 %, під пшеницею – 18,4 % відповідно. При цьому під пшеницею абсолютні значення залишалися нижчими, ніж у попередні роки, що свідчить про певну специфіку взаємодії культури з погодними умовами цього року.

Коефіцієнти варіації змінювалися у межах 4,3–19,8 %, що характеризує переважно низьку та середню мінливість досліджуваного показника. Найменша варіабельність спостерігалася у 2024 році під гречкою (4,3 %) та соєю (4,6 %), що свідчить про високу вирівняність впливу систем удобрення. Найбільша мінливість відмічена під пшеницею ярою у 2024 році (19,8 %), що підтверджує найвищу чутливість цієї культури до поєднання погодних умов і систем органічного удобрення. У середньому по сівозміні коефіцієнт варіації становив 9,0 %, що відповідає низькому рівню варіювання та свідчить про достатню надійність одержаних результатів.

Таким чином, отримані результати переконливо свідчать, що застосування органічних систем удобрення істотно активізує целюлозоруйнівні процеси в чорноземі типовому, сприяючи прискоренню трансформації рослинних решток та інтенсифікації кругообігу органічної речовини. Найефективнішою виявилася система «побічна продукція попередника + сидерат + біодобриво», яка забезпечила найвищий середній рівень розкладання лляної тканини (23,6 %) та перевищила контроль на 4,7 %. З-поміж культур найбільшу біологічну активність ґрунту забезпечувала соя, тоді як найбільш чутливою до дії органічного удобрення була пшениця яра. Незважаючи на істотний вплив погодних умов, позитивний ефект комплексної органічної системи проявлявся

стабільно в усі роки досліджень, що свідчить про її високу ефективність щодо активізації біологічних процесів і підтримання родючості ґрунту в умовах короткоротаційної органічної сівозміни.

4.3. Агрохімічні та фізико-хімічні показники ґрунту залежно від органічного удобрення

Лужногідролізний азот є важливим показником потенційної азотозабезпеченості ґрунту, оскільки характеризує запас органічних азотовмісних сполук, здатних у процесі мінералізації переходити у доступні для рослин форми. Його вміст залежить від системи удобрення, надходження органічної речовини, структури сівозміни, способу обробітку ґрунту та інтенсивності мікробіологічних процесів. У дослідженнях В. М. Мартиненка застосування сидератів і нетоварної частини врожаю в короткоротаційній сівозміні збільшувало запаси лужногідролізованого азоту в чорноземі типовому до 271 кг/га проти 263 кг/га на контролі. О. М. Бердніков зі співавторами встановили, що органічна система удобрення забезпечувала накопичення легкогідролізних сполук азоту до 330 кг/га, або у 2,7 рази більше порівняно з неудобреним варіантом [218, 219].

Н. Колос довів, що поєднання органічного удобрення з мінімалізацією обробітку сприяє накопиченню лужногідролізного азоту та збереженню гумусу в орному шарі чорнозему. За даними Я. П. Цвея та співавторів, тривале застосування органічних і органо-мінеральних систем удобрення підтримує сприятливий азотний режим, гумусовий стан і забезпеченість ґрунту іншими елементами живлення. Дослідження зарубіжних вчених підтверджують, що лужногідролізний азот є інформативним показником потенційної мінералізації органічного азоту та може використовуватися для оцінювання ефективності систем удобрення [172, 184, 220].

Отже, результати наведених досліджень узгоджуються з отриманими нами даними й підтверджують, що використання побічної продукції попередника,

сидерату та біодобрива сприяє поповненню запасів потенційно доступного азоту, активізації біологічної трансформації органічної речовини та стабілізації азотного режиму чорнозему типового малогумусного в короткоротаційній органічній сівозміні. Зокрема, встановлено чітку закономірність зростання вмісту лужногідролізного азоту від використання лише побічної продукції попередника до її поєднання із сидератом і біодобривом.

За результатами польових досліджень і лабораторних аналізів визначено, що вміст лужногідролізного азоту, в середньому за 2023–2025 рр., залежав від агрометеорологічних умов, культур сівозміни, систем органічного удобрення та відповідно урожайності побічної продукції й сидеральної культури. Зокрема, вміст азоту був на рівні від 111,8 до 135,7 мг/кг ґрунту в 0–20 см і від 88,1 до 104,7 мг/кг у 20–40 см шарі ґрунту не залежно від культури та системи удобрення. Найбільшого вмісту лужногідролізного азоту було досягнуто за внесення під культури сівозміни комплексу добрив (побічна продукція попередників + сидерат + біодобриво), яке забезпечило 126,1 мг/кг для сої та пшениці ярої, 135,7 мг/кг ґрунту для гречки в 0–20 см і 101,3 мг/кг для сої, 98,4 мг/кг для пшениці ярої та 104,7 мг/кг ґрунту для гречки в 20–40 см горизонті, що на 5–11 % більше, ніж на контрольних варіантах (табл. 4.3).

З-поміж культур сівозміни найвищий вміст лужногідролізного азоту протягом досліджень формувався під гречкою, де за комплексного застосування добрив його концентрація досягала 135,7 мг/кг у шарі 0–20 см і 104,7 мг/кг у шарі ґрунту 20–40 см. Це може бути пов'язано з особливостями біології культури, інтенсивнішим розвитком кореневої системи, які активізують мікробіологічні процеси трансформації органічних сполук азоту в доступні форми. Вміст азоту за внесення під культуру побічної продукції із сидеральним посівом гірчиці та п. п. із біодобривом «Біо-Гель» був на рівні 126,5 і 129,5 мг/кг у 0–20 см шарі та 100,9 і 102,1 мг/кг у 20–40 см шарі ґрунту відповідно, що на 2–6 % більше, ніж на контролі, який передбачає внесення лише побічної продукції попередника (табл. 4.3), що відповідає згідно ДСТУ 4362:2004 низькому ступеню забезпеченості [115].

Таблиця 4.3

**Уміст лужногідролізного азоту та рН в ґрунті під культурами
короткоротаційної органічної сівозміни, середнє за 2023–2025 рр.**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см			
		0–20	20–40	0–20	20–40
		N лужногідролізний азот, мг/кг		pH _{сол.}	
Соя	п. п. п.* (контроль)	119,5	90,8	6,1	5,7
	п. п. п. + сидерат**	122,0	96,5	6,0	5,7
	п. п. п. + біодобриво***	123,4	98,1	6,0	5,7
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	126,1	101,3	6,2	5,8
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		122,8±1,4	96,7±2,2	6,1±0,05	5,7±0,02
$V, \%$		2,3	4,5	1,7	0,7
S		2,8	4,4	0,10	0,04
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	111,8	88,1	6,2	5,8
	п. п. п. + сидерат	119,0	96,7	6,2	5,8
	п. п. п. + біодобриво	122,4	97,1	6,2	5,8
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	126,1	98,4	6,2	5,9
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		119,8±3,0	95,1±2,4	6,2±0,02	5,8±0,02
$V, \%$		5,1	5,0	0,6	0,5
S		6,1	4,7	0,04	0,03
Гречка	п. п. п. (контроль)	124,1	96,4	6,2	5,9
	п. п. п. + сидерат	126,5	100,9	6,0	5,8
	п. п. п. + біодобриво	129,5	102,1	6,1	5,8
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	135,7	104,7	6,2	6,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		128,9±2,5	101,0±1,7	6,1±0,05	5,9±0,04
$V, \%$		3,9	3,4	1,6	1,5
S		5,0	3,5	0,10	0,09
Середнє по сівозміні					
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		123,8±2,3	97,6±2,1	6,1±0,03	5,8±0,02
$V, \%$		3,7	4,2	1,1	0,8
S		4,6	4,1	0,07	0,05

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Вміст лужногідролізного азоту під посівами сої був у межах 119,5–126,1 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту та 90,8–101,3 мг/кг у 20–40 см горизонті за найбільшого вмісту при застосуванні комплексної системи удобрення. Тоді як уміст азоту за внесення під культуру п. п. п. із сидератом і п. п. п. із біодобрином становив 122,0 і 123,4 мг/кг у 0–20 см та 96,5 і 98,1 мг/кг у 20–40 см шарі ґрунту відповідно.

Серед досліджуваних культур найбільш чутливою до застосування органічних добрив виявилася пшениця яра. Зокрема, в середньому за три роки досліджень приріст лужногідролізного азоту в орному шарі ґрунту становив 14,3 мг/кг, що майже вдвічі перевищувало відповідний показник під соєю. Така реакція свідчить про високу ефективність сидеральної біомаси та біодобрив у підтриманні азотного живлення культур суцільного способу сівби та активізації процесів мінералізації органічної речовини. Так, уміст азоту під пшеницею ярою був у межах від 111,8 до 126,1 мг/кг у орному та від 88,1 до 98,4 мг/кг у підорному шарах ґрунту за найбільшого вмісту відповідно за комплексу застосованих органічних добрив. Внесення під культуру п. п. п. із сидератом і п. п. п. із біодобрином сприяло збільшенню вмісту лужногідролізного азоту порівняно до контролю, де цей показник відповідно становив 119,0 і 122,4 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту та 96,7 і 97,1 мг/кг у 20–40 см горизонті (табл. 4.3), що відповідає згідно ДСТУ дуже низькому та низькому ступеню забезпеченості [115].

У середньому по сівоzmіні за 2023–2025 рр. уміст лужногідролізного азоту за всіма культурами був у межах від 118,4 до 129,3 мг/кг ґрунту в 0–20 см і від 91,8 до 101,5 мг/кг у 20–40 см горизонті за найбільшого вмісту при застосуванні комплексної системи органічного удобрення. Найнижчою забезпеченість ґрунту азотом була на контролі. Внесення під культури сівоzmіни побічної продукції із сидеральним посівом гірчиці білої забезпечило вміст азоту в чорноземі типовому на рівні 122,5 мг/кг (0–20 см) і 98,0 мг/кг ґрунту (20–40 см горизонті), тоді як за системи, яка передбачала внесення побічної продукції попередників із біодобрином цей показник становив 125,1 мг/кг у орному та 99,1 мг/кг у підорному шарах ґрунту відповідно (рис. 4.3).

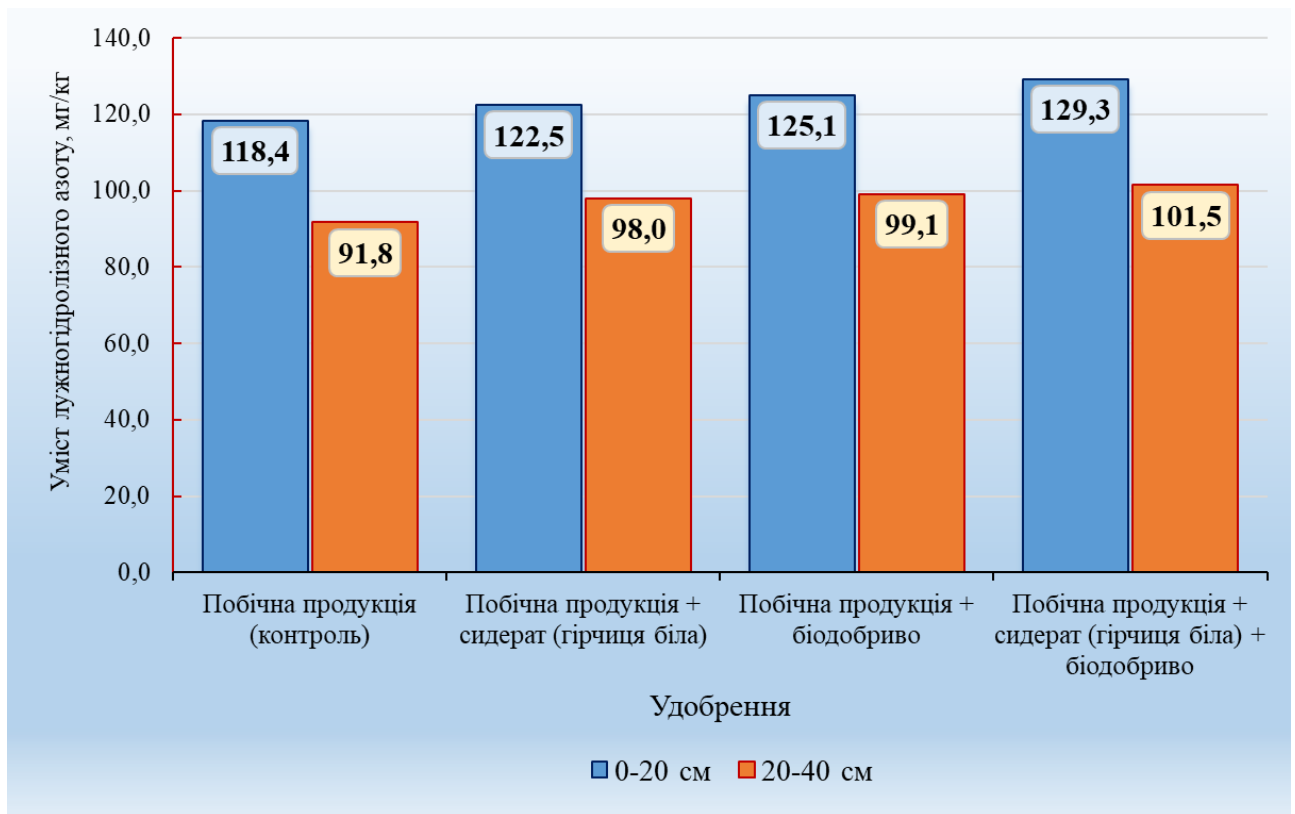


Рисунок 4.3. Уміст лужногідролізного азоту в ґрунті під культурами, мг/кг, у середньому по сівоzmіні за 2023–2025 рр.

За результатами досліджень 2023–2025 рр. у середньому по сівоzmіні в орному шарі ґрунту (0–20 см) вміст лужногідролізного азоту за комплексної системи удобрення зріс порівняно з контролем під соєю на 6,6 мг/кг (5,5 %), під пшеницею ярою – на 14,3 мг/кг (12,8 %), а під гречкою – на 11,6 мг/кг (9,3 %). У шарі 20–40 см відповідні прирости становили 10,5; 10,3 та 8,3 мг/кг, або 11,6; 11,7 та 8,6 %. Це свідчить про покращення процесів азотного накопичення не лише в орному, але й у підорному горизонті ґрунту, що має важливе значення для формування сталого поживного режиму агроценозів.

Аналізуючи вміст лужногідролізного азоту в ґрунті під культурами короткоротаційної органічної сівоzmіні за роками досліджень виявлено, що у перший рік досліджень вміст азоту був порівняно нижчим. Зокрема, в 2023 р. у верхньому шарі ґрунту його значення коливалися від 109,2 до 121,0 мг/кг. Максимальний ефект від органічного удобрення відзначено під пшеницею ярою,

де комплексне застосування побічної продукції, сидерату і біодобрива забезпечило приріст азоту на 8,9 % порівняно з контролем (додаток К).

Аналіз динаміки показників за роками досліджень показав, що найвищі значення лужногідролізного азоту були характерними для 2024 року. Зокрема, під гречкою за комплексної системи удобрення його вміст досягав 141,4 мг/кг у шарі ґрунту 0–20 см та 119,0 мг/кг у 20–40 см горизонті, що перевищувало контроль відповідно на 13,7 та 18,5 %. Така тенденція може свідчити про сприятливе поєднання погодних умов та біологічної активності ґрунту, які забезпечили інтенсивніше розкладання органічної речовини та мобілізацію азоту.

У 2025 році тенденція позитивного впливу органічного удобрення зберіглася. Найвищий вміст азоту зафіксовано під гречкою (144,8 мг/кг у шарі ґрунту 0–20 см), що перевищувало контроль на 11,2 %. Під пшеницею ярою приріст від комплексного удобрення досягав 20,2 %, що є найбільшим серед досліджуваних культур (додаток К).

Отже, результати досліджень переконливо свідчать, що використання сидератів і біодобриків у короткоротаційній органічній сівозміні покращує азотний режим ґрунту та сприяє накопиченню доступних форм азоту в орному й підорному шарах. Найефективнішою виявилася система удобрення, що поєднувала побічну продукцію попередника, сидерат і біодобриво, за якої вміст лужногідролізного азоту зростав на 5,5–12,8 % у шарі 0–20 см та на 8,6–11,7 % у шарі ґрунту 20–40 см порівняно з контролем. Найвищі показники забезпечувала гречка, тоді як найбільш виражена реакція на удобрення спостерігалася під пшеницею ярою.

Реакція ґрунтового розчину є одним із ключових чинників, що визначає інтенсивність мікробіологічних процесів, доступність елементів живлення та ефективність функціонування органічних систем удобрення. У наших дослідженнях встановлено, що застосування органічних систем удобрення не спричиняло істотних змін реакції ґрунтового розчину, забезпечуючи збереження рН у межах, характерних для чорнозему типового малогумусного. Це свідчить

про високу буферну здатність ґрунту та підтверджує, що використання побічної продукції попередника, сидеральних культур і біодобрива сприяє підтриманню стабільних фізико-хімічних властивостей ґрунту, створюючи сприятливі умови для мінералізації органічної речовини та ефективного засвоєння поживних елементів культурами короткоротаційної органічної сівозміни.

Результати наших досліджень узгоджуються з даними І. В. Скрильника, А. М. Кутової та ін., а також О. В. Демиденка зі співавторами, які встановили, що тривале застосування органічних систем удобрення забезпечує підтримання реакції ґрунтового розчину на оптимальному для чорноземів рівні та не спричиняє істотних змін рН [193, 221]. Аналогічну закономірність виявлено і в наших дослідженнях, де використання побічної продукції попередника, сидеральних культур і біодобрива не порушувало кислотно-лужної рівноваги чорнозему типового малогумусного.

Зокрема, визначено, що в середньому за 2023–2025 рр. досліджень, ґрунт дослідного поля за ступенем кислотності та лужності (ДСТУ 4362:2004) [115] був нейтральним, близьким до нейтрального та слабо кислим залежно від системи органічного удобрення та культур короткоротаційної 3-пільної сівозміни. Особливої уваги заслуговує той факт, що навіть за тривалого застосування органічних добрив не відбувалося підкислення ґрунту, яке часто супроводжує інтенсивне використання фізіологічно кислих мінеральних добрив. Навпаки, у деяких варіантах спостерігалася тенденція до певної стабілізації або підвищення рН, що може бути наслідком надходження до ґрунту значної кількості органічних сполук та посилення буферної здатності ґрунтового вбирного комплексу.

Отримані результати в середньому за три роки досліджень свідчать про відсутність негативного впливу органічної системи удобрення на кислотно-лужний стан ґрунту та підтверджують її екологічну безпечність. Зокрема, значення рН під культурами органічної сівозміни було на рівні від 6,0 до 6,2 у 0–20 см шарі ґрунту та від 5,7 до 6,0 у 20–40 см горизонті (див. табл. 4.3).

У середньому по сівозміні за 2023–2025 рр. значення рН за ступенем кислотності та лужності було близьким до нейтрального та нейтральним, де ці показники були на рівні 6,1–6,2 у 0–20 см шарі ґрунту та 5,8–5,9 у 20–40 см горизонті (рис. 4.4).

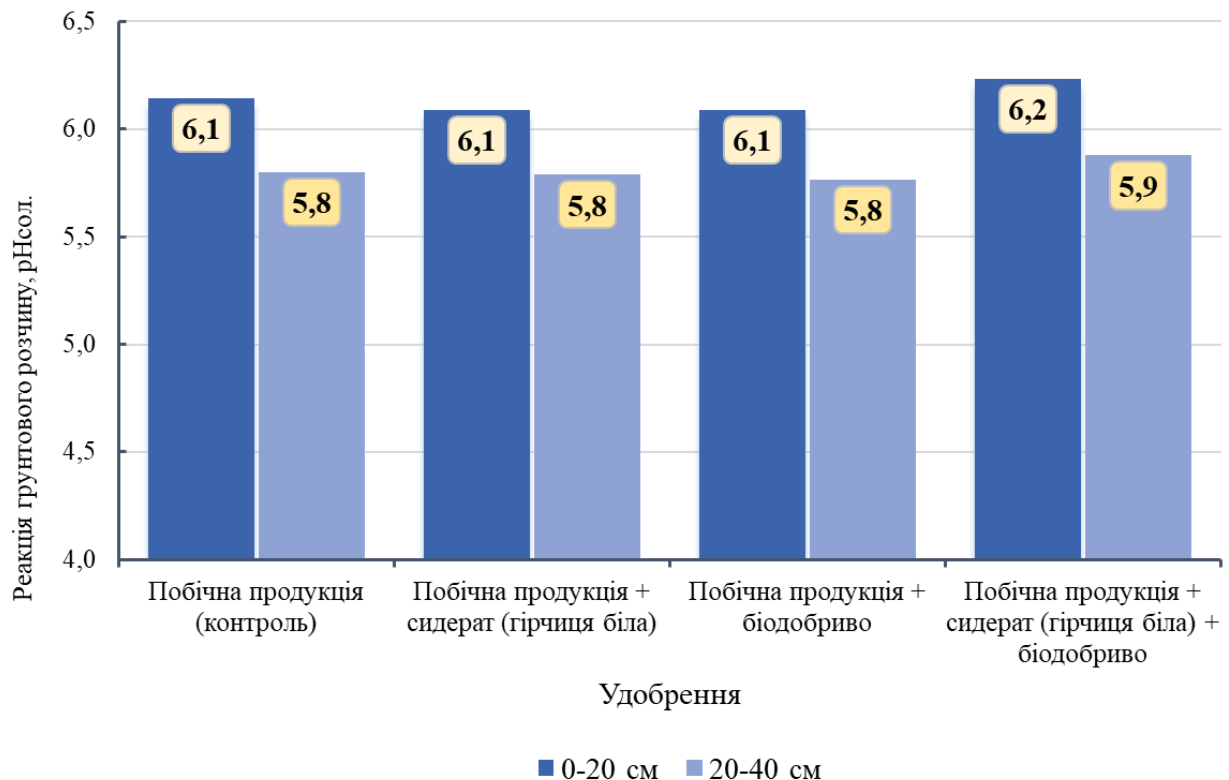


Рисунок 4.4. Реакція ґрунтового розчину, $pH_{\text{сол.}}$, у середньому по сівозміні за 2023–2025 рр.

Згідно проведених польових досліджень і лабораторних аналізів встановлено, що органічна система удобрення за роками досліджень не призводила до суттєвих змін реакції ґрунтового розчину. Значення $pH_{\text{сол.}}$ упродовж досліджень перебували в межах 5,4–6,9, що відповідає слабокислій або близькій до нейтральної реакції ґрунтового середовища та є оптимальним для більшості польових культур. Застосування сидератів і біодобрив не спричиняло істотного підкислення ґрунту. Навпаки, спостерігали незначне підвищення рН: під соєю у 2025 році рН збільшувався від 6,6 і 6,1 залежно від шару ґрунту; під гречкою у 2024 році комплексне удобрення підвищувало рН верхнього шару до

6,9 проти 6,5 на контролі; під пшеницею ярою реакція ґрунту залишалася практично стабільною в межах 5,8–6,4. Незначні коливання показника залежно від культури та системи удобрення не виходили за межі агроекологічно безпечних значень (додаток К).

Отже, оптимальні параметри кислотно-лужного стану чорнозему типового, що в комплексі підтверджує високу агрономічну та екологічну ефективність досліджуваних органічних систем удобрення як важливого фактору відтворення родючості ґрунту та підвищення стійкості агроecosистем.

4.4. Вміст мікроелементів і важких металів у ґрунті залежно від органічного удобрення

Органічне виробництво є важливим напрямом розвитку сучасного аграрного сектору, оскільки забезпечує раціональне використання природних ресурсів, збереження родючості ґрунтів і виробництво безпечної сільськогосподарської продукції. В умовах посилення антропогенного навантаження та кліматичних змін органічне землеробство сприяє підтриманню екологічної стійкості агроecosистем, підвищенню їх адаптивності та реалізації принципів сталого розвитку через поєднання екологічних, економічних і соціальних складових аграрного виробництва [3, 158, 222]. За ведення органічного виробництва важливим є визначення вмісту як надмірної кількості важких металів, так і недостатньої забезпеченості ґрунту мікроелементами, що може впливати на якість продукції, здоров'я людини, відтворення і збереження родючості ґрунту.

Посилення техногенного навантаження спричиняє накопичення важких металів у ґрунтах, що погіршує їх агрохімічні та біологічні властивості, пригнічує мікробіологічну активність, порушує гумусоутворення й живлення рослин та створює ризик надходження токсичних елементів у харчові ланцюги [223–225].

Основна частина мікроелементів і важких металів перебуває у малодоступних формах, тоді як рухомі сполуки становлять близько 0,5–1,0 % їх загального вмісту, а кислоторозчинні – у 10–20 разів більше. Саме ці форми визначають міграцію металів у системі «грунт-рослина» та рівень екологічного ризику. Їх доступність залежить від реакції ґрунтового розчину, вмісту органічної речовини, гранулометричного складу, ємності катіонного обміну й технологій вирощування, що обґрунтовує необхідність постійного моніторингу [116, 226]. Мідь, цинк і кобальт є необхідними для рослин мікроелементами та беруть участь у ферментативних і фізіолого-біохімічних процесах. Водночас їх позитивна дія проявляється лише за оптимальних концентрацій, тоді як надлишок спричиняє токсичний вплив, пригнічує ріст і знижує продуктивність культур [227, 228].

Проведені дослідження в 2023–2025 рр. засвідчили, що вміст рухомих форм мікроелементів і важких металів у чорноземі типовому залежав як від вирощуваної культури, так і від системи органічного удобрення. Загалом для всіх варіантів досліду характерним було накопичення більшості елементів у шарі ґрунту 0–20 см порівняно з шаром 20–40 см, що зумовлено локалізацією рослинних решток, сидеральної маси та продуктів мікробіологічної трансформації органічної речовини у верхньому горизонті ґрунту.

За результатами досліджень, в середньому за 2023–2025 рр., встановлено, що застосування сидератів і біодобрих сприяло підвищенню вмісту рухомих форм мікроелементів, насамперед цинку, марганцю та заліза. Найбільші концентрації Zn відмічено за комплексного використання побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива. Зокрема, під посівами сої його вміст у шарі 0–20 см зріс від 0,48 до 0,56 мг/кг або на 16,7 %, під пшеницею ярою – від 0,52 до 0,69 мг/кг (на 32,7 %), під гречкою – від 0,54 до 0,66 мг/кг (на 22,2 %) порівняно з контролем. Аналогічна тенденція простежувалася і щодо марганцю, вміст якого за комплексної системи удобрення збільшувався відповідно на 10,7; 8,6 та 14,9 % порівняно з контролем. Це свідчить про активізацію процесів мінералізації органічної речовини та мобілізації мікроелементів (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

**Уміст рухомих форм мікроелементів і важких металів у чорноземі
типовому, мг/кг ґрунту, середнє за 2023–2025 рр.**

Культура	Система удобрення	Шар грунту, см	Мідь, Cu	Цинк, Zn	Свинець, Pb	Нікель, Ni	Кадмій, Cd	Марганець, Mn	Залізо, Fe
Соя	п. п. п.* (контроль)	0–20	0,13	0,48	0,95	0,71	0,11	7,36	1,88
		20–40	0,11	0,39	0,96	0,66	0,12	6,12	1,57
	п. п. п. + сидерат**	0–20	0,14	0,51	0,97	0,73	0,11	7,51	1,70
		20–40	0,13	0,43	0,94	0,62	0,11	6,44	1,47
	п. п. п. + біодобриво***	0–20	0,13	0,53	0,94	0,68	0,11	7,70	1,83
		20–40	0,12	0,42	0,85	0,60	0,11	6,72	1,53
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	0–20	0,14	0,56	0,95	0,69	0,12	8,15	2,09
		20–40	0,12	0,45	0,89	0,60	0,12	6,63	1,82
$\bar{X} \pm S \bar{x}$			$0,13 \pm 0,004$	$0,47 \pm 0,021$	$0,93 \pm 0,014$	$0,66 \pm 0,018$	$0,12 \pm 0,001$	$7,08 \pm 0,25$	$1,74 \pm 0,074$
$V, \%$			8,1	12,3	4,2	7,5	3,1	9,9	12,0
S			0,01	0,06	0,04	0,05	0,00	0,70	0,21
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	0–20	0,14	0,52	0,98	0,82	0,13	10,59	2,04
		20–40	0,12	0,47	0,90	0,59	0,12	9,29	1,71
	п. п. п. + сидерат	0–20	0,15	0,61	1,04	0,68	0,13	10,71	1,99
		20–40	0,13	0,46	0,90	0,62	0,12	8,58	1,56
	п. п. п. + біодобриво	0–20	0,14	0,64	0,99	0,70	0,12	10,78	2,02
		20–40	0,12	0,49	0,88	0,62	0,11	8,77	1,68
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	0–20	0,15	0,69	1,00	0,68	0,12	11,50	2,06
		20–40	0,13	0,53	0,84	0,62	0,11	9,42	1,75
$\bar{X} \pm S \bar{x}$			$0,13 \pm 0,003$	$0,55 \pm 0,030$	$0,94 \pm 0,025$	$0,67 \pm 0,026$	$0,12 \pm 0,003$	$9,96 \pm 0,379$	$1,85 \pm 0,070$
$V, \%$			7,0	15,4	7,5	11,1	6,7	10,8	10,7
S			0,01	0,09	0,07	0,07	0,01	1,07	0,20
Гречка	п. п. п. (контроль)	0–20	0,14	0,54	0,90	0,70	0,12	9,11	1,91
		20–40	0,12	0,47	0,83	0,58	0,12	7,50	1,32
	п. п. п. + сидерат	0–20	0,14	0,62	0,95	0,64	0,12	9,03	2,02
		20–40	0,12	0,48	0,84	0,62	0,11	7,63	1,31
	п. п. п. + біодобриво	0–20	0,14	0,61	0,94	0,67	0,12	9,58	1,97
		20–40	0,12	0,48	0,77	0,60	0,11	8,17	1,33
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	0–20	0,14	0,66	0,89	0,61	0,13	10,47	2,05
		20–40	0,12	0,50	0,80	0,55	0,12	9,24	1,46
$\bar{X} \pm S \bar{x}$			$0,13 \pm 0,003$	$0,54 \pm 0,027$	$0,87 \pm 0,023$	$0,62 \pm 0,017$	$0,12 \pm 0,002$	$8,84 \pm 0,358$	$1,67 \pm 0,121$
$V, \%$			6,6	13,8	7,5	7,7	4,0	11,5	20,5
S			0,01	0,07	0,06	0,05	0,00	1,01	0,34
ГДК			3	23	6	4	0,7	140	-

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво****

– «Біо-Гель»

З-поміж досліджуваних культур найбільшим вмістом рухомих форм марганцю характеризувався ґрунт під пшеницею ярою, де його концентрація у орному горизонті становила 10,59–11,50 мг/кг, що перевищувало аналогічні показники під соєю на 29–41 %, а під гречкою – на 10–16 %. Вміст заліза також був дещо вищим за вирощування пшениці ярої (1,99–2,06 мг/кг) порівняно із соєю та гречкою.

Вміст міді у ґрунті змінювався незначно і був у межах 0,11–0,15 мг/кг незалежно від культури та системи удобрення, що свідчить про відносну стабільність її рухомих форм. Подібна закономірність була й щодо кадмію, концентрація якого коливалася від 0,11 до 0,13 мг/кг. Незначні коливання свідчать про відсутність ризику накопичення токсичних елементів у ґрунті.

Особливо важливим є те, що вміст важких металів у всіх варіантах досліду залишався значно нижчим за встановлені гранично допустимі концентрації. Так, концентрація свинцю становила лише 0,77–1,04 мг/кг за ГДК 6 мг/кг, нікелю – 0,55–0,82 мг/кг за ГДК 4 мг/кг, кадмію – 0,11–0,13 мг/кг за ГДК 0,7 мг/кг. Навіть максимальні значення досліджуваних елементів не перевищували 17 % від допустимого рівня для свинцю, 21 % – для нікелю та 19 % – для кадмію. Це свідчить про екологічну безпечність досліджуваних систем удобрення та відсутність загрози техногенного забруднення ґрунту важкими металами (табл. 4.4).

Слід відмітити, що досліджений ґрунт має низький уміст рухомих форм цинку. За нестачі цинку у рослин можуть проявлятися фізіологічні порушення (міжжилковий хлороз, зупинка росту, зниження інтенсивності фотосинтезу) [229].

Аналізуючи вміст мікроелементів і важких металів у чорноземі типовому за роками досліджень визначено, що уміст рухомих форм міді в 2023 р. був від низького до середнього (0,14–0,18 мг/кг), рухомих форм цинку від дуже низького до низького (0,4–1,0 мг/кг), рухомих форм марганцю від низького до підвищеного (6,0–14,9 мг/кг), але мало залежав від системи удобрення сої, пшениці ярої та гречки у короткоротаційній сівозміні за органічного

виробництва сільськогосподарської продукції. Так, за внесення побічної продукції попередників, сидерального посіву, рідкого біодобрива та їх поєднання під культури сівозміни, вміст мікроелементів і важких металів у чорноземі типовому був суттєво нижчим за гранично допустимі концентрації, що вказує на сприятливий стан ґрунту для вирощування органічної сільськогосподарської продукції (додаток Л).

Результати польових досліджень і лабораторних аналізів у 2024 році вказують на певну закономірність щодо вмісту мікроелементів і важких металів у чорноземі типовому. Так, уміст цих показників у 0–20 см та 20–40 см шарах ґрунту за різних систем органічного удобрення культур у короткоротаційній сівозміні не перевищував ГДК і знаходилися у межах фону. Зокрема, вміст рухомих форм міді був від дуже низького до низького (0,10–0,16 мг/кг), рухомих форм цинку – дуже низький (0,3–0,6 мг/кг), рухомих форм марганцю від низького до підвищеного (4,6–13,7 мг/кг). Концентрація важких металів також не перевищувала ГДК, де вміст свинцю становила лише 0,83–1,24 мг/кг за ГДК 6 мг/кг, нікелю – 0,51–0,80 мг/кг за ГДК 4 мг/кг, кадмію – 0,10–0,13 мг/кг за ГДК 0,7 мг/кг, що свідчить про сприятливий стан ґрунту та відсутність ризику накопичення токсичних концентрацій за використання органічних систем удобрення.

За результатами польових і лабораторних досліджень у 2025 році визначено, що вміст мікроелементів і важких металів у орному та підорному шарах ґрунту за різних систем органічного удобрення знаходився значно нижче ГДК. Зокрема, вміст рухомих форм міді був від дуже низького до низького (0,10–0,11 мг/кг), рухомих форм цинку – дуже низький (0,2–0,4 мг/кг), рухомих форм марганцю від низького до підвищеного (2,5–6,6 мг/кг) його вмісту відповідно. Вміст важких металів у чорноземі типовому під культурами короткоротаційної сівозміни був нижче допустимого рівня. Так, концентрація свинцю була в межах 0,63–1,21 мг/кг за ГДК 6 мг/кг, нікелю – 0,42–0,61 мг/кг за ГДК 4 мг/кг, кадмію – 0,11–0,13 мг/кг за ГДК 0,7 мг/кг, що свідчить про відсутність екологічних

ризиків унаслідок тривалого застосування органічних систем удобрення та вказує на позитивний ефект щодо зниження вмісту важких металів (додаток Л).

Отже, поєднання побічної продукції попередника із сидератом та біодобривом забезпечувало найбільш сприятливі умови для накопичення рухомих форм біогенних мікроелементів (Zn, Mn, Fe) у верхньому шарі чорнозему типового без підвищення вмісту токсичних важких металів. Отримані результати підтверджують доцільність застосування біологізованих систем удобрення як ефективного засобу підвищення мікроелементного стану ґрунту та підтримання його екологічної безпеки.

Висновки до Розділу 4

1. У середньому за 2023–2025 рр. встановлено, що системи органічного удобрення суттєво впливали на гумусний стан чорнозему типового. Зокрема, найефективнішою виявилася комплексна система удобрення (побічна продукція попередника + сидерат + біодобриво), яка забезпечила підвищення вмісту гумусу до 3,25 % у шарі 0–20 см і 2,78 % у шарі ґрунту 20–40 см, що відповідно на 0,13 % більше порівняно з контролем. Запаси гумусу зросли до 78,3 і 69,1 т/га або на 3,1 т/га (4,1–4,7 %) відносно контролю. У середньому по сівозміні найвищі показники були під пшеницею ярою (3,24 і 2,80 %; 77,66 і 69,96 т/га), тоді як під соєю відзначалася дещо нижча стабільність гумусового стану, особливо у підорному шарі. За роками досліджень найбільші показники гумусу сформувалися у 2023 і 2025 рр., що свідчить про поступове відтворення органічної речовини ґрунту;

2. Встановлено чітке посилення біологічної активності чорнозему під впливом органічних систем удобрення. Максимальна целюлозоруйнівна активність (23,6 %), у середньому за 2023–2025 рр., відмічена за комплексного застосування побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива, що на 4,7 % (майже 25 %) перевищувало контроль. У середньому по сівозміні найвищою біологічною активністю характеризувався ґрунт під соєю (23,6 %), тоді як найбільшою реакцією на органічне удобрення відзначалася пшениця яра, під

якою інтенсивність розкладання лляної тканини збільшувалася на 6,6 % (37,9 %) порівняно з контролем. За роками досліджень найсприятливіші умови для функціонування ґрунтової мікробіоти склалися у 2023 р. (22,9 %), що підтверджує стабільний позитивний вплив органічного удобрення на біологічну активність чорнозему;

3. Вміст лужногідролізного азоту в ґрунті, у середньому за 2023–2025 рр., залежав від системи органічного удобрення та культури сівозміни, змінюючись у межах 111,8–135,7 мг/кг у шарі 0–20 см та 88,1–104,7 мг/кг у шарі 20–40 см. Найвищі показники забезпечувала комплексна система удобрення (побічна продукція попередника + сидерат + біодобриво), за якої під гречкою вміст лужногідролізного азоту досягав 135,7 і 104,7 мг/кг відповідно, що на 2–6 % перевищувало інші органічні системи та істотно перевищувало контроль. У середньому по сівозміні найвищою потенційною азотозабезпеченістю характеризувалася гречка, тоді як найнижчі показники відзначено під пшеницею ярою (119,8 і 95,1 мг/кг). За роками досліджень перевага комплексної системи удобрення зберігалася незалежно від погодних умов, що підтверджує її здатність підтримувати стабільний азотний режим чорнозему;

4. Визначено, що застосування органічних систем удобрення забезпечувало стабільну слабокислу – близьку до нейтральної реакцію ґрунтового розчину. Зокрема, у середньому за 2023–2025 рр., значення рН під культурами сівозміни перебували в межах 6,0–6,2 у шарі 0–20 см та 5,7–6,0 у шарі ґрунту 20–40 см, а в середньому по сівозміні становили 6,1–6,2 і 5,8–5,9 відповідно. За роками досліджень показники рН змінювалися в межах 5,4–6,9, не виходячи за оптимальні для більшості польових культур значення, що свідчить про високу буферну здатність органічної системи удобрення;

5. Визначено, що застосування органічних систем удобрення забезпечувало оптимальний вміст рухомих форм мікроелементів і не сприяло накопиченню важких металів у чорноземі типовому. Так, у середньому за 2023–2025 рр., вміст міді становив 0,11–0,15 мг/кг, цинку – 0,39–0,69 мг/кг, марганцю – 6,12–11,50 мг/кг, заліза – 1,47–2,09 мг/кг ґрунту. Найвища забезпеченість

грунту рухомими формами цинку і марганцю сформувалася за комплексної системи удобрення. У середньому по сівоzmіні концентрації свинцю (0,77–1,04 мг/кг), нікелю (0,55–0,82 мг/кг) та кадмію (0,11–0,13 мг/кг) були істотно нижчими від гранично допустимих концентрацій і становили відповідно не більше 17, 21 та 19 % від допустимого рівня, що свідчить про екологічну безпечність застосування органічних систем удобрення та стабільність мікроелементного режиму ґрунту;

6. Узагальнення результатів досліджень засвідчило, що між гумусовим станом, біологічною активністю та агрохімічними властивостями ґрунту існує тісний взаємозв'язок. Підвищення надходження органічної речовини за рахунок побічної продукції, сидеральної маси та біодобрива забезпечувало активізацію целюлозоруйнівної мікрофлори, посилення процесів гуміфікації, накопичення лужногідролізного азоту та стабілізацію фізико-хімічних показників ґрунту, що підтверджує її доцільність як найбільш ефективного елемента технології вирощування культур короткоротаційної органічної сівоzmіни в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України.

Основні результати досліджень за даним розділом опубліковано в наукових працях [201, 203, 230, 231].

РОЗДІЛ 5

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СЕГЕТАЛЬНОЇ РОСЛИННОСТІ У ПОСІВАХ КУЛЬТУР КОРОТКОРОТАЦІЙНОЇ СІВОЗМІНИ ЗАЛЕЖНО ВІД ОРГАНІЧНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ

Бур'яни характеризуються високою екологічною пластичністю та є потужними конкурентами сільськогосподарських культур за світло, вологу й елементи живлення. Їх поширення погіршує якість продукції та знижує врожайність у середньому на 25–30 %, а за значної забур'яненості – до 50 % [4]. Важливим засобом регулювання фітосанітарного стану агроценозів є науково обґрунтоване чергування культур, оскільки видовий склад і чисельність бур'янів залежать від технології вирощування та попередника [232].

Потенційна засміченість шару ґрунту 0–30 см насінням бур'янів в Україні залишається високою і в зоні нестійкого зволоження становить у середньому 1,47 млрд шт./га [233]. Особливо гостро ця проблема проявляється в органічному землеробстві, де використання синтетичних гербіцидів обмежене або заборонене, а контроль сегетальної рослинності має ґрунтуватися на сівозмінних, агротехнічних і біологічних заходах [105; 234–237].

Перспективним способом обмеження забур'яненості є використання сидеральних і покривних культур, які пригнічують бур'яни завдяки конкуренції за ресурси, формуванню щільного рослинного покриву та алелопатичній дії решток [238; 239]. За результатами метааналізу, вони здатні знижувати біомасу бур'янів у середньому на 50 % і більше [240]. Найвища ефективність досягається за формування значної біомаси сидератів та їх поєднання з мікробними препаратами, що підвищує конкурентоспроможність культур, активізує ґрунтові процеси й поліпшує фітосанітарний стан органічних агроценозів [241–245].

Отже, аналіз сучасної літератури свідчить, що сидерати, покривні культури та біологічні препарати є важливими елементами інтегрованого контролювання забур'яненості в органічному землеробстві. Більшість дослідників відзначають

зниження чисельності бур'янів на 30–70 % залежно від виду покривної культури, накопиченої біомаси та поєднання з біологічними препаратами. Особливо ефективним є комплексне використання сидератів і мікробних біотичних угруповань, що забезпечує пригнічення домінуючих видів бур'янів та зменшення їхньої біомаси. Отримані нами результати щодо зниження забур'яненості посівів на 47–59 % та сухої маси бур'янів на 50–56 % повністю відповідають сучасним світовим тенденціям розвитку органічних технологій контролю сегетальної рослинності.

За результатами досліджень щодо встановлення ефективності застосування біодобрих з метою підвищення конкурентоздатності сіяних ценозів із сегетальною рослинністю відмічено, що основними засмічувачами посівів пшениці ярої, сої та гречки були однорічні види бур'янів, такі як: плоскуха звичайна (*Echinochloa crus-galli* (L.) Roem. et Schult.), мишій сизий (*Setaria glauca* L.), лобода біла (*Chenopodium album* L.), редька дика (*Raphanus raphanistrum* L.), щириця звичайна (*Amarantus retroflexus* L.).

За результатами досліджень, у середньому за 2023–2025 рр., встановлено чітку закономірність зниження забур'яненості посівів за посилення біологізованої системи удобрення, зокрема, найефективнішим в усіх культурах був варіант із внесенням побічної продукції попередника, сидерату та біодобрих у комплексі, який забезпечував найменшу кількість бур'янів.

У фазі повних сходів найвищу загальну забур'яненість зафіксовано в посівах сої та пшениці ярої. На контролі вона становила відповідно 201 і 196 шт./м², тоді як у гречки – 114 шт./м², що вказує на вищу початкову конкурентоспроможність гречки. За внесення побічної продукції із сидератом кількість бур'янів у сої зменшувалася до 163 шт./м² або на 18,9 %, у пшениці ярої до 145 шт./м² або на 26,0 %, у гречки до 92 шт./м² або на 19,3 %, що вказує на фітоценотичний ефект від сидерального посіву (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

**Забур'яненість посівів зернових культур у фазі повних сходів,
середнє за 2023–2025 рр.**

Система удобрення	Кількість бур'янів, шт./м ²					
	всього	в т. ч.				
		плоскуха звичайна	мишій сизий	лобода біла	редька дика	щириця звичайна
Соя						
П. п. п.* (контроль)	201	99	53	23	12	14
П. п. п. + сидерат**	163	82	36	18	14	13
П. п. п. + біодобриво	135	70	29	14	11	11
П. п. п. + сидерат + біодобриво***	106	60	21	9	7	9
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	151,4 ± 20,3	77,7 ± 8,4	34,7 ± 6,8	16,3 ± 2,9	11,0 ± 1,5	11,8 ± 1,1
<i>V</i>, %	26,8	21,6	39,3	35,8	27,2	19,0
<i>S</i>	40,6	16,8	13,6	5,8	3,0	2,3
Пшениця яра						
П. п. п. (контроль)	196	99	46	22	16	13
П. п. п. + сидерат	145	72	35	16	12	10
П. п. п. + біодобриво	124	65	29	13	9	8
П. п. п. + сидерат + біодобриво	103	58	25	10	6	5
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	142,0 ± 19,9	73,6 ± 8,9	33,5 ± 4,5	15,2 ± 2,7	10,7 ± 2,2	9,1 ± 1,8
<i>V</i>, %	28,0	24,1	27,1	35,0	41,2	38,5
<i>S</i>	39,8	17,7	9,1	5,3	4,4	3,5
Гречка						
П. п. п. (контроль)	114	54	32	13	8	7
П. п. п. + сидерат	92	46	21	10	8	6
П. п. п. + біодобриво	75	40	17	7	7	4
П. п. п. + сидерат + біодобриво	60	35	13	5	5	1
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	85,2 ± 11,7	44,0 ± 4,1	20,8 ± 4,0	9,1 ± 1,8	6,8 ± 0,8	4,5 ± 1,2
<i>V</i>, %	27,5	18,7	38,7	38,5	23,4	53,2
<i>S</i>	23,4	8,2	8,0	3,5	1,6	2,4
НІР _{0,5} – забур'яненість посівів сої – 5; пшениці ярої – 7; гречки – 5.						

П. п. п.* – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво – «Біо-Гель»***

Застосування побічної продукції попередника із біодобривом було ефективним, зокрема, у посівах сої загальна кількість бур'янів зменшувалася до 135 шт./м², що на 32,8 % менше контролю; у пшениці ярої до 124 шт./м² або на 36,7 %; у гречки до 75 шт./м² або на 34,2 %.

Найбільше зниження забур'яненості у фазі повних сходів забезпечувало сумісне використання побічної продукції, сидерату й біодобрива. У сої кількість бур'янів зменшувалася з 201 до 106 шт./м², тобто на 47,3 %; у пшениці ярої – з 196 до 103 шт./м² або на 47,4 %; у гречки – зі 114 до 60 шт./м² або на 47,4 %. Однаковий рівень зниження у трьох культур свідчить про стабільність дії комплексної органічної системи удобрення незалежно від біологічних особливостей культури.

У видовому складі бур'янів у фазі повних сходів домінували злакові види – плоскуха звичайна та мишій сизий. У посівах сої на контролі їхня сумарна кількість становила 152 шт./м² або 75,6 % загальної забур'яненості. У пшениці ярої – 145 шт./м² або 74,0 %, у гречки – 86 шт./м² або 75,4 %. Це свідчить про переважання однорічних злакових бур'янів, що є важливим з погляду добору агротехнічних заходів контролю забур'яненості (табл. 5.1).

Комплексна система удобрення, яка поєднувала внесення побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива істотно зменшувала чисельність домінантних видів бур'янів. У сої кількість плоскухи звичайної знижувалася з 99 до 60 шт./м², мишію сизого з 53 до 21 шт./м². У пшениці ярої ці показники зменшувалися відповідно з 99 до 58 шт./м² і з 46 до 25 шт./м² відповідно. У гречки – з 54 до 35 шт./м² та з 32 до 13 шт./м². Найбільш помітним було пригнічення мишію сизого, що може свідчити про його вищу чутливість до змін умов фітоценотичної конкуренції.

Коефіцієнти варіації свідчать, що загальна чисельність бур'янів залежно від систем органічного удобрення характеризувалася середнім рівнем мінливості: у посівах сої він становив 26,8 %, пшениці ярої – 28,0 %, гречки – 27,5 %. Близькі значення показника в усіх культурах засвідчують порівнянну силу впливу систем удобрення на формування початкової забур'яненості.

Найбільше стандартне відхилення загальної кількості бур'янів відзначено у сої – 40,6 шт./м² та пшениці ярої – 39,8 шт./м², тоді як у гречки воно становило 23,4 шт./м², що пов'язано з нижчим абсолютним рівнем її забур'яненості (табл. 5.1).

Аналізуючи результати обстеження фітосанітарного стану посівів короткоротаційної сівозміни за роками видно, що рівень забур'яненості досліджуваних культур сівозмін залежав від сівозмінного фактору, попередника, морфологічних особливостей культури, догляду за посівами та погодних умов років проведення досліджень.

Зокрема, у 2023 році формування сегетальної рослинності відбувалося за досить сприятливих умов для проростання насіння бур'янів, що зумовило високий рівень початкової забур'яненості всіх досліджуваних культур.

Найбільшу кількість бур'янів виявлено у посівах пшениці ярої, де на контрольному варіанті їх чисельність становила 228 шт./м², тоді як у сої – 197 шт./м², а у гречки – лише 124 шт./м². Це свідчить про істотно вищу конкурентоспроможність гречки вже на початкових етапах органогенезу.

Застосування органічних систем удобрення послідовно зменшувало кількість бур'янів незалежно від культури. Найбільш ефективною виявилася комплексна система (побічна продукція попередника + сидерат + біодобриво), за якої чисельність бур'янів знизилася до 121 шт./м² у сої, 119 шт./м² у пшениці ярої та 72 шт./м² у гречки, що відповідно на 38,6; 47,8 та 41,9 % менше порівняно з контролем. Різниця перевищувала значення $HP_{0,5}$, що підтверджує статистичну достовірність впливу систем удобрення.

У видовому складі бур'янів домінували однорічні злакові, насамперед плоскуха звичайна (*Echinochloa crus-galli*), частка якої становила понад третину загальної чисельності бур'янів. Серед дводольних переважали мишій сизий, лобода біла, редька дика та щириця звичайна, однак їх чисельність істотно поступалася домінуючому виду (додаток М 1).

У 2024 році початкова забур'яненість була найнижчою за весь період досліджень, що свідчить про менш сприятливі умови для масового проростання бур'янів. Зокрема, на контрольному варіанті найбільшу кількість бур'янів

виявлено у посівах сої (105 шт./м²), тоді як у пшениці ярій їх було 78 шт./м², а у гречки лише 41 шт./м². Отже, навіть за зниженого загального рівня забур'яненості гречка зберегла найвищу конкурентну здатність.

Комплексне органічне удобрення забезпечило найістотніше скорочення чисельності бур'янів – до 46 шт./м² у сої, 36 шт./м² у пшениці ярій та 14 шт./м² у гречки, що відповідало зменшенню на 56,2; 53,8 та 65,9 % відносно контролю. Особливо різко скоротилася чисельність плоскухи звичайної та інших однорічних злакових видів, що свідчить про підвищення конкурентної переваги культурних рослин (додаток М 1).

2025 рік характеризувався найвищим рівнем початкової забур'яненості за весь період досліджень, що, ймовірно, було пов'язано зі сприятливими погодними умовами для проростання насіння сегетальної рослинності.

На контролі кількість бур'янів становила 302 шт./м² у сої, 282 шт./м² у пшениці ярій та 178 шт./м² у гречки, що значно перевищувало показники попередніх років. Домінуючим видом бур'янів була плоскуха звичайна, чисельність якої досягала 163–175 шт./м² у посівах сої та пшениці.

Комплексне застосування побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива істотно стримувало розвиток бур'янів. Їх кількість скоротилася до 151, 155 та 93 шт./м², або відповідно на 50,0; 45,0 та 47,8 % порівняно з контролем. Незважаючи на високий загальний фон забур'яненості, ефективність органічної системи удобрення залишалася стабільно високою (додаток М 1).

Перед збиранням урожаю, в середньому за 2023–2025 рр. досліджень, загальна забур'яненість істотно знижувалася порівняно з фазою повних сходів. Так, у сої на контролі вона становила 118 шт./м², у пшениці ярій – 77 шт./м², у гречки – 44 шт./м². Порівняно з початковим обліком це менше відповідно на 41,3; 60,7 і 61,4 %. Таке зменшення пояснюється як природною елімінацією частини бур'янів упродовж вегетації, так і посиленням конкурентного впливу культурних рослин у сформованому агрофітоценозі (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

**Забур'яненість посівів зернових культур перед збиранням урожаю,
середнє за 2023–2025 рр.**

Система удобрення	Кількість бур'янів, шт./м ²						Суша маса бур'янів, г/м ²
	всього	в т. ч.					
		плоскуха звичайна	мишій сизий	лобода біла	редька дика	щириця звичайна	
Соя							
П. п. п.* (контроль)	118	66	36	8	4	5	126,5
П. п. п. + сидерат**	94	57	25	6	3	3	93,2
П. п. п. + біодобриво	88	51	27	6	2	3	87,1
П. п. п. + сидерат + біодобриво***	61	37	13	5	2	4	62,7
$\bar{X} \pm S \bar{x}$	$90,3 \pm 11,7$	$52,7 \pm 6,0$	$25,0 \pm 4,7$	$6,1 \pm 0,6$	$2,7 \pm 0,4$	$3,9 \pm 0,5$	$92,4 \pm 13,1$
$V, \%$	25,9	22,6	37,9	18,6	32,3	24,4	28,4
S	23,4	11,9	9,5	1,1	0,9	1,0	26,3
Пшениця яра							
П. п. п. (контроль)	77	43	23	4	3	4	81,2
П. п. п. + сидерат	52	28	15	4	2	3	54,1
П. п. п. + біодобриво	51	25	18	4	1	3	51,4
П. п. п. + сидерат + біодобриво	38	18	12	3	2	3	37,6
$\bar{X} \pm S \bar{x}$	$54,3 \pm 8,3$	$28,3 \pm 5,3$	$16,8 \pm 2,3$	$3,8 \pm 0,3$	$2,2 \pm 0,4$	$3,4 \pm 0,2$	$56,1 \pm 9,1$
$V, \%$	30,6	37,8	27,7	15,2	38,7	12,3	32,5
S	16,6	10,7	4,6	0,6	0,8	0,4	18,3
Гречка							
П. п. п. (контроль)	44	22	12	4	2	3	57,5
П. п. п. + сидерат	29	15	8	3	1	2	36,8
П. п. п. + біодобриво	24	11	7	3	1	2	32,6
П. п. п. + сидерат + біодобриво	18	7	6	3	1	1	25,1
$\bar{X} \pm S \bar{x}$	$28,8 \pm 5,4$	$13,9 \pm 3,2$	$8,2 \pm 1,4$	$3,3 \pm 0,3$	$1,2 \pm 0,3$	$2,3 \pm 0,4$	$38,0 \pm 6,9$
$V, \%$	37,5	45,3	33,4	20,0	49,5	37,0	36,5
S	10,8	6,3	2,7	0,7	0,6	0,8	13,9
НІР _{0,5} – забур'яненість посівів сої – 3,0; пшениці ярої – 4,0; гречки – 2,0.							
НІР _{0,5} – суха маса бур'янів у посівах сої – 7,0; пшениці ярої – 10,3; гречки – 2,9.							

П. п. п.* – побічна продукція попередника, сидерат – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»**

Найменшу кількість бур'янів перед збиранням урожаю також відмічено за комплексного удобрення, яке передбачає внесення під культури сівозміни побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива. У сої вона становила

61 шт./м², що на 48,3 % менше порівняно до контролю; у пшениці ярої – 38 шт./м² або на 50,6 % менше; у гречки – 18 шт./м² або на 59,1 % відповідно менше контролю. Найвищий відносний ефект у гречки свідчить про поєднання дії удобрення з високою біологічною здатністю культури пригнічувати бур'яни за рахунок швидкого росту, формування листкової поверхні та затінення міжрядь.

Особливо важливим показником є суха маса бур'янів, оскільки вона характеризує не лише кількість, а й фактичну біомасу сегетальної рослинності та її конкурентний тиск на культуру. У сої на контролі суха маса бур'янів становила 126,5 г/м², у пшениці ярої – 81,2 г/м², у гречки відповідно – 57,5 г/м². За комплексного застосування побічної продукції попередника, сидерального посіву гірчиці білої й біодобрива («Біо-Гель») суха маса сегетальної рослинності зменшувалася відповідно до 62,7; 37,6 і 25,1 г/м², тобто, зниження становило 50,4 % у посівах сої, 53,7 % у посівах пшениці ярої та 56,3 % у посівах гречки відповідно (табл. 5.2).

Порівняння кількості бур'янів і їх сухої маси показує, що органічні системи удобрення впливали не лише на щільність бур'янового компоненту, а й на інтенсивність його росту. Зокрема, у сої за комплексного удобрення чисельність бур'янів зменшувалася на 48,3 %, а суха маса на 50,4 %; у пшениці ярої відповідно на 50,6 і 53,7 %; у гречки на 59,1 і 56,3 %. Це свідчить про комплексне пригнічення бур'янів за рахунок зменшення як кількості особин, так і їх біологічної продуктивності.

Структура бур'янового угруповання перед збиранням урожаю також зберігала переважання плоскухи звичайної та мишію сизого. У сої на контролі ці два види формували 102 шт./м² або 86,4 % загальної кількості бур'янів; у пшениці ярої – 66 шт./м² або 85,7 %; у гречки – 34 шт./м² або 77,3 %. Це підтверджує, що саме злакові бур'яни залишалися основними конкурентами культур упродовж вегетації.

Перед збиранням урожаю мінливість загальної чисельності бур'янів залежно від систем удобрення посилилася. Коефіцієнт варіації становив 25,9 % у сої, 30,6 % у пшениці ярій та 37,5 % у гречці. У сої варіація залишалася

середньою, тоді як у пшениці й особливо гречки досягала значного рівня. Це вказує, що впродовж вегетації дія систем органічного удобрення поєднувалася з різною конкурентною здатністю культур, унаслідок чого диференціація варіантів посилювалася. Абсолютне стандартне відхилення загальної чисельності становило 23,4 шт./м² у сої, 16,6 шт./м² у пшениці ярій і 10,8 шт./м² у гречці (див. табл. 5.2).

Аналізуючи результати фітосанітарного обстеження стану посівів короткоротаційної сівозміни за роками досліджень визначено, що у 2023 р. на період збирання врожаю відбулося природне зменшення чисельності бур'янів унаслідок конкурентного впливу культурних рослин та агротехнічних заходів. Водночас, закономірність переваги комплексної системи удобрення повністю зберіглася. Найбільшу забур'яненість наприкінці вегетації зберігали посіви сої (152 шт./м²) і пшениці ярої (148 шт./м²) на контролі, тоді як у гречки вона становила лише 60 шт./м². За внесення побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива чисельність бур'янів зменшилася відповідно до 80, 80 і 28 шт./м² або на 47,4; 45,9 та 53,3 % порівняно з контролем.

Аналогічна закономірність простежувалася і щодо сухої маси бур'янів. Максимальні значення зафіксовано на контролі (134,0; 101,2 та 72,0 г/м² відповідно), тоді як комплексна система удобрення забезпечила її зниження до 57,6; 48,8 та 29,2 г/м², що свідчить не лише про скорочення чисельності, а й про пригнічення росту сегетальної рослинності (додаток М 2).

У кінці вегетації культур короткоротаційної органічної сівозміни 2024 року забур'яненість посівів була мінімальною серед усіх років досліджень. На контролі кількість бур'янів становила лише 21 шт./м² у сої, 36 шт./м² у пшениці ярій та 12 шт./м² у гречки. Комплексна система удобрення зменшила ці показники до 8, 13 та 4 шт./м², або відповідно на 61,9; 63,9 та 66,7 %.

Слід відмітити, що практично відсутні атмосферні опади у I та II декадах липня (1 мм), II та III декадах серпня (0,5 мм) й аномально високі температури повітря, на 7,8–8,5⁰С вищі за багаторічну норму (див. додаток А), також сприяли

достатньо високому зниженню однорічних злакових бур'янів у посівах досліджуваних культур короткоротаційної сівозміни.

Суха маса бур'янів також досягла найнижчих величин за комплексу добрив за весь трирічний цикл досліджень. Порівняно з контролем вона зменшилася з 65,8 до 33,5 г/м² у сої, з 98,4 до 49,5 г/м² у пшениці ярої та з 48,4 до 20,7 г/м² у гречки. Це свідчить про істотне пригнічення ростових процесів бур'янів та підвищення ефективності біологізованої системи удобрення (додаток М 2).

Наприкінці вегетації культур сівозміни 2025 р. чисельність бур'янів закономірно зменшилася, однак залишалася вищою, ніж у 2024 році. На контрольному варіанті у посівах сої вона становила 181 шт./м², у пшениці ярої – 48 шт./м², у гречки – 59 шт./м². Комплексна органічна система удобрення забезпечила скорочення забур'яненості до 95, 20 та 23 шт./м², що відповідало зниженню на 47,5; 58,3 та 61,0 % відносно контролю.

Таку саму закономірність відзначено і щодо сухої маси бур'янів. Найвищі її значення зафіксовано у посівах сої (179,6 г/м²), тоді як застосування комплексної системи удобрення зменшувало цей показник до 97,1 г/м². У пшениці ярій суха маса бур'янів знизилася з 44,0 до 14,4 г/м², а у гречки – з 52,0 до 25,4 г/м², що підтверджує істотне пригнічення не лише чисельності, а й накопичення фітомаси бур'янів (додаток М 2).

Висновки до Розділу 5

1. За результатами досліджень, у середньому за 2023–2025 рр., визначено, що найвища забур'яненість у фазі повних сходів культур сівозміни була на контрольних варіантах у посівах сої та пшениці ярої – відповідно 201 і 196 шт./м², тоді як у гречки вона становила 114 шт./м², що підтверджує її вищу початкову конкурентоспроможність. Найефективнішою була комплексна система удобрення, яка поєднувала побічну продукцію попередника, сидерат і біодобриво: кількість бур'янів зменшувалася до 106 шт./м² у сої, 103 шт./м² у пшениці ярій та 60 шт./м² у гречки, або відповідно на 47,3; 47,4 і 47,4 % порівняно з контролем. У структурі сегетальної рослинності переважали плоскуха звичайна

та мишій сизий, сумарна частка яких на контролі досягала 74,0–75,6 % загальної чисельності бур'янів;

2. Перед збиранням урожаю загальна кількість бур'янів на контролі зменшилася порівняно з фазою повних сходів на 41,3 % у сої, 60,7 % у пшениці ярій та 61,4 % у гречки, що відображає природну елімінацію сегетальних видів і посилення конкурентного впливу сформованих посівів. Комплексне внесення побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива забезпечило найменшу забур'яненість – 61, 38 і 18 шт./м², що на 48,3; 50,6 і 59,1 % менше контролю відповідно у сої, пшениці ярій та гречки. Суха маса бур'янів за цієї системи знижувалася з 126,5 до 62,7 г/м² у сої, з 81,2 до 37,6 г/м² у пшениці ярій і з 57,5 до 25,1 г/м² у гречки, тобто на 50,4; 53,7 і 56,3 %, що доводить комплексне пригнічення як чисельності, так і ростової продуктивності сегетальної рослинності;

3. Встановлено, що застосування органічних систем удобрення, особливо поєднання побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива, є ефективним агроекологічним чинником регулювання забур'яненості посівів. Така система забезпечує зниження чисельності бур'янів у фазі сходів майже на половину, а перед збиранням урожаю до 59,1 %, одночасно зменшуючи суху масу бур'янів на 50,4–56,3 %, що свідчить про підвищення конкурентоспроможності культур, покращення фітосанітарного стану посівів і доцільність використання комплексного органічного удобрення в короткотривалій сівозміні.

Основні результати досліджень за даним розділом опубліковано в наукових працях [203, 246].

РОЗДІЛ 6

УРОЖАЙНІСТЬ КУЛЬТУР І ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ У КОРОТКОРОТАЦІЙНІЙ ОРГАНІЧНІЙ СІВОЗМІНІ

Урожайність є інтегральним показником реалізації біологічного потенціалу культур за сукупного впливу ґрунтових, погодних і технологічних чинників. З огляду на це, у наших дослідженнях особливу увагу приділено визначенню впливу різних систем органічного удобрення на формування врожайності сої, пшениці ярої та гречки в короткоротаційній сівозміні.

Результати зарубіжних досліджень свідчать, що комплексне застосування органічних матеріалів і мікробіологічних препаратів істотно підвищує продуктивність культур. Сумісна інокуляція сої азотфіксувальними, фосфатмобілізувальними та симбіотичними мікроорганізмами збільшувала врожайність на 20,5 %, а поєднання рослинних решток із мікробним препаратом – на 3,91–5,46 % [247, 248]. У пшениці ярої часткова заміна мінеральних добрив органічними компонентами забезпечувала приріст урожайності на 0,67–3,85 % та підвищувала ефективність використання азоту й фосфору [249]. Органічне удобрення гречки сприяло зростанню врожайності насіння на 48 %, а його локальне внесення було на 24 % ефективнішим за поверхневе [250].

Подібні закономірності встановлено українськими вченими. Поєднання інокуляції насіння сої з позакореневим підживленням забезпечувало врожайність 3,31 т/га, або на 0,84 т/га більше за контроль. Бактеризація пшениці ярої підвищувала її продуктивність на 17,3–29,6 %, а комплексне застосування Хетоміку та Діазобактерину в посівах гречки – на 34,9 % [251–253]. Отже, узагальнення вітчизняних і зарубіжних досліджень засвідчує сталу перевагу комплексних систем, у яких органічні рештки, сидеральні культури та біологічні препарати взаємодоповнюють один одного, оптимізуючи поживний режим ґрунту, формування структурних елементів урожаю та реалізацію продуктивного потенціалу культур.

6.1. Структурні показники культур органічної короткоротаційної сівозміни

Продуктивність сільськогосподарських культур формується взаємодією морфологічних і генеративних показників, зокрема висоти рослин, густоти продуктивного стеблостою, накопичення біомаси, кількості й маси генеративних органів та крупності зерна. У посівах сої органічні добрива сприяли збільшенню надземної маси, кількості й маси бобів і насіння, маси 100 насінин та загальної врожайності, однак ефективність їх дії залежала від способу внесення, сортових особливостей і погодних умов [254].

Подібні закономірності встановлено для пшениці та гречки. Поєднання органічних і мінеральних джерел азоту поліпшувало розвиток кореневої системи, накопичення біомаси, формування продуктивних колосів і масу 1000 зерен пшениці [255]. У гречки оптимізація азотного живлення підвищувала кількість і масу зерен, тоді як його надлишок переважно стимулював вегетативний ріст без пропорційного збільшення врожайності [256].

Отже, структурні показники врожаю є інформативними критеріями оцінювання ефективності систем удобрення, оскільки дають змогу визначити не лише рівень сформованої біомаси, а й характер її перерозподілу на формування господарсько цінної частини врожаю. Одержані наукові положення стали підґрунтям для аналізу впливу органічних систем удобрення на структурні показники сої, пшениці ярої та гречки в умовах короткоротаційної сівозміни.

Результати наших досліджень засвідчили закономірну залежність висоти рослин, густоти продуктивного стеблостою, накопичення надземної та кореневої маси, зернової продуктивності й маси 1000 зерен від системи органічного удобрення та біологічних особливостей культур. Посилення біологізації удобрення супроводжувалося поліпшенням основних елементів структури урожаю.

Найнижчі значення структурних показників у середньому за три роки досліджень формувалися на контрольному варіанті, де застосовували лише

побічну продукцію попередника. У сої висота рослин становила 76,9 см, кількість продуктивних стебел – 66 шт./м², загальна маса рослин – 789,6 г/м², зокрема зерна – 129,9 г/м². У пшениці ярій відповідні показники становили 83,1 см, 364 шт./м², 698,9 і 256,1 г/м², а у гречки відповідно – 103,1 см, 202 шт./м², 507,9 і 117,3 г/м². Контрольні варіанти також характеризувалися найбільшою кількістю непродуктивних стебел – 7 шт./м² у сої, 19 шт./м² у пшениці ярій та 9 шт./м² у гречки, що свідчить про менш сприятливі умови реалізації продуктивного потенціалу посівів (табл. 6.1).

Поєднання побічної продукції попередника із сидератом забезпечувало помірне, але стає поліпшення всіх елементів структури урожаю. Порівняно з контролем висота рослин зростала на 5,5–9,5 %, кількість продуктивних стебел – на 7,1–12,1 %, а загальна маса рослин – на 18,5–23,3 %. Зернова маса збільшувалася на 19,9 % у сої, 23,2 % у пшениці ярій та 22,8 % у гречки. Одночасно кількість непродуктивних стебел зменшувалася на 33,3–47,4 %.

Використання побічної продукції попередника разом із біодобрином було дещо ефективнішим порівняно із сидеральною системою. У сої зернова маса зростала з 129,9 до 160,9 г/м² або на 23,9 %, у пшениці ярій – з 256,1 до 337,0 г/м² або на 31,6 %, у гречки – зі 117,3 до 147,1 г/м² або на 25,4 %. Загальна маса рослин збільшувалася відповідно на 21,7; 34,1 і 20,6 %, що свідчить про позитивний вплив біодобрива не лише на генеративну, а й на вегетативну складову продуктивності.

Найбільш виражений ефект у всіх культурах забезпечувала комплексна система удобрення (побічна продукція попередника + сидерат + біодобриво). За її застосування висота сої досягала 89,1 см, пшениці ярій – 97,5 см, гречки – 114,5 см, що на 11,1–17,3 % перевищувало контроль. Кількість продуктивних стебел збільшувалася до 79, 414 і 237 шт./м² або на 13,7–19,7 %, тоді як чисельність непродуктивних стебел скорочувалася на 55,6–71,4 %. Комплексне удобрення забезпечувало збільшення й загальної маси рослин на 30,8 % у сої, 50,8 % у пшениці ярій та 31,5 % у гречки. Маса коренів зростала відповідно на 41,0; 31,9 і 33,2 %, що свідчить про формування потужнішої кореневої системи (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

**Структурні показники урожаю зернових культур короткоротаційної
сівозміни, середнє за 2023–2025 рр.**

Культура сівозміни	Система удобрення	Висота рослин, см	Кількість стебел, шт./м ²		Маса, г/м ²			
			продуктивних	непродуктивних	всього	в т. ч.		
						коренів	соломи	зерна
Соя	п. п. п.* (контроль)	76,9	66	7	789,6	97,1	562,7	129,9
	п. п. п. + сидерат**	82,2	74	4	942,8	120,6	666,4	155,8
	п. п. п. + біодобриво***	83,5	76	3	961,0	125,1	675,0	160,9
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	89,1	79	2	1032,6	136,9	712,0	183,7
$\bar{X} \pm S \bar{x}$		82,9± 2,5	73,8± 2,7	4,3± 1,0	931,5± 51,1	119,9 ±8,4	654,0± 32,0	157,6 ±11,0
$V, \%$		6,0	7,4	47,2	11,0	13,9	9,8	14,0
S		5,0	5,5	2,0	102,2	16,7	64,0	22,1
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	83,1	364	19	698,9	133,1	309,8	256,1
	п. п. п. + сидерат	91,0	390	10	861,7	150,9	395,3	315,5
	п. п. п. + біодобриво	93,4	404	9	936,9	159,4	440,5	337,0
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	97,5	414	8	1053,9	175,6	502,2	376,0
$\bar{X} \pm S \bar{x}$		91,2± 3,0	393,0 ±10,8	11,8 ±2,6	887,9± 74,4	154,8 ±8,9	412,0± 40,5	321,2 ±25,1
$V, \%$		6,7	5,5	43,4	16,8	11,4	19,7	15,6
S		6,1	21,6	5,1	148,7	17,7	81,0	50,1
Гречка	п. п. п. (контроль)	103,1	202	9	507,9	80,4	310,2	117,3
	п. п. п. + сидерат	108,8	218	6	602,1	91,4	365,7	144,0
	п. п. п. + біодобриво	110,8	226	6	612,5	95,1	370,3	147,1
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	114,5	237	4	668,1	107,1	390,9	170,1
$\bar{X} \pm S \bar{x}$		109,3 ±2,4	220,7 ±7,2	6,2± 1,0	597,6± 33,2	93,5± 5,5	359,3± 17,2	144,6 ±10,8
$V, \%$		4,4	6,5	33,8	11,1	11,8	9,6	14,9
S		4,8	14,4	2,1	66,4	11,0	34,5	21,6

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель».*

Зернова маса за комплексу добрив досягала 183,7 г/м² у сої, 376,0 г/м² у пшениці ярій і 170,1 г/м² у гречки, перевищуючи контроль відповідно на 41,4; 46,8 і 45,0 %. Тобто, комплексна система забезпечувала збалансоване наростання вегетативної маси та посилення її продуктивної спрямованості.

Коефіцієнти варіації висоти рослин і кількості продуктивних стебел були низькими – відповідно 4,4–6,7 і 5,5–7,4 %, що вказує на відносну стабільність цих показників. Для загальної та зернової маси варіація була переважно середньою – 11,0–16,8 і 14,0–15,6 %. Найбільш мінливим показником була кількість непродуктивних стебел, коефіцієнт варіації якої становив 33,8–47,2 %. Саме зменшення непродуктивної частини стеблостою найбільшою мірою відображало реакцію культур на посилення системи органічного удобрення.

У середньому за системами удобрення соя формувала рослини заввишки 82,9 см і порівняно невелику кількість продуктивних стебел – 73,8 шт./м², що зумовлено її морфобіологічними особливостями. Водночас культура характеризувалася найбільшою загальною масою рослин – 931,5 г/м² та масою соломи – 654,0 г/м². Ці значення були відповідно на 4,9 і 58,7 % вищими, ніж у пшениці ярій, та на 55,9 і 82,0 % вищими порівняно з гречкою. Отже, соя відзначалася інтенсивним накопиченням надземної вегетативної маси, проте частка зерна в загальній біомасі була нижчою, ніж у пшениці.

Пшениця яра формувала в середньому 393 продуктивні стебла на 1 м², що значно перевищувало показники сої та гречки й відображало біологічну здатність культури до кущіння. Вона також мала найбільшу масу коренів – 154,8 г/м² і зернову масу – 321,2 г/м². Останній показник був у 2,04 рази вищим, ніж у сої, та у 2,22 рази вищим порівняно з гречкою. Отже, пшениця яра характеризувалася найефективнішим спрямуванням накопиченої біомаси на формування генеративної частини урожаю.

Гречка мала найбільшу середню висоту рослин – 109,3 см, що на 19,8 % перевищувало пшеницю яру і на 31,8 % – сою. Кількість продуктивних стебел становила 220,7 шт./м², загальна маса – 597,6 г/м², зернова – 144,6 г/м². За абсолютними величинами продуктивності вона поступалася пшениці, однак

відзначалася відносно стабільним формуванням загальної біомаси у різні роки досліджень, що свідчить про її адаптивність до мінливих умов вирощування (див. табл. 6.1).

Аналізуючи структурні показники врожаю культур короткоротаційної сівозміни за роками досліджень визначено, що ці показники залежали як від системи органічного удобрення, так і від морфологічних особливостей культур і агрометеорологічних умов у роки проведення досліджень.

У 2023 р. найбільш інтенсивне накопичення загальної та вегетативної маси відмічено у сої. У середньому за системами удобрення загальна маса її рослин становила $1492,3 \text{ г/м}^2$, зокрема соломи – $1177,2 \text{ г/м}^2$, що було максимальним значенням за трирічний період досліджень. Висота рослин сої та гречки була майже однаковою – відповідно 104,8 і 105,0 см, тоді як у пшениці ярій – 90,5 см.

За зерновою масою переважала пшениця яра – $247,3 \text{ г/м}^2$, у сої та гречки вона становила відповідно 157,6 і $140,0 \text{ г/м}^2$. Найвищу ефективність забезпечувала комплексна система удобрення: порівняно з контролем зернова маса збільшувалася у сої з 138,7 до $172,7 \text{ г/м}^2$ або на 24,5 %, у пшениці ярій – зі 189,2 до $278,8 \text{ г/м}^2$ або на 47,4 %, у гречки – зі 112,0 до $160,0 \text{ г/м}^2$ або на 42,9 %.

Комплексне удобрення також зменшувало кількість непродуктивних стебел на 50,0 % у сої, 75,0 % у пшениці ярій та 66,7 % у гречки. Особливо виразно система впливала на кореневу масу гречки, яка збільшувалася з 74,8 до $116,0 \text{ г/м}^2$ або на 55,1 % (додаток Н).

У 2024 р. структурні показники культур формувалися неоднаково. Найбільше зниження вегетативної маси відзначено у сої: у середньому її загальна маса становила лише $383,7 \text{ г/м}^2$, а зернова – $129,7 \text{ г/м}^2$. Порівняно з 2023 р. загальна маса зменшилася у 3,9 рази, що свідчить про істотний вплив погодних умов року на ріст і накопичення біомаси цією культурою (див. додаток А).

Водночас, пшениця яра сформувала максимальну за роки досліджень густоту продуктивного стеблостою – $671,5 \text{ шт./м}^2$, а її зернова маса підвищилася до $331,3 \text{ г/м}^2$. Гречка характеризувалася найбільшою середньою висотою рослин – 115,2 см, тоді як її загальна маса залишалася стабільною і становила $603,5 \text{ г/м}^2$.

Комплексна система удобрення найбільшою мірою компенсувала несприятливу реалізацію продуктивного потенціалу сої: загальна маса рослин підвищувалася з 302,0 до 454,3 г/м² або на 50,4 %, зернова маса – з 97,0 до 162,3 г/м² або на 67,3 %. Це був найвищий відносний приріст зернової маси серед усіх культур і років.

У пшениці ярій комплексне удобрення збільшувало зернову масу з 285 до 364 г/м² або на 27,7 %, у гречки – зі 112 до 164 г/м² або на 46,4 %. Відносно менший приріст у пшениці пояснюється високим вихідним рівнем продуктивного стеблостою вже на контрольному варіанті (додаток Н).

У 2025 р. в усіх досліджуваних культурах сформувалася найбільша середньорічна зернова маса за весь період досліджень. У сої вона становила 185,4 г/м², у пшениці ярій – 384,9 г/м², у гречки – 156,4 г/м². Порівняно з 2024 р. приріст становив відповідно 42,9; 16,2 і 13,8 %.

Найбільш продуктивною була пшениця яра, загальна маса рослин якої досягала в середньому 1160,8 г/м², маса коренів – 251,5 г/м², соломи – 524,4 г/м². За комплексного удобрення загальна маса збільшувалася з 841,3 до 1451,0 г/м² або на 72,5 %, зернова – з 294,0 до 485,3 г/м² або на 65,1 %. Маса соломи зростала більш ніж удвічі – з 329,3 до 682,7 г/м², що свідчить про особливо сильну реакцію пшениці на поєднання всіх компонентів органічної системи удобрення.

Соя у 2025 р. формувала меншу висоту рослин, ніж у 2023 р., однак мала найбільшу середню кількість продуктивних стебел – 81,5 шт./м² та максимальну зернову масу. За комплексного удобрення кількість продуктивних стебел зростала з 64 до 92 шт./м² або на 43,8 %, а зернова маса – зі 154,0 до 216,1 г/м² або на 40,3 %. Це свідчить, що підвищення продуктивності забезпечувалося переважно оптимізацією густоти продуктивних органів, а не збільшенням висоти рослин.

Гречка зберігала стабільний рівень загальної маси – 596,7 г/м², близький до показників 2023 і 2024 рр. За комплексного удобрення її зернова маса зростала зі 128,0 до 186,2 г/м² або на 45,5 %, а кількість продуктивних стебел – зі 198 до 231 шт./м² або на 16,7 % відповідно (додаток Н).

Отже, у середньому за 2023–2025 рр. встановлено чітку послідовність поліпшення структурних показників урожаю. Комплексна система забезпечувала збільшення висоти рослин на 11,1–17,3 %, кількості продуктивних стебел – на 13,7–19,7 %, загальної маси рослин – на 30,8–50,8 %, зернової маси – на 41,4–46,8 %. Одночасно кількість непродуктивних стебел зменшувалася на 55,6–71,4 %.

Виявлено виразну культурно специфічну закономірність: соя переважала за накопиченням загальної та вегетативної маси, пшениця яра – за густотою продуктивного стеблостою, кореневою і зерною масою, а гречка – за висотою рослин і стабільністю формування біомаси в різні роки. Міжрічна динаміка засвідчила, що у 2023 р. сформувалося найкрупніше зерно й максимальна біомаса сої, у 2024 р. – найгустіший продуктивний стеблостій пшениці, а у 2025 р. – найбільша зернова маса всіх культур.

Маса 1000 зерен є одним із ключових показників структури врожаю, який характеризує крупність і виповненість насіння та істотно впливає на формування продуктивності сільськогосподарських культур. Її величина визначається генетичними особливостями сорту, застосованою технологією вирощування, поживним режимом ґрунту, вологозабезпеченістю рослин і погодними умовами в період наливу та досягання зерна.

Аналогічна закономірність простежувалася й за масою 1000 зерен. У середньому за 2023–2025 рр. на контролі вона становила 152,6 г у сої, 34,6 г у пшениці ярій і 24,5 г у гречки, тоді як за комплексного удобрення підвищувалася до 187,5; 39,8 і 27,6 г або на 22,9; 15,0 і 12,7 %. Різниця між комплексною системою та контролем перевищувала середню НІР_{0,5}, яка становила 1,3, що підтверджує істотність впливу системи удобрення на крупність і виповненість зерна (табл. 6.2).

Найбільша маса 1000 зерен закономірно була властива сої – у середньому 173,4 г, у пшениці ярій вона становила 37,8 г, у гречки – 26,1 г. Пряме порівняння цього показника між культурами має обмежене значення через різну біологічну

крупність насіння, тому більш інформативною є його реакція на системи удобрення в межах кожної культури.

Таблиця 6.2

**Маса 1000 зерен (насінин) культур короткоротаційної органічної
сівозміни, г, за 2023–2025 рр.**

Система удобрення	Роки			
	2023	2024	2025	середнє
Соя				
П. п. п.* (контроль)	164,3	151,4	142,0	152,6
П. п. п. + сидерат**	182,3	179,2	166,2	175,9
П. п. п. + біодобриво***	185,0	178,8	169,4	177,7
П. п. п. + сидерат + біодобриво	188,7	195,8	178,1	187,5
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	180,1±5,4	176,3±9,2	163,9±7,7	173,4±7,4
$V, \%$	6,0	10,4	9,4	8,5
S	10,8	18,4	15,5	14,8
Пшениця яра				
П. п. п. (контроль)	38,4	33,8	31,7	34,6
П. п. п. + сидерат	40,5	36,3	38,0	38,3
П. п. п. + біодобриво	40,7	36,2	38,5	38,5
П. п. п. + сидерат + біодобриво	42,0	37,8	39,6	39,8
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	40,4±0,7	36,0±0,8	37,0±1,8	37,8±1,1
$V, \%$	3,7	4,6	9,6	5,9
S	1,5	1,7	3,6	2,2
Гречка				
П. п. п. (контроль)	26,6	24,7	22,1	24,5
П. п. п. + сидерат	28,3	25,8	23,8	26,0
П. п. п. + біодобриво	28,4	25,9	24,5	26,3
П. п. п. + сидерат + біодобриво	30,1	26,7	25,9	27,6
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	28,4±0,7	25,8±0,4	24,1±0,8	26,1±0,6
$V, \%$	5,0	3,2	6,6	4,9
S	1,4	0,8	1,6	1,3
$НІР_{0,5}$	2,9	0,5	0,7	1,3

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель».*

За сукупністю показників 2023 р. був найсприятливішим для формування крупного і виповненого зерна. Середня маса 1000 зерен становила 180,1 г у сої,

40,4 г у пшениці ярій і 28,4 г у гречки – це найвищі середньорічні значення за досліджуваний період, тоді як у 2024 р. маса 1000 зерен підвищувалася за рахунок комплексної системи удобрення і відносно контролю збільшувалася з 151,4 до 195,8 г або на 29,3 %.

Водночас маса 1000 зерен у 2025 р. була нижчою, ніж у 2023 р.: у сої – на 9,0 %, пшениці ярій – на 8,5 %, гречки – на 15,1 %. Поєднання меншої крупності зерна з максимальною зерновою масою на одиниці площі свідчить, що зростання продуктивності у 2025 р. забезпечувалося переважно більшою кількістю продуктивних органів і кращою реалізацією загальної біомаси, а не збільшенням маси окремої зернини.

У середньому за три роки досліджень комплексна система удобрення забезпечувала збільшення маси 1000 зерен на 12,7–22,9 %.

Отже, поєднання побічної продукції попередника, сидерату гірчиці білої та біодобрива «Біо-Гель» забезпечувало найповнішу реалізацію продуктивного потенціалу культур, посилювало розвиток кореневої системи, оптимізувало структуру стеблостою та підвищувало частку генеративної продукції. Стабільна перевага цієї системи в різні за умовами роки підтверджує доцільність її застосування для підвищення продуктивності короткоротаційної органічної сівозміни.

6.2. Урожайність культур короткоротаційної сівозміни залежно від попередників і органічного удобрення

На сучасному етапі розвитку агропромислового виробництва важливою передумовою одержання конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції є підвищення загального рівня землеробства. Це зумовлює необхідність раціоналізації землекористування аграрних підприємств, удосконалення структури посівних площ і впровадження науково обґрунтованих сівозмін, що забезпечують сприятливішу взаємодію культурних рослин із ґрунтовим середовищем та оптимізують їхні взаємовідносини в агроценозах.

Роль сівозміни в сучасних системах землеробства визначається насамперед біологічними особливостями польових культур і закономірностями їх чергування. Раціонально спроектована та належно освоєна сівозміна сприяє збереженню й відтворенню родючості ґрунту, підвищенню врожайності культур, ефективнішому використанню природних і виробничих ресурсів та зростанню економічної результативності землеробства [39].

За результатами досліджень встановлено, що врожайність культур короткоротаційної сівозміни визначалася як їхніми біологічними особливостями, так і системою органічного удобрення та погодними умовами року. У середньому за 2023–2025 рр. урожайність сої залежно від варіанта досліду становила 1,30–1,84 т/га, пшениці ярої – 2,56–3,83 т/га, гречки – 1,17–1,70 т/га (табл. 6.3).

У середньому за три роки урожайність сої на контролі становила 1,30 т/га. Поєднання побічної продукції попередника із сидератом забезпечувало 1,56 т/га, що на 0,26 т/га або 20,0 %, перевищувало контроль. Застосування побічної продукції з біодобрином підвищувало урожайність до 1,61 т/га, забезпечуючи приріст 0,31 т/га або 23,8 %. Найвищий показник – 1,84 т/га – одержано за комплексної системи органічного удобрення, що на 0,54 т/га або 41,5 % більше порівняно з контролем. Перевага комплексної системи над варіантом із сидератом становила 0,28 т/га, а над застосуванням біодобрива – 0,23 т/га.

Пшениця яра характеризувалася найвищою врожайністю серед культур сівозміни та найбільшим абсолютним приростом від удобрення. На контролі її урожайність становила 2,56 т/га, тоді як застосування побічної продукції із сидератом підвищувало цей показник до 3,16 т/га або на 0,60 т/га (23,4 %). Поєднання побічної продукції з біодобрином забезпечувало 3,37 т/га зерна, що перевищувало контроль на 0,81 т/га або 31,6 %. За комплексної системи урожайність досягала 3,83 т/га, а приріст становив 1,27 т/га або 49,6 %. Отже, пшениця яра найбільш повно реалізувала продуктивний потенціал за одночасного використання всіх складових органічного удобрення (табл. 6.3).

Таблиця 6.3

**Урожайність культур короткоротаційної сівозміни, т/га,
середнє за 2023–2025 рр.**

Удобрєння	Роки досліджень			Середнє за 2023–2025 рр.	Приріст до контролю	
	2023	2024	2025		т/га	%
Соя						
П. п. п.* (контроль)	1,39	0,97	1,54	1,30	—	—
П. п. п. + сидерат**	1,58	1,26	1,83	1,56	0,26	20,0
П. п. п. + біодобриво	1,61	1,34	1,88	1,61	0,31	23,8
П. п. п. + сидерат + біодобриво***	1,73	1,62	2,16	1,84	0,54	41,5
НІР _{0,5}	0,03	0,16	0,06	0,08	—	—
Пшениця яра						
П. п. п.* (контроль)	1,89	2,85	2,94	2,56	-	-
П. п. п. + сидерат	2,60	3,32	3,55	3,16	0,60	23,4
П. п. п. + біодобриво	2,61	3,44	4,06	3,37	0,81	31,6
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,01	3,64	4,85	3,83	1,27	49,6
НІР _{0,5}	0,25	0,22	0,21	0,23	—	—
Гречка						
П. п. п.* (контроль)	1,12	1,12	1,28	1,17	—	—
П. п. п. + сидерат	1,43	1,36	1,53	1,44	0,27	23,1
П. п. п. + біодобриво	1,45	1,38	1,58	1,47	0,30	25,6
П. п. п. + сидерат + біодобриво	1,60	1,64	1,86	1,70	0,53	45,3
НІР _{0,5}	0,11	0,04	0,13	0,09	—	—

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель».*

Урожайність гречки на контрольному варіанті становила в середньому 1,17 т/га. Використання побічної продукції із сидератом забезпечувало 1,44 т/га або на 0,27 т/га чи 23,1 % більше. За внесення побічної продукції з біодобривом урожайність досягала 1,47 т/га, перевищуючи контроль на 0,30 т/га або 25,6 %. Максимальне значення – 1,70 т/га – сформувалося за комплексної системи удобрення, яка забезпечувала приріст 0,53 т/га або 45,3 %. Незначна перевага

біодобрива над сидеральним варіантом та значне підвищення врожайності за їх поєднання свідчать про взаємодоповнювальну дію цих компонентів (табл. 6.3).

Аналізуючи врожайність культур у короткоротаційній сівозміні за роками досліджень визначено, що у 2023 р. урожайність сої залежно від системи удобрення становила 1,39–1,73 т/га. Застосування побічної продукції із сидератом забезпечувало приріст 0,19 т/га або 13,7 %, а з біодобривом – 0,22 т/га або 15,8 %. За комплексного удобрення урожайність підвищувалася до 1,73 т/га, що на 0,34 т/га або 24,5 % перевищувало контроль.

Урожайність пшениці ярої варіювала від 1,89 до 3,01 т/га. Варіанти із сидератом і біодобривом забезпечували майже однаковий результат – відповідно 2,60 і 2,61 т/га, а приріст становив 0,71–0,72 т/га або 37,6–38,1 %. Комплексна система підвищувала врожайність культури до 3,01 т/га, що на 1,12 т/га або 59,3 % більше за контрольний варіант.

Урожайність гречки становила 1,12–1,60 т/га. Використання сидерату забезпечувало приріст 0,31 т/га або 27,7 %, біодобрива – 0,33 т/га, або 29,5 %, а їх комплексне поєднання – 0,48 т/га або 42,9 %. Отже, у 2023 р. найбільшу відносну реакцію на комплексне удобрення виявила пшениця яра (табл. 6.3).

У 2024 р. соя сформувала найнижчу врожайність за період досліджень – 0,97–1,62 т/га, що вказує на несприятливіші для цієї культури погодні умови. Водночас, саме в цей рік комплексна система мала найбільший відносний ефект: урожайність підвищувалася з 0,97 до 1,62 т/га, а приріст становив 0,65 т/га або 67,0 %. Побічна продукція із сидеральним посівом гірчиці білої забезпечувала приріст 0,29 т/га або 29,9 %, а з біодобривом – 0,37 т/га або 38,1 %. Це свідчить про здатність комплексного удобрення частково компенсувати негативну дію несприятливих умов року.

Урожайність пшениці ярої знаходилася в межах 2,85–3,64 т/га. За застосування сидерату приріст становив 0,47 т/га або 16,5 %, біодобрива – 0,59 т/га або 20,7 %, комплексного органічного удобрення – 0,79 т/га або 27,7 %. Порівняно з 2023 р. середня урожайність культури зросла, однак відносна дія

удобрення була менш вираженою внаслідок вищого рівня продуктивності контрольного варіанта.

У гречки урожайність становила 1,12–1,64 т/га. Побічна продукція із сидератом забезпечувала приріст 0,24 т/га або 21,4 %, із біодобрином – 0,26 т/га або 23,2 %, а комплексна система – 0,52 т/га або 46,4 %. Отже, для гречки перевага комплексного удобрення залишалася стабільною незалежно від незначної зміни загального рівня урожайності (див. табл. 6.3).

У 2025 р. сформовано найвищі показники врожайності всіх культур за період трирічних досліджень. Урожайність сої становила 1,54–2,16 т/га. За використання сидерату приріст дорівнював 0,29 т/га або 18,8 %, біодобрива – 0,34 т/га або 22,1 %, а комплексної системи – 0,62 т/га або 40,3 %.

Пшениця яра забезпечила врожайність на рівні 2,94–4,85 т/га. Поєднання побічної продукції із сидератом (гірчиця біла) підвищувало урожайність на 0,61 т/га або 20,7 %, із біодобрином – на 1,12 т/га, або 38,1 %. Найбільший абсолютний приріст за весь період досліджень – 1,91 т/га або 65,0 % – одержано за комплексної системи удобрення. Це вказує на особливо ефективну реалізацію позитивної дії органічних компонентів за сприятливіших умов формування врожаю.

Урожайність гречки варіювала від 1,28 до 1,86 т/га. Система з сидеральною культурою забезпечувала приріст 0,25 т/га або 19,5 %, застосування біодобрива – 0,30 т/га, або 23,4 %, комплексне удобрення – 0,58 т/га, або 45,3 %. Отже, відносна ефективність комплексної системи для гречки впродовж років була найбільш стабільною і становила 42,9–46,4 % (див. табл. 6.3).

Таким чином, міжрічна динаміка мала культурно специфічний характер. Зокрема, середня за системами удобрення урожайність сої зменшувалася з 1,58 т/га у 2023 р. до 1,30 т/га у 2024 р., або на 17,7 %, після чого підвищувалася до 1,85 т/га у 2025 р. Пшениця яра характеризувалася послідовним зростанням середньої урожайності – з 2,53 до 3,31 і 3,85 т/га, тоді як продуктивність гречки була відносно стабільною у 2023–2024 рр. – 1,40 і 1,38 т/га та підвищувалася до 1,56 т/га у 2025 р.

6.3. Якість рослинницької продукції в органічній короткоротаційній сівозміні залежно від попередників і систем удобрення

Якість зерна й насіння сільськогосподарських культур визначається взаємодією генотипу, ґрунтово-кліматичних умов і технології вирощування, зокрема системи удобрення. За органічного вирощування пшениці ярої рівень азотного живлення істотно впливав на вміст білка, вітаміну Е, заліза та цинку, однак ефективність удобрення залежала від сортових особливостей і погодних умов [257].

У гречки водозабезпеченість і азотне живлення визначали вміст білка, олії, крохмалю, клітковини та мінеральних елементів, а білковість зерна варіювала від 9,39 до 14,03 % [258]. Якість насіння сої характеризується насамперед умістом білка й олії, які залежать від погодних умов, сівозміни, живлення та інокуляції. При цьому зростання врожайності не завжди підвищує концентрацію білка, проте забезпечує збільшення його загального виходу з одиниці площі [259].

З огляду на встановлені закономірності, у наших дослідженнях якість продукції культур короткоротаційної сівозміни розглядали як результат сукупної дії біологічних особливостей сої, пшениці ярої та гречки, погодних умов 2023–2025 рр. і застосованих систем органічного удобрення. Особливу увагу приділяли визначенню в насінні сої вмісту білка та олії, у зерні пшениці ярої – білка й клейковини, а в зерні гречки – основних показників поживної цінності, що дало змогу оцінити не лише продуктивність культур, а й якісну повноцінність одержаного врожаю.

За результатами досліджень встановлено, що використання лише побічної продукції попередника забезпечувало базовий рівень якісних показників зерна досліджуваних культур. За цієї системи удобрення в зерні сої вміст білка становив 31,58 %, клітковини – 6,70 %, жиру – 18,06 %; у зерні пшениці ярої – відповідно 11,29, 24,94 і 1,90 %; у зерні гречки вміст білка становив 12,13 %, а жиру – 2,94 % (табл. 6.4). Порівняння досліджуваних систем удобрення з контрольним варіантом засвідчило, що додаткове застосування сидерату та

біодобрива неоднаково впливало на формування окремих показників якості зерна.

Таблиця 6.4

**Якість продукції культур короткоротаційної сівозміни, %,
середнє за 2023–2025 рр.**

Культура	Система удобрення	Вміст у зерні, %		
		білка	клейковини / клітковини	жиру
Соя	п. п. п.* (контроль)	31,58	6,70	18,06
	п. п. п. + сидерат**	31,74	6,73	17,68
	п. п. п. + біодобриво***	31,72	6,76	19,04
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	32,40	6,90	18,10
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		31,86±0,18	6,77±0,04	18,22±0,29
$V, \%$		1,15	1,30	3,18
S		0,37	0,09	0,58
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	11,29	24,94	1,90
	п. п. п. + сидерат	11,75	25,22	1,87
	п. п. п. + біодобриво	11,86	25,70	1,89
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	11,96	25,87	1,95
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		11,72±0,15	25,44±0,21	1,91±0,02
$V, \%$		2,55	1,68	1,79
S		0,30	0,43	0,03
Гречка	п. п. п. (контроль)	12,13	—	2,94
	п. п. п. + сидерат	12,46	—	2,97
	п. п. п. + біодобриво	12,61	—	3,01
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	12,56	—	3,02
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		12,44±0,11	—	2,99±0,02
$V, \%$		1,75	—	1,30
S		0,22	—	0,04

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Застосування сидерату на фоні побічної продукції попередника сприяло підвищенню вмісту білка в зерні всіх досліджуваних культур порівняно з

контрольним варіантом. Зокрема, у насінні сої його вміст зростав із 31,58 до 31,74 %, зерні пшениці ярої – з 11,29 до 11,75 %, гречки – з 12,13 до 12,46 %. За цієї системи органічного удобрення також відзначено незначне поліпшення інших показників якості: вміст клітковини в насінні сої становив 6,73 % порівняно з 6,70 % на контролі, а клейковини в зерні пшениці ярої – 25,22 проти 24,94 %. Водночас вплив сидерації на накопичення жиру залежав від біологічних особливостей культури сівозміни. У насінні сої його вміст знижувався з 18,06 до 17,68 %, у зерні пшениці ярої – з 1,90 до 1,87 %, тоді як у зерні гречки, навпаки, зростав із 2,94 до 2,97 %. Отже, поєднання побічної продукції попередника із сидератом сприяло підвищенню білковості зерна, однак не забезпечувало одночасного поліпшення всіх досліджуваних показників його якості.

Застосування біодобрива на фоні побічної продукції попередника по-різному впливало на якість продукції залежно від культури. У насінні сої вміст білка зростав із 31,58 до 31,72 %, клітковини – із 6,70 до 6,76 %, а жиру досягав найвищого значення – 19,04 % проти 18,06 % на контролі. У зерні пшениці ярої вміст білка підвищувався з 11,29 до 11,86 %, клейковини – з 24,94 до 25,70 %, тоді як вміст жиру майже не змінювався. У зерні гречки зафіксовано найвищий вміст білка – 12,61 % та 3,01 % жиру проти 12,13 і 2,94 % відповідно на контролі.

Найбільш комплексний вплив на якість продукції відмічено за поєднання у системі органічного удобрення побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива. У насінні сої за цієї системи відзначено найвищий вміст білка – 32,40 % та клітковини – 6,90 % порівняно з 31,58 і 6,70 % на контролі, тоді як вміст жиру майже не змінювався і становив 18,10 %. У зерні пшениці ярої сформовано найвищі значення показників якості: білка – 11,96 %, клейковини – 25,87 %, жиру – 1,95 %. У зерні гречки вміст білка становив 12,56 %, а жиру досягав максимального значення – 3,02 %. Незважаючи на незначну перевагу варіанта з біодобривом за вмістом білка у зерні гречки, комбінована система забезпечувала найбільш збалансоване поліпшення якісних показників продукції культур сівозміни (див. табл. 6.4).

Коефіцієнти варіації якісних показників залежно від систем удобрення були низькими: насіння сої – 1,15–3,18 %, зерна пшениці ярої – 1,68–2,55 % та гречки – 1,30–1,75 %, що свідчить про незначну мінливість досліджуваних ознак між варіантами органічного удобрення та відносну однорідність одержаних даних.

Соя характеризувалася найвищим серед досліджуваних культур умістом білка та жиру. У середньому за системами удобрення їх уміст у насінні становив відповідно 31,86 і 18,22 %, а клітковини – 6,77 %. Варіювання вмісту білка та клітковини було незначним – 31,58–32,40 і 6,70–6,90 %, тоді як уміст жиру змінювався в ширших межах – 17,68–19,04 %. Найвищі показники вмісту білка і клітковини забезпечувала комбінована система, а жиру – застосування біодобрива.

У середньому за 2023–2025 рр. у зерні пшениці ярої вміст білка становив 11,72 %, клейковини – 25,44 %, жиру – 1,91 %. Залежно від системи удобрення вміст білка змінювався в межах 11,29–11,96 %, клейковини – 24,94–25,87 %, жиру – 1,87–1,95 %. Найвищі значення досліджуваних показників одержано за поєднання побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива, що обумовлено активізацією мінералізації органічної речовини в ґрунті та поліпшенням мінерального живлення рослин, що сприяло інтенсивному синтезу поживних речовин у зерні культур.

У зерні гречки в середньому за 2023–2025 рр. вміст білка становив 12,44 % та 2,99 % жиру, що вище порівняно з відповідними показниками якості зерна пшениці ярої. Залежно від системи удобрення вміст білка змінювався від 12,13 % на контролі до 12,61 % за застосування біодобрива, жиру – від 2,94 до 3,02 %. Застосування біодобрива найбільше сприяло накопиченню білка, тоді як комбінована система забезпечувала відносно високий вміст в зерні гречки білка та максимальний вміст жиру (див. табл. 6.4).

За роками досліджень якісні показники насіння сої та зерна пшениці ярої й гречки формувалися неоднаково, а величина відмінностей залежала від культури та системи удобрення (додаток II).

У 2023 р. середній вміст білка в насінні сої становив 36,50 %, клітковини – 6,67 %, жиру – 17,94 %. Найвищі значення всіх показників одержано за поєднання побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива: відповідно 37,25, 6,80 і 18,25 % проти 36,50, 6,77 і 17,67 % на контролі. Окреме застосування сидерату або біодобрива супроводжувалося незначним зниженням умісту білка й клітковини, проте сприяло підвищенню вмісту жиру до 17,84 і 18,00 %.

Середній вміст білка в зерні пшениці ярої становив 11,67 %, клейковини – 29,87 %, жиру – 1,90 %. Застосування сидерату та біодобрива окремо і сумісно сприяло підвищенню вмісту білка з 11,00 % на контролі до 11,80–11,95 %. Водночас найвищі показники клейковини та жиру одержано за комбінованої системи – відповідно 30,25 і 2,02 %. За окремого застосування сидерату їх уміст знижувався до 29,23 і 1,79 %, а біодобрива – становив 29,98 і 1,85 %. Таким чином, поєднання сидерату з біодобривом створювало найсприятливіші умови для формування білка, клейковини та жиру в зерні пшениці ярої.

Якісні показники зерна гречки у 2023 р. у середньому становили 12,51 % білка та 2,26 % жиру. Усі досліджувані системи удобрення сприяли підвищенню їх умісту порівняно з контролем. Найвищий вміст білка та жиру відмічено за поєднання побічної продукції попередника, сидерату й біодобрива – відповідно 13,00 і 2,32 % проти 12,10 і 2,19 % на контролі. Отже, у 2023 р. комбінована система забезпечувала найвищі якісні показники продукції всіх культур сівозміни.

У 2024 р. відзначено найвищий за період досліджень середній уміст білка в насінні сої – 37,45 % та зерні пшениці ярої – 13,26 %. У сої найвищий вміст білка і клітковини одержано за поєднання побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива – відповідно 38,12 і 6,73 % проти 37,05 і 6,27 % на контролі. Максимальний уміст жиру – 19,56 % забезпечувало окреме застосування біодобрива, тоді як за сидерації та комбінованої системи він становив 17,60 і 18,02 % відповідно. Таким чином, у 2024 р. комбінована система найбільше сприяла формуванню білка й клітковини, а застосування лише

біодобрива на фоні внесення побічної продукції сприяло накопиченню жиру в насінні сої.

Якісні показники зерна пшениці ярої у 2024 р. залежно від систем удобрення не суттєво відрізнялися, що підтверджують низькі коефіцієнти варіації – 0,25–1,09 %. Найвищий уміст білка та клейковини одержано за комбінованої системи – відповідно 13,42 і 24,37 % проти 13,07 і 23,82 % на контролі. Уміст жиру за усіх варіантів удобрення залишався практично незмінним – 1,98–1,99 %.

Якість зерна гречки у 2024 р. характеризувалася вмістом білка на рівні 12,52 % та 3,32 % жиру. Найвищі значення обох показників одержано за застосування біодобрива – відповідно 13,08 і 3,38 % проти 12,12 і 3,26 % на контролі. За комбінованої системи вміст білка становив 12,27 %, а жиру – 3,35 %. Отже, у 2024 р. окреме застосування біодобрива найбільше сприяло формуванню білка та жиру в зерні гречки (додаток П).

У 2025 р. формування якісних показників насіння сої суттєво відрізнялося від попередніх років. Середній уміст білка знизився до 21,64 %, тоді як клітковини зріс до найвищого за період досліджень рівня – 7,13 %, а жиру становив 18,36 %. Усі досліджувані системи удобрення сприяли підвищенню вмісту білка та клітковини порівняно з контролем. Найвищі значення цих показників одержано за комбінованої системи – відповідно 21,84 і 7,17 %, а максимальний уміст жиру – 19,56 % за застосування біодобрива. Отже, у 2025 р. зберігалася закономірність, за якої комбінована система сприяла підвищенню вмісту білка й клітковини, а застосування біодобрива – накопиченню жиру в насінні сої.

Застосування біологізованих систем удобрення забезпечило зростання вмісту білка та клейковини в зерні пшениці ярої порівняно з контролем. Найвищий уміст білка одержано за комбінованої системи – 10,52 %, а клейковини – за застосування біодобрива – 23,15 %. Уміст жиру в удобрених варіантах становив 1,84–1,85 % проти 1,80 % на контролі. Водночас середні показники білка, клейковини та жиру – відповідно 10,23, 22,39 і 1,83 % були

нижчими, ніж у 2024 р., що вказує на істотну залежність якості зерна від умов року (додаток П).

У 2025 р. застосування досліджуваних систем удобрення забезпечило незначне підвищення вмісту білка та жиру в зерні гречки порівняно з контролем. Найвищі значення обох показників одержано за комбінованої системи – відповідно 12,42 і 3,40 %, тоді як у середньому вони становили 12,29 і 3,38 %. Низькі коефіцієнти варіації за вмістом білка (0,89 %) і жиру (0,37 %) свідчать про незначні відмінності між варіантами удобрення.

Порівняння середніх значень за роками засвідчило, що якісні показники насіння сої та зерна пшениці ярої й гречки більшою мірою залежали від умов року, ніж від систем удобрення. У межах окремих років коефіцієнти варіації між варіантами здебільшого не перевищували 5 %, тоді як діапазон зміни середніх річних значень вмісту білка в насінні сої становила 15,81 %, у зерні пшениці ярої – 3,03 %, а клейковини – 7,48 %. Таким чином, співвідношення встановлених відмінностей свідчить про переважний вплив умов року на формування якості продукції.

У насінні сої найвищий середньозважений вміст білка встановлено у 2024 р. – 37,45 %, тоді як у 2025 р. він знизився до 21,64 %. Уміст клітковини змінювався у протилежному напрямі й досягав максимуму у 2025 р. – 7,13 %. Середній уміст жиру у 2024 і 2025 рр. був однаковим – 18,36 %. У зерні пшениці ярої найвищий уміст білка також одержано у 2024 р., тоді як уміст клейковини послідовно знижувався з 29,87 % у 2023 р. до 24,05 % у 2024 р. і 22,39 % у 2025 р. Уміст білка в зерні гречки залишався відносно стабільним, а вміст жиру з роками підвищувався з 2,26 до 3,32–3,38 %.

Встановлено тенденцію до підвищення вмісту білка в зерні пшениці ярої та гречки за застосування всіх додаткових компонентів системи органічного удобрення впродовж років досліджень. У сої щорічну перевагу над контролем за вмістом білка та клітковини забезпечувала лише комбінована система органічного удобрення. За вмістом жиру найкращим було застосування

біодобрива, тоді як за післяжнивного посіву гірчиці білої на сидерат у 2024 і 2025 рр. відмічено зниження його вмісту.

Відмінності якісних показників за роками були виразнішими, ніж між системами удобрення. Це підтверджувалося зниженням умісту білка в насінні сої та зерні пшениці ярої у 2025 р., поступовим зменшенням умісту клейковини впродовж 2023–2025 рр. і підвищенням вмісту жиру в зерні гречки у 2024 та 2025 рр. За сукупністю показників найбільш комплексний вплив забезпечувало поєднання побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива, тоді як окреме застосування біодобрива було ефективнішим для підвищення вмісту жиру в насінні сої та білка в зерні гречки.

Висновки до Розділу 6

1. Визначено, що найповнішу реалізацію морфобіологічного потенціалу сої, пшениці ярої та гречки, у середньому за 2023–2025 рр., забезпечувала комплексна система органічного удобрення. Порівняно з контролем висота рослин зростала на 11,1–17,3 %, кількість продуктивних стебел на 13,7–19,7 %, загальна маса рослин на 30,8–50,8 %, а маса коренів на 31,9–41,0 %. Одночасно кількість непродуктивних стебел зменшувалася на 55,6–71,4 %, що свідчить про посилення продуктивної спрямованості сформованої біомаси. Зернова маса за комплексного удобрення досягала 183,7 г/м² у сої, 376,0 г/м² у пшениці ярій і 170,1 г/м² у гречки, перевищуючи контроль відповідно на 41,4; 46,8 і 45,0 %. Маса 1000 зерен підвищувалася до 187,5; 39,8 і 27,6 г або на 22,9; 15,0 і 12,7 %, що підтверджує істотний позитивний вплив комплексного органічного удобрення на крупність і виповненість зерна;

2. Урожайність усіх культур закономірно зростала зі збільшенням рівня біологізації системи удобрення. У середньому за три роки за комплексного застосування побічної продукції, сидерату та біодобрива урожайність сої становила 1,84 т/га, що на 0,54 т/га або 41,5 % перевищувало контроль. Урожайність пшениці ярої досягала 3,83 т/га за приросту 1,27 т/га або 49,6 %, а гречки – 1,70 т/га, що на 0,53 т/га або 45,3 % більше за контроль;

3. Встановлено, що за комплексної системи удобрення в насінні сої одержано найвищий уміст білка – 32,40 % та клітковини – 6,90 %, що перевищувало контроль відповідно на 0,82 і 0,20 %. Найбільший уміст жиру в сої – 19,04 % або на 0,98 % більше за контроль, сформувався за поєднання побічної продукції з біодобрином. У зерні пшениці ярої комплексне удобрення забезпечило максимальні значення білка – 11,96 %, клейковини – 25,87 % та жиру – 1,95 %, перевищуючи контроль відповідно на 0,67; 0,93 і 0,05 %. У гречки найвищий уміст білка – 12,61 % сформувався за внесення біодобрива, а максимальний уміст жиру – 3,02 % – за комплексної системи. Комплексне удобрення мало найбільш збалансований вплив на якість продукції.

Основні результати досліджень за даним розділом опубліковано в наукових працях [203, 260–263].

РОЗДІЛ 7

ПРОДУКТИВНІСТЬ, ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ КОРОТКОРОТАЦІЙНОЇ СІВОЗМІНИ ЗА ОРГАНІЧНОГО ВИРОЩУВАННЯ КУЛЬТУР

7.1. Продуктивність короткоротаційної сівозміни залежно від систем органічного удобрення

Ефективне управління земельними ресурсами, збереження родючості ґрунтів і забезпечення стабільної продуктивності культур є основою сталого розвитку аграрного виробництва. Реалізація цих завдань потребує впровадження науково обґрунтованих систем землеробства, центральним елементом яких є раціональна сівозміна [3, 264]. Оптимальне розміщення й чергування культур сприяє підвищенню продуктивності, поліпшенню фітосанітарного стану агроценозів, відтворенню родючості ґрунту та зменшенню негативного впливу агровиробництва на довкілля [36–38].

Відтворення родючості чорноземів значною мірою залежить від біологізації технологій, поєднання органічного удобрення, раціональної сівозміни та ґрунтозахисного обробітку. Такі заходи забезпечують стабілізацію гумусного стану, накопичення лабільної органічної речовини, оптимізацію агрофізичних і агрохімічних властивостей ґрунту та підтримання продуктивності культур [265–267].

Використання біодобрих, мікробіологічних препаратів та інокулянтів активізує розкладання рослинних решток і мобілізацію поживних елементів [268]. Поєднання цих засобів із покривними культурами й органічними добривами поліпшує водний і поживний режими ґрунту та підвищує стійкість агроценозів [269]. Інтегральним показником ефективності сівозміни є її сукупна продуктивність, яка визначається комплексною дією попередників, систем удобрення й обробітку ґрунту та заходів захисту рослин [270–273].

Отже, продуктивність сівозміни формується внаслідок комплексної взаємодії біологічних особливостей культур, їх розміщення після відповідних попередників та застосованих технологічних заходів. З огляду на це, подальший аналіз результатів досліджень спрямовано на встановлення впливу різних систем органічного удобрення на урожайність культур і загальну продуктивність короткоротаційної сівозміни.

За результатами досліджень, в середньому за 2023–2025 рр. продуктивність короткоротаційної трипільної сівозміни визначалася видом культури, системою органічного удобрення та агрометеорологічними умовами року. Залежно від варіанта удобрення збір з 1 га ріллі становив 0,82–4,68 т кормових одиниць, 1,64–3,83 т зернових одиниць і 0,13–0,53 т перетравного протеїну. Найвищі збір кормових і зернових одиниць забезпечило вирощування пшениці ярої – відповідно 3,13–4,68 і 2,56–3,83 т/га. Найбільший збір перетравного протеїну забезпечила соя – 0,38–0,53 т/га (табл. 7.1).

Найвищу продуктивність сої встановлено за комплексної системи удобрення. За цього варіанта з 1 га ріллі одержано 2,54 т кормових, 3,31 т зернових одиниць і 0,53 т перетравного протеїну, що перевищувало контроль відповідно на 0,74, 0,97 і 0,15 т/га. Поєднання побічної продукції попередника із сидератом забезпечило збір 2,15 т кормових, 2,80 т зернових одиниць і 0,45 т перетравного протеїну, а з рідким органічним біодобрином «Біо-Гель» – відповідно 2,22, 2,90 і 0,47 т/га.

Залежно від системи удобрення продуктивність пшениці ярої становила 3,13–4,68 т/га кормових та 2,56–3,83 зернових одиниць, 0,21–0,31 т/га перетравного протеїну. Найвищі показники одержано за комплексної системи удобрення, приріст становив відповідно 1,55, 1,27 і 0,10 т/га до контролю. Поєднання побічної продукції та сидерального посіву забезпечило збір 3,85 т/га кормових, 3,16 т/га зернових одиниць і 0,25 т/га перетравного протеїну, а з біодобрином «Біо-Гель» – відповідно 4,11, 3,37 і 0,27 т/га.

Таблиця 7.1

**Продуктивність культур короткоротаційної сівозміни за різних видів
органічного удобрення, середнє за 2023–2025 рр.**

Культура	Система удобрення	Збір з 1 га ріллі, т		
		кормових одиниць	зернових одиниць	перетравного протеїну
Соя	п. п. п.* (контроль)	1,80	2,34	0,38
	п. п. п. + сидерат**	2,15	2,80	0,45
	п. п. п. + біодобриво	2,22	2,90	0,47
	п. п. п. + сидерат + біодобриво***	2,54	3,31	0,53
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		2,18±0,15	2,84±0,20	0,46±0,03
$V, \%$		13,95	13,99	14,06
S		0,30	0,40	0,06
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	3,13	2,56	0,21
	п. п. п. + сидерат	3,85	3,16	0,25
	п. п. п. + біодобриво	4,11	3,37	0,27
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	4,68	3,83	0,31
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		3,94±0,32	3,23±0,26	0,26±0,02
$V, \%$		16,32	16,36	16,01
S		0,64	0,53	0,04
Гречка	п. п. п. (контроль)	0,82	1,64	0,13
	п. п. п. + сидерат	1,01	2,01	0,16
	п. п. п. + біодобриво	1,03	2,06	0,16
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	1,19	2,38	0,19
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		1,01±0,08	2,02±0,15	0,16±0,01
$V, \%$		14,98	14,90	15,52
S		0,15	0,30	0,02
Середнє по сівозміні				
П. п. п. (контроль)		1,91	2,18	0,24
П. п. п. + сидерат		2,34	2,66	0,29
П. п. п. + біодобриво		2,45	2,77	0,30
П. п. п. + сидерат + біодобриво		2,80	3,17	0,34
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		2,38±0,18	2,70±0,20	0,29±0,02
$V, \%$		15,40	15,15	14,88
S		0,37	0,41	0,04

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

У середньому за 2023–2025 рр. найвищу продуктивність гречки одержано за комплексного застосування побічної продукції попередника, сидерального посіву гірчиці білої та біодобрива «Біо-Гель». Збір з 1 га становив 1,19 т кормових, 2,38 т зернових одиниць і 0,19 т перетравного протеїну, що перевищувало контроль відповідно на 0,37, 0,74 і 0,06 т/га.

Продуктивність короткоротаційної трипільної сівозміни залежала від системи органічного удобрення та агрометеорологічних умов. У середньому за роки досліджень з 1 га сівозмінної площі одержано 1,91–2,80 т кормових, 2,18–3,17 т зернових одиниць і 0,24–0,34 т перетравного протеїну. Найвищі показники забезпечила комплексна система удобрення – відповідно 2,80, 3,17 і 0,34 т/га, що на 0,89, 0,99 та 0,10 т/га більше порівняно з контролем (див. табл. 7.1).

Аналіз результатів за роками досліджень засвідчив, що зі зростанням рівня біологізації системи удобрення підвищувався збір кормових і зернових одиниць та перетравного протеїну. Найвищу продуктивність забезпечила комплексна система удобрення, що свідчить про ефективніше використання орних земель в умовах органічного виробництва.

Зокрема, у 2023 р. залежно від варіанта органічного удобрення досліджувані культури трипільної сівозміни забезпечили збір з 1 га ріллі 0,78–3,67 т кормових одиниць, 1,57–3,11 т зернових одиниць і 0,12–0,50 т перетравного протеїну (додаток Р).

Найвищу продуктивність сої одержано за комплексного застосування побічної продукції попередника, сидерату та «Біо-Гелю». Збір з 1 га становив 2,39 т кормових, 3,11 т зернових одиниць і 0,50 т перетравного протеїну, що перевищувало контроль відповідно на 0,47, 0,61 і 0,10 т/га. Поєднання побічної продукції попередника із сидератом забезпечило збір 2,18 т кормових, 2,84 т зернових одиниць і 0,46 т перетравного протеїну, а з рідким органічним добривом «Біо-Гель» – відповідно 2,22, 2,90 і 0,47 т/га.

Продуктивність пшениці ярої залежно від органічного удобрення становила 2,31–3,67 т кормових, 1,89–3,01 т зернових одиниць і 0,15–0,24 т перетравного протеїну з 1 га. Максимальні показники за комплексної системи

перевищували контроль відповідно на 1,36, 1,12 і 0,09 т/га. Застосування побічної продукції попередника із сидератом та «Біо-Гелем» забезпечило 3,17 і 3,18 т кормових, 2,60 і 2,61 т зернових одиниць та по 0,21 т перетравного протеїну з 1 га.

У 2023 р. найвищу продуктивність гречки одержано за комплексного внесення побічної продукції попередника, сидерального посіву гірчиці білої та біодобрива. Збір з 1 га становив 1,12 т кормових, 2,24 т зернових одиниць і 0,18 т перетравного протеїну, що перевищувало контроль відповідно на 0,34, 0,67 і 0,06 т/га.

Залежно від системи органічного удобрення, у 2024 р., культури трипільної сівоzmіни забезпечили з 1 га ріллі 0,78–4,44 т кормових одиниць, 1,57–3,64 т зернових одиниць і 0,12–0,47 т перетравного протеїну (додаток Р).

У 2024 р. продуктивність сої залежно від системи органічного удобрення становила 1,34–2,24 т кормових, 1,75–2,92 т зернових одиниць і 0,28–0,47 т перетравного протеїну з 1 га. Найвищі показники одержано за комплексного внесення побічної продукції попередника, сидерату та «Біо-Гелю», що перевищувало контроль відповідно на 0,90, 1,17 і 0,19 т/га. Поєднання побічної продукції із сидератом забезпечило 1,74; 2,27 і 0,37 т/га, а з «Біо-Гелем» – 1,85; 2,41 і 0,39 т/га відповідно.

Продуктивність пшениці ярої варіювала від 3,48 до 4,44 т кормових, від 2,85 до 3,64 т зернових одиниць і від 0,23 до 0,29 т перетравного протеїну з 1 га. За комплексного удобрення перевищення контролю становило відповідно 0,96, 0,79 і 0,06 т/га. Застосування побічної продукції із сидератом та «Біо-Гелем» забезпечило 4,05 і 4,20 т кормових, 3,32 і 3,44 т зернових одиниць, а також 0,27 і 0,28 т перетравного протеїну.

Найвищу продуктивність гречки також забезпечила комплексна система удобрення – 1,15 т кормових, 2,30 т зернових одиниць і 0,18 т перетравного протеїну з 1 га, що перевищувало контроль на 0,37, 0,73 і 0,06 т/га відповідно. Внесення побічної продукції попередника із сидератом забезпечило 0,95 т кормових, 1,90 т зернових одиниць і 0,15 т перетравного протеїну з 1 га.

У 2025 р. залежно від системи органічного удобрення культури трипільної сівозміни забезпечили з 1 га ріллі 0,90–5,92 т кормових одиниць, 1,79–4,85 т зернових одиниць і 0,14–0,63 т перетравного протеїну (додаток Р).

Продуктивність сої становила 2,13–2,98 т кормових, 2,77–3,89 т зернових одиниць і 0,45–0,63 т перетравного протеїну з 1 га. Найвищі показники одержано за комплексного внесення побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива.

За вирощування пшениці ярої збір становив 3,59–5,92 т кормових, 2,94–4,85 т зернових одиниць і 0,24–0,39 т перетравного протеїну з 1 га, досягаючи максимуму за комплексної системи удобрення. Поєднання побічної продукції із сидератом та рідким органічним добривом забезпечило відповідно 4,33 і 4,95 т кормових одиниць та 0,28 і 0,32 т перетравного протеїну.

Найвищу продуктивність посівів гречки також установлено за комплексного удобрення: 1,30 т кормових, 2,60 т зернових одиниць і 0,20 т перетравного протеїну з 1 га. За внесення побічної продукції попередника із сидератом одержано 1,07 т кормових одиниць і 0,17 т перетравного протеїну.

Коефіцієнти варіації в середньому за 2023–2025 рр. становили для сої 13,95–14,06 %, пшениці ярої – 16,01–16,36 %, гречки – 14,90–15,52 %, а в середньому по сівозміні – 14,88–15,40 %. Такий рівень варіації є середнім і відображає закономірну диференціацію продуктивності залежно від системи удобрення. Найбільшу варіабельність у 2024 р. мала соя – 20,58–20,68 %, а у 2025 р. пшениця яра – 20,80–21,01 %, що підтверджує найсильнішу реакцію цих культур на досліджувані системи удобрення у відповідні роки.

Таким чином, у середньому за 2023–2025 рр. установлено стійку закономірність підвищення продуктивності культур зі збільшенням рівня біологізації системи удобрення. Комплексне поєднання побічної продукції попередника, сидеральної маси гірчиці білої та біодобрива «Біо-Гель» забезпечувало максимальний збір кормових і зернових одиниць та перетравного протеїну в усіх культурах і в усі роки досліджень. У середньому по сівозміні його перевага над контролем становила 41,7–46,6 %.

7.2. Економічна ефективність вирощування культур у короткоротаційній органічній сівозміні

Економічна ефективність сівозмін із різною тривалістю ротації формується під впливом комплексу взаємопов'язаних організаційно-технологічних чинників, серед яких визначальне значення мають видовий склад культур, рівень насичення ними сівозміни, послідовність чергування, системи удобрення та обробітку ґрунту, а також ступінь механізації виробничих процесів. Об'єктивне оцінювання таких сівозмін можливе лише на основі зіставлення структури, обсягів і вартості одержаної продукції в розрахунку на одиницю земельної площі. Підвищення їхньої загальної результативності досягається насамперед шляхом раціонального насичення найбільш продуктивними та економічно конкурентоспроможними культурами за дотримання науково обґрунтованих параметрів їх розміщення і чергування [274, 275].

Економічну ефективність функціонування сівозмін визначали розрахунково-нормативним методом на основі розроблених для кожної досліджуваної культури технологічних карт. Під час розрахунків ураховували сукупність прямих виробничих витрат, зокрема витрати на обробіток ґрунту, виконання технологічних операцій та оплату праці, вартість насіннєвого матеріалу, органічних добрив і біологічних препаратів, паливно-мастильних матеріалів, а також вартість одержаної основної й побічної продукції.

Розрахунки проведено за закупівельними цінами на сільськогосподарську продукцію (органічне виробництво зерна), що склалися у 2025 році (станом на 01.11. 2025 року: для гречки – 45,0 тис. грн/т, сої – 30,0, пшениці ярої – 15,0 тис. грн/т).

Результати розрахунків у середньому за 2023–2025 рр. засвідчили, що економічна ефективність вирощування культур короткоротаційної сівозміни визначалася не лише величиною одержаної продукції, а й співвідношенням між додатковими виробничими витратами та вартісним ефектом від застосування відповідної системи органічного удобрення. Простежувалася загальна

закономірність: комплексне застосування побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива забезпечувало максимальну вартість валової продукції й найбільший умовно чистий прибуток, тоді як найнижчу собівартість і найвищий рівень рентабельності переважно формувало поєднання побічної продукції з біодобривом.

На контрольному варіанті виробничі витрати на вирощування сої становили 16340 грн/га, вартість валової продукції – 39000 грн/га, умовно чистий прибуток – 22660 грн/га, собівартість насіння – 12569 грн/т, а рівень рентабельності – 139 %. Доповнення побічної продукції попередника сидератом підвищувало витрати до 20937 грн/га або на 28,1 %, тоді як вартість продукції зростала лише на 20,0 %, а умовно чистий прибуток – на 14,1 %. Унаслідок збільшення витрат собівартість насіння підвищилася до 13421 грн/т або на 6,8 %, а рівень рентабельності знизився до 124 %. Отже, застосування сидерату забезпечувало приріст продуктивності та прибутку, проте додаткові витрати не повністю компенсувалися вартісним ефектом (табл. 7.2).

Найкраще співвідношення витрат і собівартості сформувалося за поєднання побічної продукції з біодобривом. Виробничі витрати зросли порівняно з контролем лише на 8,9 %, тоді як вартість валової продукції – на 23,8 %, а умовно чистий прибуток – на 34,6 %, тобто до 30503 грн/га. Собівартість насіння зменшилася до 11054 грн/т або на 12,1 %, а рентабельність підвищилася до максимальних для сої 171 %.

Комплексна система забезпечила найвищу вартість валової продукції – 55200 грн/га та максимальний умовно чистий прибуток – 32819 грн/га, що відповідно на 41,5 і 44,8 % перевищувало контроль. Водночас виробничі витрати збільшилися на 37,0 %, унаслідок чого рентабельність становила 147 %, тобто була на 24 % нижчою, ніж за застосування біодобрива без сидерату.

Для пшениці ярої на контролі виробничі витрати становили 17278 грн/га, вартість валової продукції – 38400 грн/га, умовно чистий прибуток – 21122 грн/га, собівартість зерна – 6749 грн/т, а рентабельність – 122 %.

Таблиця 7.2

**Показники економічної ефективності культур короткоротаційної
сівозміни за різних систем органічного удобрення**

Система удобрення	Виробничі витрати, грн/га	Вартість валової продукції, грн/га	Умовно чистий прибуток, грн/га	Собівартість зерна, грн/т	Рівень рентабе- льності, %
Соя					
П. п. п. * (контроль)	16340	39000	22660	12569	139
П. п. п. + сидерат**	20937	46800	25863	13421	124
П. п. п. + біодобриво	17797	48300	30503	11054	171
П. п. п. + сидерат + біодобриво***	22381	55200	32819	12164	147
Пшениця яра					
П. п. п. (контроль)	17278	38400	21122	6749	122
П. п. п. + сидерат	22312	47400	25088	7061	112
П. п. п. + біодобриво	19767	50550	30783	5866	156
П. п. п. + сидерат + біодобриво	25032	57450	32418	6536	130
Гречка					
П. п. п. (контроль)	14433	52650	38217	12336	265
П. п. п. + сидерат	19060	64800	45740	13236	240
П. п. п. + біодобриво	15936	66150	50214	10841	315
П. п. п. + сидерат + біодобриво	20609	76500	55891	12123	271
В середньому по сівозміні					
П. п. п. (контроль)	16017	43350	27333	10551	175
П. п. п. + сидерат	20770	53000	32230	11239	159
П. п. п. + біодобриво	17833	55000	37167	9253	214
П. п. п. + сидерат + біодобриво	22674	63050	40376	10274	182

*П. п. п. * – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Система із сидератом збільшувала витрати на 29,1 %, тоді як вартість продукції підвищувалася на 23,4 %, а прибуток – на 18,8 %. У результаті

собівартість зерна зростала до 7061 грн/т, а рівень рентабельності зменшувався до 112 %, що було найнижчим показником серед досліджуваних систем вирощування пшениці ярої. Застосування побічної продукції з біодобривом забезпечило підвищення вартості валової продукції до 50550 грн/га, умовно чистого прибутку – до 30783 грн/га або відповідно на 31,6 і 45,7 % порівняно з контролем. Собівартість зерна зменшилася до 5866 грн/т або на 13,1 %, а рентабельність зросла до максимальних 156 %.

Комплексне удобрення забезпечувало найбільшу вартість продукції – 57450 грн/га та умовно чистий прибуток – 32418 грн/га. Порівняно з контролем їх приріст становив відповідно 49,6 і 53,5 %. Проте виробничі витрати досягали 25032 грн/га або були на 44,9 % більшими за контрольні. Унаслідок цього рентабельність становила 130 %, поступаючись системі з біодобривом на 26 %. Важливо, що порівняно з варіантом застосування біодобрива комплексна система збільшувала прибуток лише на 1635 грн/га, тоді як додаткові витрати зростали на 5265 грн/га (див. табл. 7.2).

Гречка характеризувалася найвищою економічною віддачею серед культур сівозміни. Навіть на контрольному варіанті за виробничих витрат 14433 грн/га вартість валової продукції становила 52650 грн/га, умовно чистий прибуток – 38217 грн/га, а рентабельність – 265 %.

За використання сидерату виробничі витрати збільшувалися на 32,1 %, вартість продукції – на 23,1 %, а умовно чистий прибуток – на 19,7 %. Собівартість зерна зростала до 13236 грн/т, а рентабельність знижувалася до 240 %. Отже, як і в інших культур, сидеральний варіант забезпечував позитивний абсолютний економічний результат, але поступався іншим системам за ефективністю використання вкладених коштів.

Поєднання побічної продукції з біодобривом забезпечувало найнижчу собівартість зерна – 10841 грн/т та найвищий рівень рентабельності – 315 %. За збільшення витрат лише на 10,4 % вартість валової продукції підвищувалася на 25,6 %, а умовно чистий прибуток – на 31,4 %, відповідно до 50214 грн/га.

За комплексної системи удобрення одержано максимальну вартість валової продукції – 76500 грн/га та найбільший умовно чистий прибуток – 55891 грн/га. Ці показники перевищували контроль відповідно на 45,3 і 46,2 %. Однак через збільшення виробничих витрат до 20609 грн/га рентабельність становила 271 %, що було на 44 % менше, ніж на варіанті з застосування біодобрива.

У середньому по короткоротаційній сівозміні на контрольному варіанті виробничі витрати становили 16017 грн/га, вартість валової продукції – 43350 грн/га, умовно чистий прибуток – 27333 грн/га, собівартість продукції – 10551 грн/т, а рівень рентабельності – 175 %.

Застосування побічної продукції із сидератом збільшувало виробничі витрати до 20770 грн/га або на 29,7 %, тоді як вартість валової продукції зростала на 22,3 %, а прибуток – лише на 17,9 %. Собівартість продукції підвищувалася на 6,5 %, до 11239 грн/т, а рентабельність знижувалася до 159 %.

Найбільш економічно ефективною в середньому по сівозміні була система, яка поєднувала побічну продукцію попередника з біодобривом. За виробничих витрат 17833 грн/га, що лише на 11,3 % перевищували контроль, вартість валової продукції досягала 55000 грн/га, а умовно чистий прибуток – 37167 грн/га. Порівняно з контролем вони збільшувалися відповідно на 26,9 і 36,0 %. Собівартість продукції знижувалася до мінімальних 9253 грн/т або на 12,3 %, а рентабельність підвищувалася до максимальних 214 %.

Комплексна система органічного удобрення забезпечувала найвищі абсолютні економічні результати: вартість валової продукції становила 63050 грн/га, а умовно чистий прибуток – 40376 грн/га, що на 45,4 і 47,7 % перевищувало контроль. Водночас виробничі витрати збільшувалися на 41,6 %, до 22674 грн/га. Унаслідок цього рівень рентабельності становив 182 %, а собівартість продукції – 10274 грн/т. Порівняно із системою застосування біодобрива комплексний варіант забезпечував додатково 8050 грн/га вартості продукції та 3209 грн/га прибутку, однак потребував збільшення витрат на 4841 грн/га, супроводжувався підвищенням собівартості на 1021 грн/т і зниженням рентабельності на 32 % (див. табл. 7.2).

7.3. Енергетична ефективність короткоротаційної органічної сівозміни

Біоенергетичне оцінювання технологій вирощування зернових культур в органічних короткоротаційних сівозмінах за різних систем удобрення є важливою складовою визначення ефективності агротехнологій, особливо в контексті сучасних тенденцій енергоощадності та раціонального використання виробничих ресурсів. Результати такого аналізу дають змогу встановити співвідношення між сукупними енергетичними витратами та енергією, акумульованою в одержаній основній і побічній продукції. Величина надходження енергії у досліджуваних варіантах безпосередньо залежить від біологічних особливостей культур сівозміни, рівня сформованої ними продуктивності та застосованої системи органічного удобрення.

Результати біоенергетичної оцінки засвідчили, що енергетична ефективність вирощування культур короткоротаційної сівозміни визначалася їхніми біологічними особливостями, рівнем сформованої продуктивності та енергоємністю застосованої системи органічного удобрення. Загальною для всіх культур була закономірність, за якої додаткові витрати енергії на використання сидерату й біодобрива компенсувалися збільшенням енергії, акумульованої в урожаї. Найвищі значення енергомісткості продукції та коефіцієнта енергетичної ефективності забезпечувало комплексне поєднання побічної продукції попередника, сидерату гірчиці білої та біодобрива «Біо-Гель».

У посівах сої на контрольному варіанті енергомісткість урожаю становила 23532 МДж/га за сумарних енерговитрат 10653 МДж/га, унаслідок чого коефіцієнт енергетичної ефективності дорівнював 2,21. Доповнення побічної продукції попередника сидератом підвищувало вихід енергії до 28238 МДж/га або на 20,0 %, тоді як енерговитрати збільшувалися лише на 3,8 %, тобто до 11054 МДж/га. Це сприяло зростанню K_{ee} до 2,55 (табл. 7.3).

Таблиця 7.3

**Показники енергетичної ефективності культур короткоротаційної
сівозміни за різних систем органічного удобрення**

Система удобрення	Енергомiсткiсть врожаю, МДж/га	Сумарнi енерговитрати, МДж/га	K _{ee}
Соя			
П. п. п.* (контроль)	23532	10653	2,21
П. п. п. + сидерат**	28238	11054	2,55
П. п. п. + бiодобриво***	29144	12055	2,42
П. п. п. + сидерат + бiодобриво	33307	12656	2,63
Пшениця яра			
П. п. п. (контроль)	42117	11011	3,82
П. п. п. + сидерат	51988	11856	4,38
П. п. п. + бiодобриво	55443	12132	4,57
П. п. п. + сидерат + бiодобриво	63010	12553	5,02
Гречка			
П. п. п. (контроль)	19500	9279	2,10
П. п. п. + сидерат	24000	9879	2,43
П. п. п. + бiодобриво	24500	10222	2,40
П. п. п. + сидерат + бiодобриво	28334	10915	2,60
В середньому по сiвозмiнi			
П. п. п. (контроль)	28383	10314	2,71
П. п. п. + сидерат	34742	10930	3,12
П. п. п. + бiодобриво	36362	11470	3,13
П. п. п. + сидерат + бiодобриво	41550	12041	3,42

П. п. п. – побiчна продукцiя попередника, сидерат** – гiрчиця бiла, бiодобриво*** – «Бiо-Гель»*

Застосування побiчної продукцiї з бiодобривом забезпечувало дещо вищу енергомiсткiсть урожаю сої – 29144 МДж/га, що на 23,8 % перевищувало контроль. Водночас сумарнi енерговитрати зростали на 13,2 %, а коефiцiєнт енергетичної ефективності становив 2,42. Отже, попри бiльший вихiд енергiї, цей варiант поступався сидеральнiй системi за окупнiстю енергетичних витрат, що пояснюється вищою енергоємнiстю застосування бiодобрива.

Максимальну енергетичну ефективність вирощування сої забезпечувала комплексна система удобрення. За цього варіанта енергомiсткiсть урожаю досягала 33307 МДж/га, перевищуючи контроль на 9775 МДж/га або 41,5 %, тодi як енерговитрати збiльшувалися лише на 2003 МДж/га або 18,8 %. Коефiцiєнт енергетичної ефективностi пiдвищувався до 2,63, що на 19,0 % перевищувало контроль. Розрахунковий чистий енергетичний ефект, визначений як рiзниця мiж енергомiсткiстю врожаю та витратами енергiї, збiльшувався з 12879 до 20651 МДж/га або на 60,3 %.

Найвищими показниками енергетичної ефективностi серед дослiджуваних культур характеризувалася пшениця яра. На контрольному варiантi енергомiсткiсть її урожаю становила 42117 МДж/га, сумарнi енерговитрати – 11011 МДж/га, а коефiцiєнт енергетичної ефективностi – 3,82. Застосування сидерату на фонi побiчної продукцiї пiдвищувало вихiд енергiї до 51988 МДж/га або на 23,4 % за збiльшення витрат лише на 7,7 %. Унаслiдок цього коефiцiєнт енергетичної ефективностi зростає до 4,38.

Поєднання побiчної продукцiї з бiодобрином було ефективнiшим: енергомiсткiсть урожаю пшеницi ярої досягала 55443 МДж/га, перевищуючи контроль на 31,6 %, тодi як енерговитрати збiльшувалися на 10,2 %. Коефiцiєнт енергетичної ефективностi становив 4,57, що на 19,6 % було вище контрольного показника (табл. 7.3).

Найбiльший бiоенергетичний ефект у пшеницi ярої одержано за комплексного органiчного удобрення. Енергомiсткiсть урожаю становила 63010 МДж/га, що на 20893 МДж/га або 49,6 % перевищувало контроль. При цьому сумарнi енерговитрати зростали лише на 1542 МДж/га або 14,0 %. Коефiцiєнт енергетичної ефективностi досягав максимального в дослiдi значення – 5,02, тобто кожна одиниця витраченої енергiї забезпечувала одержання понад п'яти одиниць енергiї врожаю. Чистий енергетичний ефект пiдвищувався з 31106 до 50457 МДж/га або на 62,2 %. Отже, пшениця яра найбiльш ефективно трансформувала додатковi енергетичнi витрати на удобрення в енергiю рослинницької продукцiї.

Для гречки на контрольному варіанті енергомiсткiсть урожаю становила 19500 МДж/га, сумарнi енерговитрати – 9279 МДж/га, а коефiцiєнт енергетичної ефективностi – 2,10. Використання сидерату збiльшувало вихiд енергiї до 24000 МДж/га або на 23,1 % за пiдвищення витрат на 6,5 %. Коефiцiєнт енергетичної ефективностi зростав до 2,43.

За внесення бiодобрива енергомiсткiсть урожаю гречки була дещо вищою – 24500 МДж/га, однак через збiльшення сумарних енерговитрат до 10222 МДж/га коефiцiєнт енергетичної ефективностi становив 2,40. Це на 0,03 менше, нiж за сидеральної системи, що повторює встановлену для сої закономірнiсть: незначне збiльшення виходу енергiї не завжди супроводжується пропорційним пiдвищенням її окупностi.

Комплексна система органiчного удобрення забезпечила пiдвищення енергомiсткостi урожаю гречки до 28334 МДж/га або на 45,3 % порiвняно з контролем. Енерговитрати при цьому зросли на 17,6 %, а коефiцiєнт енергетичної ефективностi – з 2,10 до 2,60 або на 23,8 %. Чистий енергетичний ефект становив 17419 МДж/га проти 10221 МДж/га на контролi, тобто збiльшувався на 70,4 %. Вiдносний прирiст цього показника у гречки був найбільшим серед культур, хоча за абсолютною величиною енергетичного виходу вона поступалася сої та особливо пшеницi ярiй (див. табл. 7.3).

У середньому по короткоротацiйнiй сiвозмiнi на контрольному варіанті енергомiсткiсть урожаю становила 28383 МДж/га, сумарнi енерговитрати – 10314 МДж/га, а коефiцiєнт енергетичної ефективностi – 2,71. Використання сидерату збiльшувало енергетичний вихiд до 34742 МДж/га або на 22,4 %, тодi як витрати зростали лише на 6,0 %. Коефiцiєнт енергетичної ефективностi пiдвищувався до 3,12.

За поєднання побiчної продукцiї з бiодобривом енергомiсткiсть урожаю становила 36362 МДж/га, що на 28,1 % перевищувало контроль. Сумарнi енерговитрати збiльшувалися на 11,2 %, а коефiцiєнт енергетичної ефективностi досягав 3,13. Майже однаковi значення коефiцiєнта за сидеральної системи та застосування бiодобрива – вiдповiдно 3,12 i 3,13 – свiдчать про близьку

енергетичну окупність цих технологічних варіантів. Водночас біодобриво забезпечувало більший абсолютний вихід і чистий приріст енергії.

Максимальні показники в середньому по сівозміні сформувалися за комплексної системи органічного удобрення. Енергомісткість урожаю становила 41550 МДж/га, що на 13167 МДж/га або 46,4 % перевищувало контроль. За одночасного збільшення сумарних енерговитрат лише на 1727 МДж/га або 16,7 % коефіцієнт енергетичної ефективності зростає із 2,71 до 3,42 або на 26,2 %. Чистий енергетичний ефект підвищувався з 18069 до 29509 МДж/га, тобто на 11440 МДж/га або 63,3 % (див. табл. 7.3).

Таким чином, темпи збільшення енергомісткості врожаю в усіх удобрених варіантах істотно перевищували темпи зростання сукупних енергетичних витрат. У середньому по сівозміні за сидеральної системи відповідні прирости становили 22,4 і 6,0 %, за використання біодобрива – 28,1 і 11,2 %, а за комплексного удобрення – 46,4 і 16,7 %. Це підтверджує енергетичну доцільність посилення біологізації системи удобрення.

Висновки до Розділу 7

1. Установлено стійку закономірність підвищення продуктивності культур зі зростанням рівня біологізації системи удобрення. Найвищу продуктивність, у середньому за 2023–2025 рр., забезпечило комплексне поєднання побічної продукції попередника, сидерату та біодобрива. У середньому по сівозміні за цієї системи одержано 2,80 т/га кормових, 3,17 т/га зернових одиниць і 0,34 т/га перетравного протеїну, що перевищувало контроль відповідно на 0,89; 0,99 і 0,10 т/га або на 46,6; 45,4 і 41,7 %. Найбільший збір кормових і зернових одиниць забезпечувала пшениця яра – 4,68 і 3,83 т/га, тоді як соя сформувала максимальний вихід перетравного протеїну – 0,53 т/га. За роками найвищу загальну продуктивність культур сформовано у 2025 р., проте перевага комплексної системи зберігалася впродовж усього періоду досліджень;

2. Максимальні абсолютні економічні показники в середньому по сівозміні одержано за комплексної системи органічного удобрення: вартість

валової продукції становила 63050 грн/га, умовно чистий прибуток – 40376 грн/га, що було відповідно на 45,4 і 47,7 % більше, ніж на контролі. Водночас виробничі витрати зростали до 22674 грн/га або на 41,6 %, унаслідок чого рівень рентабельності становив 182 %. Найкраще співвідношення між витратами та економічною віддачею забезпечувало поєднання побічної продукції попередника з біодобривом: собівартість продукції знижувалася до 9253 грн/т, умовно чистий прибуток досягав 37167 грн/га, а рентабельність – 214 %. Серед культур найвищу економічну віддачу забезпечувала гречка: за застосування побічної продукції з біодобривом рівень рентабельності становив 315 %, а за комплексного удобрення умовно чистий прибуток досягав 55891 грн/га;

3. Біоенергетична оцінка підтвердила, що темпи збільшення енергії, акумульованої в урожаї, випереджали зростання сукупних енерговитрат. У середньому по сівозміні за комплексного органічного удобрення енергомісткість урожаю становила 41550 МДж/га, що на 13167 МДж/га або 46,4 % перевищувало контроль, тоді як сумарні енерговитрати збільшувалися лише на 1727 МДж/га або 16,7 % до 12041 МДж/га. Коефіцієнт енергетичної ефективності зростав із 2,71 до 3,42 або на 26,2 %, а чистий енергетичний ефект – із 18069 до 29509 МДж/га, тобто на 63,3 %. Найефективніше трансформувала технологічні витрати в енергію продукції пшениця яра: за комплексної системи енергомісткість її врожаю досягала 63010 МДж/га, чистий енергетичний ефект – 50457 МДж/га, а коефіцієнт енергетичної ефективності – 5,02, що є максимальним значенням.

Основні результати досліджень за даним розділом опубліковано в наукових працях [203, 260–263].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі проведених комплексних досліджень науково обґрунтовано й експериментально встановлено закономірності формування агробіологічної, продуктивної, економічної та енергетичної ефективності короткоротаційної сівозміни соя – пшениця яра – гречка за різних видів удобрення біологічного спрямування (побічна продукція попередників, післяукісного сидерату гірчиці білої, рідкого біодобрива та їх комплекси) на чорноземі типовому малогумусному за органічного землеробства в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України. За результатами досліджень 2023–2025 рр., на основі аналізу та узагальнення результатів, сформульовано такі висновки:

1. Визначено, що на початку вегетації культур запаси продуктивної вологи становили 29,7–41,9 мм у шарі ґрунту 0–20 см, 69,4–79,8 мм – у шарі 0–50 см і 135,7–167,4 мм – у метровому горизонті, що було достатнім для одержання дружних сходів. Найвищі початкові вологозапаси переважно формувалися на варіанті із внесенням побічної продукції попередника, тоді як на час збирання комплексна система удобрення забезпечувала найбільші залишкові запаси вологи в шарі 0–100 см – 46,4–60,7 мм або на 13–25 % більше порівняно з контролем. Загальні витрати вологи залежали від біологічних особливостей культур і становили 307,6–329,1 мм у сої, 314,9–331,3 мм у пшениці ярої та 325,3–343,5 мм у гречки. Це засвідчує, що комплексне надходження органічної речовини сприяло поліпшенню водоутримувальної здатності чорнозему та більш раціональному використанню вологи посівами;

2. Найвищу водопродуктивність усіх культур забезпечувало комплексне застосування побічної продукції попередника, сидерату гірчиці білої та біодобрива «Біо-Гель». Витрати вологи на формування 1 т абсолютно сухої речовини за цієї системи зменшувалися до 643,5 м³/т у сої, 375,4 м³/т у пшениці ярої та 708,7 м³/т у гречки, що відповідно на 33,9; 36,2 і 34,8 % менше порівняно з контролем. У середньому по сівозміні показник знижувався з 883,1 до 575,9

м³/т, підтверджуючи, що приріст сухої речовини за комплексного удобрення випереджав зміни загального водоспоживання;

3. Визначено, що на час сівби культур у шарі ґрунту 0–20 см середній уміст нітратного азоту становив 40,2–51,2 мг/кг і був максимальним за комплексної системи удобрення, перевищуючи контроль на 10,9 мг/кг або 27 %. Наприкінці вегетації його вміст закономірно зменшувався в середньому до 25,2 мг/кг у шарі ґрунту 0–20 см, 16,2 мг/кг – у 20–40 см та 11,8 мг/кг – у 40–60 см, що відображає активне споживання азоту культурами. Забезпеченість рухомим фосфором залишалася високою: на час збирання його середній уміст становив 288,1 мг/кг у шарі 0–20 см і 259,4 мг/кг у 20–40 см горизонті, досягаючи найбільшого вмісту під гречкою 308,3 мг/кг. Уміст сполук рухомого калію на початку вегетації становив 223,8–274,2 та 128,8–162,9 мг/кг, а наприкінці – відповідно 201,9 і 128,2 мг/кг. Зниження залишкового вмісту фосфору й калію за біологізованих систем було пов'язане насамперед з інтенсивнішим залученням цих елементів у продукційний процес, а не з погіршенням забезпеченості ґрунту;

4. Встановлено, що за комплексної системи удобрення урожайність побічної продукції становила 2,94 т/га у сої, 4,60 т/га у пшениці ярої та 2,89 т/га у гречки, перевищуючи контроль відповідно на 0,86 т/га або 41,3 %, 1,53 т/га або 49,8 %, 0,90 т/га або 45,2 %. Найбільший вихід сидеральної маси гірчиці білої одержано після пшениці ярої – 11,59 т/га без біодобрива та 12,27 т/га за його внесення. Після сої відповідні показники становили 5,97 і 6,33 т/га, після гречки – 6,12 і 6,53 т/га. Біодобриво підвищувало урожайність сидеральної маси на 0,36–0,68 т/га або 5,9–6,7 %, а перевага пшениці ярої як попередника зумовлювалася раннім звільненням поля та тривалішим періодом розвитку післяжнивної гірчиці;

5. З'ясовано, що комплексна система удобрення забезпечувала найсприятливіший гумусний стан чорнозему типового: у середньому за 2023–2025 рр. уміст гумусу підвищувався до 3,25 % у шарі 0–20 см та 2,78 % у шарі ґрунту 20–40 см, що на 0,13 % більше порівняно з контролем. Запаси гумусу досягали відповідно 78,3 і 69,1 т/га, збільшуючись на 3,1 т/га або 4,1–4,7 %.

Найвищі середні показники сформувалися під пшеницею ярою – 3,24 і 2,80 % або 77,66 і 69,96 т/га, що свідчить про вагому роль її корневих і післяжнивних решток у відтворенні органічної речовини ґрунту;

6. Інтенсивність розкладання лляної тканини закономірно підвищувалася зі збільшенням надходження органічної речовини. У середньому по сівозміні комплексна система забезпечила целюлозоруйнівну активність на рівні 23,6 %, що на 4,7 %, або майже 25 %, перевищувало контроль. Найвищою біологічною активністю характеризувався ґрунт під соєю – 23,6 %, тоді як найбільша реакція на удобрення проявилася під пшеницею ярою, де розкладання лляного полотна збільшувалося на 6,6 %, або 37,9 %. Максимальний середньорічний рівень активності ґрунтової мікробіоти – 22,9 % сформувався у 2023 р.;

7. Визначено, що вміст лужногідролізного азоту залежав від культури, глибини шару та системи удобрення і змінювався в межах 111,8–135,7 мг/кг у шарі ґрунту 0–20 см та 88,1–104,7 мг/кг у 20–40 см горизонті. Максимальні значення встановлено під гречкою за комплексного удобрення – відповідно 135,7 і 104,7 мг/кг, що на 2–6 % перевищувало інші органічні системи. Найнижчі середні показники відзначено під пшеницею ярою – 119,8 і 95,1 мг/кг. Реакція ґрунтового розчину залишалася слабокислою або близькою до нейтральної: рН становив 6,0–6,2 у шарі 0–20 см і 5,7–6,0 у шарі ґрунту 20–40 см, що підтверджує високу буферність чорнозему та відсутність істотного підкислення за досліджуваних систем удобрення;

8. З'ясовано, що органічні системи удобрення підтримували сприятливий мікроелементний режим ґрунту: вміст рухомої міді становив 0,11–0,15 мг/кг, цинку – 0,39–0,69 мг/кг, марганцю – 6,12–11,50 мг/кг, заліза – 1,47–2,09 мг/кг. Найвищу забезпеченість цинком і марганцем сформувала комплексна система удобрення. Концентрації свинцю перебували в межах 0,77–1,04 мг/кг, нікелю – 0,55–0,82 мг/кг, кадмію – 0,11–0,13 мг/кг, не перевищуючи відповідно 17; 21 і 19 % допустимих рівнів. Отже, застосування побічної продукції, сидерату

та біодобрива не спричиняло накопичення важких металів і було екологічно безпечним для чорнозему типового;

9. Визначено, що найбільша чисельність бур'янів у фазі повних сходів була на контролі – 201 шт./м² у сої, 196 шт./м² у пшениці ярій та 114 шт./м² у гречки. Комплексне удобрення знижувало її відповідно до 106; 103 і 60 шт./м², або на 47,3–47,4 %. Перед збиранням урожаю кількість бур'янів за цієї системи становила лише 61 шт./м² у сої, 38 шт./м² у пшениці ярій та 18 шт./м² у гречки, що на 48,3; 50,6 і 59,1 % менше контролю. Суха маса сегетальної рослинності зменшувалася відповідно на 50,4; 53,7 і 56,3 %. Найвищу фітоценотичну конкурентоспроможність виявляла гречка, що підтверджується найнижчими чисельністю та масою бур'янів у її посівах;

10. Встановлено, що комплексне удобрення забезпечувало найбільш повну реалізацію морфобіологічного потенціалу культур: порівняно з контролем висота рослин збільшувалася на 11,1–17,3 %, кількість продуктивних стебел – на 13,7–19,7 %, загальна маса рослин – на 30,8–50,8 %, маса коренів – на 31,9–41,0 %, а кількість непродуктивних стебел зменшувалася на 55,6–71,4 %. Зернова маса досягала 183,7 г/м² у сої, 376,0 г/м² у пшениці ярій і 170,1 г/м² у гречки, перевищуючи контроль на 41,4; 46,8 і 45,0 %. Маса 1000 зерен підвищувалася відповідно до 187,5; 39,8 і 27,6 г або на 22,9; 15,0 і 12,7 %, що свідчить про поліпшення крупності та виповненості зерна;

11. Установлено, що максимальну врожайність усіх культур, у середньому за 2023–2025 рр., сформовано за комплексного поєднання побічної продукції попередника, сидерату й біодобрива. Урожайність сої становила 1,84 т/га, що на 0,54 т/га або 41,5 % перевищувало контроль, пшениці ярої – 3,83 т/га за приросту 1,27 т/га або 49,6 %, гречки – 1,70 т/га або на 0,53 т/га та 45,3 % більше. Найбільшу абсолютну продуктивність і реакцію на удобрення виявляла пшениця яра, тоді як відносний ефект комплексної системи у гречки був найбільш стабільним за роками – 42,9–46,4 %;

12. За комплексного удобрення в насінні сої вміст білка підвищувався до 32,40 %, клітковини – до 6,90 %, що відповідно на 0,82 і 0,20 % перевищувало

контроль. Максимальний уміст жиру в сої – 19,04 % забезпечувало поєднання побічної продукції з біодобривом. У зерні пшениці ярої комплексна система підвищувала вміст білка до 11,96 %, клейковини – до 25,87 %, жиру – до 1,95 %, перевищуючи контроль на 0,67; 0,93 і 0,05 % відповідно. У гречки найвищий уміст білка – 12,61 % сформувався за внесення біодобрива, а максимальний уміст жиру – 3,02 % – за комплексного удобрення. Це свідчить про культурно специфічну дію систем удобрення та найбільш збалансоване поліпшення якості продукції за їх комплексного застосування;

13. Установлено пряму залежність між рівнем біологізації удобрення та виходом кормових і зернових одиниць та перетравного протеїну. За комплексної системи в середньому з 1 га сівозмінної площі одержано 2,80 т кормових одиниць, 3,17 т зернових одиниць і 0,34 т перетравного протеїну, що на 0,89; 0,99 і 0,10 т/га або на 46,6; 45,4 і 41,7 % перевищувало контроль. Пшениця яра забезпечувала найбільший збір кормових і зернових одиниць – 4,68 і 3,83 т/га, тоді як соя формувала найвищий вихід перетравного протеїну – 0,53 т/га. Отже, пшениця яра визначала переважно енергетичну, а соя – білкову повноцінність сівозміни;

14. Визначено, що найвищі абсолютні економічні результати в середньому по сівозміні забезпечувала комплексна система удобрення: вартість валової продукції становила 63050 грн/га, умовно чистий прибуток – 40376 грн/га, що відповідно на 45,4 і 47,7 % перевищувало контроль. За виробничих витрат 22674 грн/га рівень рентабельності становив 182 %. Водночас найкраще співвідношення витрат та економічної віддачі формувалося за поєднання побічної продукції з біодобривом: собівартість продукції знижувалася до 9253 грн/т, умовно чистий прибуток становив 37167 грн/га, а рентабельність досягала 214 %. Найвищу економічну віддачу серед культур забезпечувала гречка – до 315 % рентабельності, тоді як комплексне удобрення сформувало максимальний умовно чистий прибуток – 55891 грн/га;

15. За комплексної системи удобрення енергомісткість урожаю в середньому по сівозміні становила 41550 МДж/га, що на 13167 МДж/га або 46,4

% перевищувало контроль, тоді як сумарні енерговитрати збільшувалися лише на 1727 МДж/га або 16,7 %, тобто до 12041 МДж/га. Коефіцієнт енергетичної ефективності зростав із 2,71 до 3,42 або на 26,2 %, а чистий енергетичний ефект – із 18069 до 29509 МДж/га, тобто на 63,3 %. Найефективніше трансформувала технологічні витрати в енергію продукції пшениця яра: енергомісткість її врожаю досягала 63010 МДж/га, чистий енергетичний ефект – 50457 МДж/га, а коефіцієнт енергетичної ефективності – 5,02.

Таким чином, узагальнення результатів досліджень підтвердило, що комплексне застосування побічної продукції попередника, сидеральної маси гірчиці білої та біодобрива «Біо-Гель» є агробіологічно й енергетично найефективнішою системою удобрення короткоротаційної сівозміни. Водночас за критеріями мінімальної собівартості та максимальної окупності вкладених коштів найбільш економічно доцільним є поєднання побічної продукції попередника з біодобривом.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для господарств, які спеціалізуються на виробництві органічної продукції рослинництва у підзоні нестійкого зволоження Лісостепу України, на основі одержаних результатів досліджень, рекомендується застосування комплексної системи органічного удобрення: побічна продукція попередника + післяукісний сидерат (гірчиця біла) + рідке біодобриво на основі гуматів природного походження та комплексу макро- і мікроелементів у дозі 1,5 л/га у фазі повних сходів і 1,5 л/га – у фазі цвітіння під культури короткоротаційної сівозміни: соя – пшениця яра – гречка.

Розроблена система органічного удобрення забезпечує збір з 1 га сівозмінної площі 2,8 т кормових, 3,2 т зернових одиниць і 0,34 т перетравного протеїну, отримання приросту врожаю культур до 23–36 %, 40 тис. грн/га умовно чистого прибутку за рівня рентабельності виробництва 182 % та коефіцієнта енергетичної ефективності – 3,4.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ritchie Hannah. Yields vs. land use: how the Green Revolution enabled us to feed a growing population. *Our World in Data*. 2017. https://ourworldindata.org/yields-vs-land-use-how-has-the-world-produced-enough-food-for-a-growing-population?utm_source=chatgpt.com
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Crops and Livestock Products Database. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>; chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fao.org/4/a0787e/a0787e00.pdf?utm_source=chatgpt.com
3. Бойко П. І., Мартинюк І. В., Цимбал Я. С. Становлення сівозмінних принципів у системах землеробства. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 3. С. 5–13. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202103-01>
4. Гудзь В. П., Примах І. Д., Будьонний Ю. В., Танчик С. П. Землеробство. Підручник: 2-е видання перероблене та доповнене / За ред. В. П. Гудзя / Київ: Центр учбової літератури, 2010. 464 с.
5. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Бутило А. П., Опришко В. П. Землеробство. Київ: Лазурит-Поліграф, 2013. 376 с.
6. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Опришко В. П. та ін. Загальне землеробство / За ред. В. О. Єщенка. Київ: Вища освіта, 2004. 336 с.
7. Зубець М. В., Малієнко А. М., Носко Б. С., Лебідь Є. М. та ін. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України. Київ: Аграрна наука, 2010. 986 с.
8. Рубін С. С., Михайловський А. Г., Ступаков В. П. Землеробство. Київ: Вища школа, 1980. 464 с.
9. Шикула М. К., Антонець С. С., Балаєв А. Д. та ін. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні / за ред. М. К. Шикули. Київ: Оранта, 2000. 389 с.

10. Шикла М. К. Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві. Київ: Оранта, 1998. 680 с.
11. Бегей С. В., Шувар І. А. Екологічне землеробство. Львів: Новий Світ-2000, 2007. 429 с.
12. Прима І. Д., Єщенко В. О., Манько Ю. П. Сівозміни в землеробстві України / За ред. І. Д. Примака. Київ: КВІЦ, 2008. 288 с.
13. Прима І. Д., Рошко В. Г., Демидась Г. І. та ін. Рациональні сівозміни в сучасному землеробстві / За ред. І. Д. Примака. Біла Церква, 2003. 384 с.
14. Танчик С. П., Прима І. Д., Літвінов Д. В., Центило Л. В. Сівозміни. Київ: ЦП «Компрінт», 2019. 365 с.
15. Танчик С. П., Цюк О. А., Центило Л. В. Наукові основи систем землеробства: монографія. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 314 с.
16. Цимбал Я. С., Савченко С. Д. *Дотримуючись Зеленого Курсу*. The Ukrainian Farmer. 2025. № 10 (190). С. 136–137. https://agrotimes.ua/magazine_number/zhurnal-the-ukrainian-farmer-2025-zhovten/
17. Цимбал Я. С., Савченко С. Д. Сівозміна, як елемент біологізації землеробства. Матеріали Міжнародної наукової конференції «Зернова галузь – проблеми та перспективи технологічного забезпечення» з нагоди 100-річчя від дня народження доктора с.-г. наук, професора, академіка НААН В. С. Цикова. Дніпро: ДУ ІЗК НААН, 12–13 жовтня 2023. С. 94–96. <https://institut-zerna.com/library/repositariy/docs/materialy-konf/problemi-ta-perspektivi-tehnologichnogo-zabezpechennya-do-100-richchya.pdf>
18. Цимбал Я. С., Савченко С. Д. Розвиток органічних сівозмін у землеробстві України. Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції: матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції. Іллінці, 05 листопада 2024. С. 57–61. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2025/04/5.11.pdf>

19. Мартинюк І. В., Цимбал Я. С., Тарасенко О. А., Якименко Л. П., Бакумова М. В., Савченко С. Д., Савченко Є. Д. Теоретичні основи формування і функціонування короткоротаційних сівозмін за ведення органічного землеробства в умовах Лісостепу України. Науково-методичні рекомендації. ННЦ «ІЗ НААН». Вінниця: ТВОРИ. 2025. 56 с. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2026/06/9_a5_teoretychni-osnovy-korotkorotatsijnyh-sivozmin.pdf

20. Стратегія розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025–2027 роках. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 листопада 2024 р. № 1163-р. Урядовий портал. <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhvalennia-stratehii-rozvytku-silskoho-hospodarstva-ta-silskykh-terytorii-v-ukraini-na-period-i151124-1163>

21. Пиндус В., Гуцаленко О., Омельчук С. та ін. Основи органічного рослинництва. Науково-методичний центр ВФПО. 2022. 327 с.

22. Цимбал Я. С. Еколого-біологічно збалансовані сівозміни в органічному землеробстві. Науково-методичні рекомендації «Виробництво органічної сільськогосподарської продукції в умовах воєнного стану» / за ред. Я. М. Гадзала. ННЦ «Інститут землеробства НААН» – Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2022. Розділ 5. С. 36–41.

23. Мартинюк І. В., Цимбал Я. С., Задубинна Є. В. Історія розвитку та впровадження органічного виробництва сільськогосподарської продукції. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. ННЦ «Інститут землеробства НААН» – Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2021. Вип. 2. С. 40–46.

24. Камінський В. Ф., Сайко В. Ф. Стратегія розвитку адаптивних систем землеробства і агротехнологій в Україні. Адаптивні системи землеробства і сучасні агротехнології – основа раціонального землекористування, збереження і відтворення родючості ґрунтів. Київ: ВП «Едельвейс», 2013. С. 5–24.

25. Цимбал Я. С., Бойко П. І., Мартинюк І. В. Короткоротаційні сівозміни в органічному землеробстві. XII Міжнародна науково-практична

конференція «Поеднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції», присвячена 100-річчю з дня заснування Іллінецького державного аграрного коледжу, м. Іллінці, 24 червня 2021 року – С. 62–66.

26. Кобець М. І. Органічне землеробство в контексті сталого розвитку. Проект аграрна політика для людського розвитку. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.undp.org.ua/agro/pub/ua/P2004_01_051_04.pdf

27. Постанова Ради (ЕС) від 29 червня 2007 р. №834/2007 стосовно органічного виробництва і маркування органічних продуктів, та скасування Постанови (ЄЕС) №2092/91 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://tradestandards.org/en/Standard.3.aspx>.

28. Наукові основи виробництва органічної продукції в Україні: монографія / за ред. Я.М. Гадзала, В.Ф. Камінського. Київ: Аграрна наука, 2016. 592 с.

29. Клітна М. Р., Брижань І. А. Стан і розвиток органічного виробництва та ринку органічної продукції в Україні. Електронне наукове фахове видання «Ефективна економіка». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2525>

30. Закон України «Про основні принципи та вимоги до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції (№ 2496-VIII, від 10.07.2018). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2496-19#Text>.

31. Закон України «Про ратифікацію Протоколу про вступ України до Світової організації торгівлі» (№ 250-VI, від 10.04.2008). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/250-17#Text>.

32. Закон України «Про ратифікацію Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом» (№ 1678-VII, від 16.09.2014). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1678-18#Text>.

33. Сайт Державної служби статистики України: www.ukrstat.gov.ua.

34. Цимбал Я. С., Пташнік М. М. *Урожай на пару*. The Ukrainian Farmer. № 8 (152) 2022. С. 26–27.
35. Цимбал Я. С., Бойко П. І., Мартинюк І. В., Кальчун Т. Р., Якименко Л. П. Продуктивність гречки в 6-пільних сівозмінах в умовах Лівобережного Лісостепу. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. ННЦ «ІЗ НААН» – Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2023. Вип. 1 (7). С. 92–98.
36. Демиденко О. В., Шаповал І. С., Тонха О. Л., Величко В. А., Бойко П. І. Гумусний стан чорнозему типового за різних способів обробітку в агроценозах Лівобережного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 4. С. 58–62.
37. Літвінов Д. В. Агробіологічні основи підвищення ефективності короткоротаційних сівозмін Лівобережного Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктор с.-г наук: спец. 06.01.01 «Загальне землеробство дисертації. Київ, 2015. 42 с.
38. Цвей Я. П. Формування родючості ґрунту в короткоротаційних сівозмінах Лісостепу. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Землеробство»*. Київ: ВП «Едельвейс». 2015. Вип. 1. С. 56–59.
39. Kaminsky V. F., Boyko P. I. Strategy of development and implementation of crop rotations in Ukraine. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. Київ: ВП «Едельвейс». 2014. Вип. 3. С. 3–11.
40. Єщенко В. О. Роль сівозмін у сучасному землеробстві. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Землеробство»*. Київ: ВП «Едельвейс». 2015. Вип. 1. С. 23–27.
41. Кірілеско О. Л., Корнійчук О. В. Вплив насичення сівозмін багаторічними травами, заорювання соломи та сидератів на баланс гумусу в ґрунтах. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Землеробство»*. Київ: ВП «Едельвейс». 2015. Вип. 1. С. 77–81.
42. Лебідь Є. М. Науковий фундамент проблем степового землеробства. *Вісник аграрної науки*. 2006. № 4. С. 23–25.

43. Цимбал Я. С., Бойко П. І., Мартинюк І. В. Продуктивність кукурудзи на зерно в короткоротаційній сівозміні Лівобережного Лісостепу залежно від системи удобрення. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2021. Вип. 1. С. 26–31.
44. Бойко П. І., Коваленко Н. П. Сівозміни з короткою ротацією. *Пропозиція*. 1998. № 2. С. 16–17.
45. Бойко П. І., Коваленко Н. П. Науково-інноваційні аспекти сівозмін в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2006. № 5. С. 24–28.
46. Камінський В. Ф., Бойко П. І. Роль сівозмін у сучасному землеробстві. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 6. С. 5–9.
47. Сівозміни у землеробстві України / За ред. В. Ф. Сайка, П. І. Бойка / Київ: Аграрна наука, 2002. 147 с.
48. Бойко П. І., Цимбал Я. С., Волошин В. М. Дотримання сівозмінних принципів у системах землеробства. Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсоощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур: IV Міжнародна науково-практична конференція. Дніпро, 20 листопада 2019 р. С. 208–210.
49. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України / за ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва, О. Г. Тараріка, В. О. Грекова, А. Д. Балаєва ; Міністерство аграрної політики України, Державний технологічний центр охорони родючості ґрунтів, НААН України, ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», НУБіП України. Київ, 2010. 113 с. URL: https://media.iogu.gov.ua/literatura/periodically/1_2010.pdf
50. Основи землеробства : підручник / О. Ф. Смаглій, М. Ф. Рибак, Є. М. Данкевич та ін. ; за ред. О. Ф. Смаглія. Житомир : Вид-во ДВНЗ «Державний агроєкологічний університет», 2008. 514 с. <https://eprints.zu.edu.ua/39101/1/Основи%20землеробства%20книга%202008.pdf>
51. Кирильчук А. А., Наконечний Ю. І. Методологія та організація досліджень в науках про Землю : навч. посіб. Львів : ЛНУ імені Івана Франка,

2021. 496 с. URL: <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/03/Kyrylchuk-Nakonechnyy-Metodolohiia-103-2021-book.pdf>

52. Ратошнюк В. І. Агротехнологічні та біологічні основи формування продуктивності люпину вузьколистого в зоні Полісся України : дис. ... д-ра с.-г. наук : 06.01.09. Київ, 2020. 536 с. URL: <https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2020/07/ratoshnyuk-v.-dis..pdf>

53. Пташнік М. М., Ременюк Ю. О., Заяць П. С., Цимбал Я. С. Продуктивність культур за вирощування в одновидових і сумісних посівах в органічних агроценозах Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2025. Т. 103, № 10. С. 37–46. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202510-05>

54. Мартинюк І. В., Цимбал Я. С., Пташнік М. М., Ільчук Р. В., Мартинюк Н. І. Ефективність контролювання сегетальної рослинності у посівах вівса за органічного землеробства. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2022. Вип. 1 (3). С. 17–23. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2022.01.02>

55. Ткаченко М. А., Задубинна Є. В., Цюк О. А., Кондратюк І. М. Моніторинг забур'яненості посівів сої у короткоротаційній сівоzmіні. *Вісник аграрної науки*. 2022. Т. 100, № 7. С. 29–35. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202207-05>

56. Правдива Л. А. Агротехнологічні основи вирощування сорго звичайного двокольорового в Лісостепу України : дис. ... д-ра с.-г. наук : 06.01.09. Київ, 2023. 499 с. URL: <https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2024/05/dysertatsiya-pravdyvoyi-l.a..pdf>

57. Заїма О. А., Дергачов О. Л., Сіроштан А. А., Бордюг А. М. Врожайність сортів пшениці м'якої озимої за різних попередників та строків сівби. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2026. Вип. 1 (19). С. 94–101. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2026.01.11>

58. Органічна пшениця : посібник серії «Сільськогосподарські культури» / Швейцарсько-український проєкт «Розвиток органічного ринку в Україні» ; FiBL. 2016. 16 с. URL: https://orgprints.org/id/eprint/33042/1/Organic_wheat_UAt.pdf

59. Демиденко О. В. Порівняльна секвестраційна здатність сівозмін центральної частини Лісостепу. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2025. Вип. 4 (18). С. 17–27. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2025.04.02>
60. Методичні рекомендації з ведення сільськогосподарського виробництва на радіоактивно забруднених територіях Київського Полісся / О. І. Фурдичко, Г. М. Чоботько, В. П. Ландін та ін. Київ : Інститут агроекології і природокористування НААН, 2012. 37 с. URL: https://www.agroeco.org.ua/wp-content/uploads/pdf/pub_radio_eco/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BA%D0%B0_2012.pdf
61. Файловий архів студентів. URL: <http://studfiles.net>.
62. Купріянич І. П., Мединська Н. В. Екологобезпечне використання сільськогосподарських земель на регіональному рівні: монографія. Київ, 2015. 366 с.
63. Екологічний енциклопедичний словник. Видавничий дім Ноосфера, 1999. 930 с.
64. Корсун С. Г., Клименко І. І. Екотоксикологічний статус систем удобрення культур зерно-просапної сівозміни : монографія. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2018. 212 с. ISBN 978-617-7710-53-9. URL: https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2021/04/monografiya_korsun-klimenko-do-druku_ostatochna.pdf
65. Ільєнко Т. О., Цимбал Я. С., Алексеєнко М. В., Коваль В. В., Брегеда С. Г. Гумусний стан ґрунтів Полтавської області. *Агроекологічний журнал*. 2026. № 1. С. 115–121. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2026.354186>
66. Цимбал Я. С., Мартинюк І. В., Якименко Л. П., Бакумова М. В. Вплив культур сівозміни і систем удобрення на агрохімічні та фізико-хімічні показники чорнозему типового в умовах Лівобережного Лісостепу. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2026. Вип. 1 (19). С. 36–43. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2026.01.04>

67. Писаренко В. М., Писаренко П. В., Писаренко В. В., Горб О. О., Чайка Т. О. Формування родючості ґрунту в умовах органічного землеробства. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 3. С. 85–91. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.03.11>
68. Ghimirey, V., Chaurasia, J., Dhungana, R., & Poudel, B. Organic fertilizers and their efficacy on soil characteristics, growth and yield of cauliflower (*Brassica oleraceae* var. botrytis) in sandy loam soil of Nepal. *Frontiers in Soil Science*, 2025. 5, Article 1556283. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2025.1556283>
69. Scavo, A., Fontanazza, S., Restuccia, A., Pesce, G. R., Abbate, C., & Mauromicale, G. The role of cover crops in improving soil fertility and plant nutritional status in temperate climates. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 2022. 42, Article 93. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00825-0>
70. Гаврюшенко О. О., Грабко В. В. Вплив сидеральних культур на фізико-хімічні властивості чорнозему звичайного Північного Степу України. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2025. № 142. С. 25–29. chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/142_2025/part_1/6.pdf
71. Bartosiewicz B., Wawer R., Poręba L. et al. The impact of cover crops on soil quality. *Current Agronomy*. 2025. Vol. 54. № 2. 118–128. <https://journals.iung.pl/index.php/CA/article/view/440/304>
72. Salisu M. A., Ampim P. A. Y., Oyebamiji Y. O. et al. Cover Crops Enhance Soil Organic Carbon and Soil Quality for Sustainable Crop Yield: A Systematic Review. *Agronomy*. 2025. Vol. 15(12). 2865. DOI: 10.3390/agronomy15122865. <https://www.mdpi.com/2073-4395/15/12/2865>
73. Ведення сільського господарства в умовах радіоактивного забруднення території України внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС на період 1999–2002 рр. : методичні рекомендації / за заг. ред. Б. С. Прістера ; Український науково-дослідний інститут сільськогосподарської радіології. Київ, 1998. 103 с. <http://uiar.org.ua/Sborniki/16.pdf>

74. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення : керівний нормативний документ / за ред. І. П. Яцука, С. А. Балюка. 2-ге вид., допов. Київ : Вік принт, 2019. 108 с. ISBN 978-617-7185-29-0. URL: <https://media.iogu.gov.ua/literatura/instructions/1.pdf>

75. Захарченко Е. А. Ефективність застосування цинку при вирощуванні кукурудзи на зерно. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Серія «Агрономія і біологія». 2019. Вип. 4 (38). С. 8–14. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2019.4.2>.

76. Komatsu H., Rappleye J. Exploring inconsistencies in environmental impact assessments of organic farming. *Academia Environmental Sciences and Sustainability*. 2024. Vol. 1. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.20935/AcadEnvSci6192>

77. Бойко О. В., Небилиця М. С., Демиденко О. В., Гавриш О. М., Гончар О. Ф., Осокіна Т. Г. Методика визначення показників емісії парникових газів та деяких забруднювальних речовин від сільськогосподарських об'єктів і агроландшафтів методом безперервної автоматичної реєстрації : метод. рекомендації. Черкаси : Черкаська дослідна станція біоресурсів НААН, 2024. 43 с. URL: <https://bioresurs.ck.ua/wp-content/uploads/2024/09/Методика-визначення-емісії-ЗР-і-ПГ-2024.pdf>

78. Оптимальні енергетичні системи з урахуванням наявного потенціалу відновлюваних джерел енергії у Лісостепу України : колективна монографія / за заг. ред. М. І. Кулика, О. В. Калініченка. Полтава : ПП «Астроя», 2019. 128 с. ISBN 978-617-7669-94-3. URL: <https://dspace.pdau.edu.ua/items/52545d5d-95e0-4e83-9def-d7c5ebcd5668>

79. Демиденко О. В., Шаповал І. С., Ярмілко С. А. Система живлення та продуктивність культур у п'ятипільних сівозмінах Лівобережного Лісостепу. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2025. Вип. 3 (17). С. 5–14. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2025.03.01>.

80. Паламарчук Р. П. Продуктивність культур 5-пільної зерно-просапної сівозміни залежно від норм удобрення в умовах Полісся. *Землеробство та*

рослинництво: теорія і практика. 2025. Вип. 3 (17). С. 26–37. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2025.03.03>

81. Полупан М. І., Величко В. А., Соловей В. Б., Білівець І. І. Продуктивна здатність ґрунтів Лісостепу за природною та ефективною родючістю. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 1. С. 15–23.

82. Географія України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://pidru4niki.com/14350120/geografiya/lisostepova_zona.

83. Примак І. Д., Вергунов В. А., Ковбасюк П. У. Неприятливі метеорологічні умови в землеробстві: захист від них культурних рослин. Київ: Кондор. 2006. 314 с.

84. Земля. Лісостепова зона. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zemliaua.org/lisostepova-zona>.

85. Пикало С. В., Демидов О. А., Юрченко Т. В., Харченко М. В. Особливості погодних умов в центральному Лісостепу України впродовж 2019–2022 років. *Екологічні науки*. 2023. № 3(48). С. 78–85. URL: <https://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2023/3/12.pdf>

86. Лапчинський В. В., Лакуста А. А., Хмелянчишин Ю. В. Вплив кліматичних змін на агрономію: оцінка та заходи адаптації. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 137. С. 516–524. URL: https://tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/137_2024/62.pdf

87. Тараріко О. Г., Ільєнко Т. В., Кучма Т. Л. Вплив змін клімату на продуктивність та валові збори зернових культур: аналіз та прогноз. *Український географічний журнал*. 2016. № 1. С. 14–22. DOI: 10.15407/ugz2016.01.014. URL: <https://ukrgeojournal.org.ua/uk/node/505>

88. Дмитренко В. П. Погода, клімат і врожай польових культур. Київ: Ніка-Центр, 2010. 620 с.

89. Агрометеорологічні умови та стан посівів сільськогосподарських культур в Україні (за інформацією НААН України). Українська зернова асоціація. URL: <https://uga.ua/meanings/analitchna-dovidka-pro->

[agrometeorologichni-umovy-ta-stan-posiviv-silskogospodarskyh-kultur-v-ukrayini-za-informatsiyeyu-naan-7/](#)

90. Агротехнологічна стратегія ефективної організації весняно-польових робіт у зонах Лісостепу і Полісся в 2025 р. в умовах воєнного стану. Науково-практичні рекомендації. Київ, 2025. 104 с. URL: <https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2025/03/05.03.2025-r.nnts-iz-naan-rek.-vesna-2025-lisosteppolissya.pdf>

91. Тараріко О. Г., Ільєнко Т. В., Адамчук-Чала Н. І., Білокінь О. А., Шерстюк Д. М. Адаптація агроєкосистем Лісостепу України до змін клімату: наукові рекомендації. Київ: Аграрна наука, 2025. 68 с. DOI: 10.310.73/978-966-540-664-8. URL: https://www.agroscience-publishing.org.ua/2025_19/

92. Балаєв А., Тонха О., Піковська О. та ін. Гумусованість і фізико-хімічні властивості чорноземів Лісостепу за мінімізації обробітків і біологізації системи удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 11. С. 24–31. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202011-03>

93. Городиська І. М., Кравчук Ю. А. Сидерація – один із чинників збереження родючості ґрунту в органічному землеробстві. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 4 С. 135–144. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2023.292740>

94. Писаренко В. М., Писаренко П. В., Писаренко В. В., Горб О. О., Чайка Т. О. Формування родючості ґрунту в умовах органічного землеробства. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 3. С. 85–91. DOI: 10.31210/visnyk2019.03.11.

95. Материнський П., Братущак С. Технологія вирощування сої: основні аспекти, поради науковців та досвід практиків. Частина 2. SuperAgronom. 2023. <https://superagronom.com/articles/687-tehnologiya-viroschuvannya-soyi-osnovni-aspekti-poradi-naukovtsiv-ta-dosvid-praktikiv-chastina-2>

96. Юла В. М., Шляхтурова С. П., Шляхтуров Д. С. Удосконалена технологія вирощування пшениці спельти (озимої) в системі органічного землеробства. Науково-практичні рекомендації. Вінниця: ТВОРИ, 2025. 88 с.

https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2026/02/a5_udoskonalena-tehnologiya-vyroshhuvannya-pshenytsi.pdf

97. Вирощування гречки і проса за органічного виробництва в умовах Правобережного Лісостепу: наук.-метод. рекомендації / В. Ф. Камінський, Р. Є. Грищенко, О. Г. Любич, В. О. Сербенюк / за ред. В. Ф. Камінського. Вінниця:ТВОРИ, 2025. 32 с. https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2026/02/a5_vyroshh_organich_grechky-ta-prosa.pdf

98. Органічна пшениця. Посібник: Сільськогосподарські культури. 2016. с. 16. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://orgprints.org/id/eprint/33042/1/Organic_wheat_UAt.pdf?utm_source=chatgpt.com

99. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні (станом на 17.03.2025 р.). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reystyr-sortiv-roslyn>

100. Біо-Гель. Органічне добриво для рослин та ґрунтів. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://biogel.com.ua/>

101. Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. Добриво органічне «Біо-Гель» № 10801. Дата реєстрації 12.09.2017. <https://agrarii-razom.com.ua/preparations/dobryvo-organichne-bio-gel-r>

102. Рожков А. О. Пузік В. К., Каленська С. М. та ін. Дослідна справа в агрономії. / За ред. Рожкова А. О. / Харків. 2016. 315 с.

103. Дідора В. Г., Смаглій О. Ф., Ермантраут Е. Р. та ін. Методика наукових досліджень в агрономії. Київ: «Центр учбової літератури». 2013. 264 с.

104. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Костогриз П. В., Опришко В. П. Основи наукових досліджень в агрономії. / За ред. Єщенка В. О. / Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К»». 2014. 332 с.

105. Мойсейченко В. Ф., Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ: Вища школа. 1994. 334 с.

106. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур / Під ред. В. В. Волкодава. Київ, 2001. Вип. II.

107. ДСТУ 4287:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 30.04.2004]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 9 с.
108. ДСТУ ISO 11465-2001 Якість ґрунту. Визначення сухої речовини та вологості за масою. Гравіметричний метод (ISO 11465:1993, IDT). [Чинний від 28.12.2001]. Київ: Держстандарт України, 2002.
109. ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини [Чинний від 01.07.2005]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005.
110. ДСТУ ISO 10390:2007 Якість ґрунту. Визначення рН (62879). [Чинний від 24.12.2007]. Київ: Держспоживстандарт України, 2012. 8 с.
111. ДСТУ 4725:2007 Якість ґрунту. Визначення активності іонів калію, амонію, нітрату і хлору потенціометричним методом. [Чинний від 29.01.2007]. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 22 с.
112. ДСТУ 7863:2015 Якість ґрунту. Визначення легкогідролізного азоту методом Корнфілда [Чинний від 01.07.2016]. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016.
113. ДСТУ 4115-2002 Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова. [Чинний від 01.01.2003]. Київ: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. III. 6 с.
114. ДСТУ 4770.(1, 2, 3, 4, 6, 7, 9):2007 Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук Mn, Zn, Cd, Fe, Cu, Ni, Pb в буферній ацетатно-амонійній витяжці. [Чинний від 01.01.2009]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005.
115. ДСТУ 4362:2004 Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. [Чинний від 09.12.2004]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 33 с.
116. Методика суцільного ґрунтово-агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України / За ред. О. О. Созінова, Б. С. Прістера. Київ, 1994. 35 с.
117. Ковальчук В. П., Васильев В. И., Бойко Л. В., Зосимов В. Д. Сборник методов исследования почв и растений. Киев: Изд-во «XXI-вік Туд ГриПол». 2010. 234 с.

118. ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 01.01.2004]. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.
119. Городній М. М., Лісовал А. П., Бикін А. В. та ін. Агрохімічний аналіз: Підручник / За ред. М. М. Городнього. 2-ге видання. Київ: Арістей, 2005. 476 с.
120. ДСТУ 4117:2007 Зерно та продукти його переробки. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії. [Чинний від 01.08.2007]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 7 с.
121. ДСТУ 4964:2008 Соя. Технічні умови [Чинний від 01.07.2010]. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 12 с.
122. ДСТУ 3768:2019 Пшениця. Технічні умови [Чинний від 10.06.2019]. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2019. 19 с.
123. ДСТУ 4524:2006 Гречка. Технічні умови [Чинний від 01.01.2007]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 11 с.
124. Гревцов В. Д. Справочник по планированию в агропромышленном комплексе. Киев: Урожай, 1991. 74 с.
125. Бащенко М. І., Іонов І. А., Гончар О. Ф. та ін. Довідник хімічного складу і поживності кормів в ґрунтово-кліматичних умовах Черкаської області. 2013. 259 с.
126. Костенко В. М., Панько В. В., Сироватко К. М. Практикум з годівлі сільськогосподарських тварин. Частина 1. Хімічний склад, оцінка поживності та якості кормів / За ред. професора В. М. Костенка. Вінниця: РВВ ВДАУ, 2008. 141 с.
127. Кургак В. Г., Панасюк С. С., Слюсар С. М. та ін. Методика визначення енергоємності і поживності кормів. 2022. <https://zemlerobstvo.com/naukovi-vidannya/vidavnitstvo-nnts-iz-naan/>
128. ДСТУ 8066:2015 Корми для сільськогосподарських тварин. Методи визначення енергоємності і поживності [Чинний від 01.01.2017]. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2017. 11 с.

129. Ушкаренко В. О., Нікішенко В. Л., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві: Навчальний посібник. Херсон: Айлант, 2008. 272 с.
130. Мацибора В. І. Економіка сільського господарства: підручник. Київ: Вища школа, 1994. С. 136–153.
131. Технологічні карти та витрати на вирощування сільськогосподарських культур з різним ресурсним забезпеченням / за ред. П. Т. Саблука, Д. І. Мазоренка, Г. Є. Мазнева. Харків: ХНТУСГ, 2006. 725 с.
132. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ: Урожай. 1988. 203 с.
133. Тараріко Ю. О., Несмашна О. Ю., Бердніков О. М., та ін. Біоенергетична оцінка сільськогосподарського виробництва (Науково-методичне забезпечення) / За ред. Ю. О. Тараріко. Київ: Аграрна наука, 2005. 200 с.
134. Тараріко Ю. О., Несмашная О. Є., Глущенко Л. Д. Енергетична оцінка систем землеробства і технологій вирощування сільськогосподарських культур: методичні рекомендації. Київ: Нора-прінт, 2001. 60 с.
135. Камінський В. Ф., Буслаєва Н. Г. Основи прикладного математичного аналізу в сільськогосподарських дослідженнях: методичні рекомендації. Київ: ВД «ЕКМО», 2011. 24 с.
136. Цимбал Я. С. Основа землеробства. *The Ukrainian Farmer*. 2025. № 2 (182). С. 46–47.
137. Tarariko O. H., Cruse R. M., Iliencko T. V. et al. Impact of climate changes on agroresources of Ukrainian Polissia based on geospatial data. *Agricultural Science and Practice*. 2024. 11(2). P. 3–29. DOI: 10.15407/agrisp11.02.003
138. Balabukh V. O. Yield shortfall of cereals in Ukraine caused by the change in air temperature and precipitation amount. *Agricultural Science and Practice*. 2023. 10(1). P. 31–53. DOI: 10.15407/agrisp10.01.031

139. Гнатів П. С., Качмар О. Й. Флуктуації клімату та погодні умови рільництва на заході України. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2025. Вип. 77 (1). С. 41–54. <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://phzt-journal.isgkr.com.ua/77-1/4.pdf>
140. Hossain M. S. & Islam M. R. Nitrogen, phosphorus, and potassium adsorption and desorption improvement and soil buffering capacity using clinoptilolite zeolite. *Agronomy*. 2021. 11(2), 379. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020379>
141. Li W., Zhang J. & Liu Y. Mechanisms underlying soil microbial regulation of available phosphorus. *Science of the Total Environment*. 2023. 904(6):166403. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166403>
142. Mahanta D., & Tiwari M. Microbial transformation of nutrients in soil: An overview. Y: Rakshit A. & Meena V. S. *Advances in Soil Microbiology: Stress Management and Microbial Applications*. 2021. P. 131–151. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9154-9_7
143. Mykhailo Voitovyk, Ivan Prymak, Oleksandr Panchenko, Oleksii Tsyuk, Viktoriia Melnyk. Humus state and nutrient regime of typical chernozem depending on fertilisation in short crop rotations. *Plant and Soil Science*. Vol. 14, No. 4, 2023. P. 33–44. <https://doi.org/10.31548/plant4.2023.33>
144. Voitovyk M., Prymak I., Tsyuk O., & Melnyk V. Qualitative composition of humus and physical and chemical properties of typical chernozem depending on the fertiliser system. *Plant and Soil Science*. 2023. 14(1). 9–21. <https://doi.org/10.31548/plant1.2023.09>
145. Hu Y., Zhang H. & Liu Z. Effects of excessive phosphorus fertilization on carbon metabolism and respiration in crops: A physiological perspective. *Soil Biology and Biochemistry*. 2025. 185, 108192. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.108192>
146. Litvinova Olena, Dehodiuk Stanislav, Litvinov Dmytro, Symochko Lyudmyla, Zhukova Yaroslava, Kyrylchuk Anzhela. The impact of agrochemical loading on nutritive regime of gray forest soil during field crop rotation International.

Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES). 2021. Vol. 11 (4): 831–836 DOI: <https://doi.org/10.31407/ijeess11.421>

147. Pavlichenko A., Dmytrenko O., Litvinova O., Kovalova S., Litvinov D., Havryliuk O. Changes in gray forest soil organic matter pools under anthropogenic load in agrocenoses. *Agronomy Research*. 2023. 21 (3), 1266–1277, <https://doi.org/10.15159/AR.23.095>

148. Santos M., Ferreira R. & Oliveira B. Enhancing nitrogen use efficiency in agriculture by integrating management strategies. *Frontiers in Plant Science*. 2025. 16. 1543714. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1543714>

149. Tsyuk O., Tkachenko M., Butenko A., Mishchenko Y., Kondratiuk I., Litvinov D., Tsiuk Y., Sleptsov Y. Changes in the nitrogen compound transformation processes of typical chernozem depending on the tillage systems and fertilizers. *Agraarteadus*, 2022. 33(1):192–198. DOI: 10.15159/jas.22.23. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.085134743207&origin=-resultslist&sort=plf-f>

150. Wang X., Huang C. & Yang L. Long-term legacy impacts of nitrogen fertilization on crop yield and nitrate accumulation in intensive farming systems. *European Journal of Agronomy*. 2025. 142, 126222. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.126222>

151. Zhou J., Wang C. & Sun W. Potassium-calcium antagonism in soils and its effects on nutrient uptake and membrane stability in crops. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2022. 22(3), 1591–1605. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00680-7>

152. Горбатенко А., Судак В., Десятник Л. та ін. Волога для сівозміни. *Агробізнес сьогодні*. <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/14757-voloha-dlia-sivozminy.html>

153. Зубов Д. А. Запаси вологи в ґрунті в соєво-кукурудзяних сівозмінах в умовах Лісостепу Правобережного. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. № 49. С. 56–62. DOI: 10.37406/2706-9052-2025-4.8

154. Шаповал І. С., Векленко Ю. А., Кравченко В. П. та ін. Продуктивність і ефективність кормових сівозмін на чорноземах Лівобережного Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво*. 2023. № 96. С. 122–134. DOI: 10.31073/kormovyrobnytstvo202396-12

155. Гавриленко Н. В. Оптимізація агробіологічних технологій вирощування зернових культур у сівозміні на основі мінімалізації обробітку ґрунту та раціонального використання добрив у північному Степу України: дисертація на здобуття наук. ступеня доктора філософії: спец. 201 – «Агрономія». Дніпро, 2025. URL: <https://institut-zerna.com/aspirant/docs/disertatsiya-gavrilenko-n-v.pdf>

156. Андрусик П. Р. Оптимізація елементів технології вирощування сої в Західному Лісостепу: дисертація на здобуття наук. ступеня доктора філософії: спец. 201 – «Агрономія». Київ, 2025. URL: https://www.nubip.edu.ua/sites/default/files/u145/dis_andrusik.pdf

157. Танчик С. П., Бабенко А. І. Водний режим ґрунту та методи його регулювання. *Пропозиція*. 2021. № 5. URL: <https://propozitsiya.com/articles/tekhnohohiyi-vyroshchuvannya/vodnyy-rezhym-gruntu-ta-metody-yoho-rehulyuvannya>

158. Reganold J. P., Wachter J. M. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*. 2016. Vol. 2. Article 15221. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>

159. Lal R. Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*. 2016. Vol. 5(4). P. 212–222. DOI: <https://doi.org/10.1002/fes3.96>

160. Gattinger A., Muller A., Haeni M. et al. Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*. 2012. Vol. 109(44). P. 18226–18231. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1209429109>

161. Mäder P., Fliessbach A., Dubois D. et al. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*. 2002. Vol. 296. P. 1694–1697. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1071148>

162. Демиденко О. В. Вуглецево-секвестраційна здатність чорнозему типового в агроценозах. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 6. С. 5–17. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202306-01>
163. Демиденко О. В. Залежність між показниками родючості чорнозему опідзоленого за різних систем удобрення в агроценозі Центрального Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 7. С. 17–24. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202007>
164. Скрильник Є. В., Кутова А. М. Еволюція термінології у сфері органічної речовини ґрунту та гумусу. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 4. С. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202304-02>
165. Балаєв А. Д., Тонха О. Л. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства і відтворення родючості ґрунтів. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2013. Вип. 3. С. 3–14. https://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnuvgp_sg_2013_3_3
166. Baliuk S., Nosko B., Shymel V., Yeterevska L., Momot H. Optimization of plant nutrition in the system of factors of efficient soil fertility. *Bulletin of Agricultural Science*. 2019. No. 3. P. 12–19. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201903-02>
167. Савчук О. І., Приймачук Т. Ю., Кошицька Н. А., Штанько Т. А., Меша К. В. Родючість осушуваного дерново-підзолистого ґрунту в органічній сівозміні. *Вісник аграрної науки*. 2024. № 3. С. 67–73. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202403-10>
168. Дегодюк Е. Г., Літвінова О. А., Ярмоленко Є. В., Дмитренко О. В. Вплив органічних добрив на родючість сірого лісового ґрунту. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 2. С. 31–35. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2019.174015>
169. Іваніна В. В., Пашинська К. Л., Смірних В. М. Винос і баланс елементів живлення в агроценозі сорго зернового залежно від удобрення. *Вісник*

аграрної науки. 2021. № 12. С. 28–32. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202112-03>

170. Іваніна В. В., Коротенко І. М. Стан гумусу та поживний режим чорнозему вилугуваного залежно від удобрення і ланки сівозміни. *Новітні агротехнології*. 2023. Т. 11, № 1. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.11.1.2023.277356>

171. Квасніцька Л. С., Войтова Г. П. Продуктивність п'ятипільних сівозмін зони достатнього зволоження Правобережного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 2. С. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202302-01>

172. Dodor D. E., Tabatabai M. A. Alkaline Hydrolyzable Organic Nitrogen as an Index of Nitrogen Mineralization in Soils: Relationship with Activities of Arylamidase and Amidohydrolases. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2020. Vol. 51(13). P. 1757–1766. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1791162>

173. Drescher G. L., da Silva L. S., Sarfaraz Q. et al. Alkaline hydrolyzable nitrogen and properties that dictate its distribution in paddy soil profiles. *Pedosphere*. 2020. Vol. 30(3). P. 326–335. DOI: 10.1016/S1002-0160(20)60012-1. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1002016020600121?utm_source=chatgpt.com

174. Марчук І. У., Савчук А. В., Філонов Є. А. Добрива та їх використання. Довідник. Київ: Арістей. 2010. 254 с.

175. Lambers H. Phosphorus Acquisition and Utilization in Plants. *Annual Review of Plant Biology*. 2022. Vol. 73. P. 17–42. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102720-125738>

176. López-Arredondo D. L., Leyva-González M. A., González-Morales S. I., López-Bucio J., Herrera-Estrella L. Phosphate Nutrition: Improving Low-Phosphate Tolerance in Crops. *Annual Review of Plant Biology*. 2014. Vol. 65. P. 95–123. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-035949>

177. Raghothama K. G. Phosphorus and Plant Nutrition: An Overview. In: Phosphorus: Agriculture and the Environment. *Agronomy Monograph* 46. Madison, WI: ASA, CSSA, SSSA, 2005. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr46.c11>
178. Sardans J., Peñuelas J. Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. *Plants*. 2021. Vol. 10, No. 2. Article 419. DOI: 10.3390/plants10020419. URL: <https://doi.org/10.3390/plants10020419>
179. Johnson R., Vishwakarma K., Hossen M. S., Kumar V., Shackira A. M., Puthur J. T. et al. Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2022. Vol. 172. P. 56–69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.001>
180. Ragel P., Raddatz N., Leidi E. O., Quintero F. J., Pardo J. M. Regulation of K⁺ nutrition in plants. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. Article 281. DOI: 10.3389/fpls.2019.00281. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00281>
181. Wang M., Zheng Q., Shen Q., Guo S. The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*. 2013. Vol. 14, No. 4. P. 7370–7390. DOI: 10.3390/ijms14047370. URL: <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>
182. Мірошніченко М. М., Христенко А. О., Ревтьє-Уварова А. В., Лісовий М. В. Гармонізація визначення фосфору і калію в ґрунті за національними та міжнародними методами. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 7. С. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202207-03>
183. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Невлад В. І., Бойко В. П. Баланс калію у ґрунті та ефективність калійдефіцитної системи удобрення. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2020. № 2. С. 42–46. DOI: <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2020-2-42-46>
184. Цвей Я. П., Мірошніченко М. С., Кісілевська М. О. Моніторинг родючості чорнозему слабосолонцюватого в залежності від систем удобрення та обробітку ґрунту у сівоzmінах. *Новітні агротехнології*. 2019. № 7. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.7.2019.204792>

185. Garba, I. I., Bell, L. W., & Williams, A. Cover crop legacy impacts on soil water and nitrogen dynamics, and on subsequent crop yields in drylands: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*. 2022. Vol. 42. Article 34. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00760-0>
186. Wang, Y., Yu, A., Shang, Y., et al. Research progress on the improvement of farmland soil quality by green manure. *Agriculture*. 2025. Vol. 15, No. 7. Article 768. <https://doi.org/10.3390/agriculture15070768>
187. Zhang, J., He, W., Wei, Z., Chen, Y., & Gao, W. Integrating green manure and fertilizer reduction strategies to enhance soil carbon sequestration and crop yield: Evidence from a two-season pot experiment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2025. Vol. 8. Article 1514409. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1514409>
188. Joshi, D. R., Sieverding, H. L., Xu, H., Kwon, H., Wang, M., Clay, S. A., Johnson, J. M., Thapa, R., Westhoff, S., & Clay, D. E. A global meta-analysis of cover crop response on soil carbon storage within a corn production system. *Agronomy Journal*. 2023. Vol. 115, No. 4. P. 1543–1556. <https://doi.org/10.1002/agi2.21340>
189. Li, J., Shen X., Chen B., He Z. et al. Effects of biofertilizer and green manure on soil bacterial community in Korla fragrant pear orchard. *Microorganisms*. 2025. Vol. 13, No. 10. Article 2252. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13102252>
190. He, Z., Li J., Yang L., Yan L. et al. Effects of bacterial fertilizer and green manure on soil enzyme activity and root characteristics in Korla fragrant pear orchard. *Frontiers in Microbiology*. 2025. Vol. 16. Article 1681490. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1681490>
191. Yu, Z., Guo, B., Sun, T., Li, R., Zhao, Z., & Yao, L. Effects of organic fertilizer substitution for mineral fertilizer on soil fertility, yield, and quality of muskmelons. *Agronomy*. 2025. Vol. 15, No. 3. Article 639. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030639>
192. Xu, P., Wu, J., Wang, H., Han, S., Zhu, J., Fu, Q., et al. Long-term partial substitution of chemical fertilizer with green manure regulated organic matter mineralization in paddy soil dominantly by modulating organic carbon quality. *Plant and Soil*. 2021. Vol. 468. P. 459–473. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05130-5>

193. Скрильник Є. В., Кутова А. М., Гетманенко В. А., Артемьева К. С., Ніконенко В. М. Вплив систем удобрення на органічну речовину та агрохімічні показники чорнозему типового. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2019. Вип. 88. С. 74–78. URL: <https://doi.org/10.31073/acss88-10>
194. Aleminew A. Enhancing Soil Fertility and Crop Productivity through Crop Residue Management: A Review. *Agricultural Reviews*. 2024. Vol. 45, No. 4. P. 715–718. DOI: <https://doi.org/10.18805/ag.RF-294>
195. Ninkuu V., Liu Z., Qin A., Xie Y., Song X., Sun X. Impact of straw returning on soil ecology and crop yield: A review. *Heliyon*. 2025. Vol. 11, No. 2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41651>
196. Kumar A., Garhwal R. S., Prakash R. et al. Impact of crop residue recycling and chemical fertilizers on soil health and nutrients uptake under different cropping systems – a Scopus review. *Journal of Plant Nutrition*. 2025. Vol. 49, No. 1. P. 125–152. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2025.2527690>
197. Sarkar S., Kumar R., Kumar A., Singh D. K., et al. Retention Vs Incorporation of Cereal Residues on Soil Health: A Comprehensive Review. *Communications in Soil. Science and Plant Analysis*. 2024. Vol. 55, No. 12. P. 1883–1902. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2328621>
198. Jia Q., Zheng H., Shi Z. et. al. Effects of Straw and Green Manure Addition on Crop Yield, Soil Properties and CH₄ Emissions: A Meta-Analysis. *Agronomy*. 2024. Vol. 14, No. 11. Article 2724. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14112724>
199. Центилю Л. В. Продуктивність сівоzmіни залежно від удобрення і обробітку ґрунту. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2019. Вип. 3 (103). С. 52–60.
chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://bsagriculture.com.ua/web/uploads/journals_pdf/Ukrainian%20Black%20Sea%20Region%20Agrarian%20Science_Vol.%2023,%20No.%203_end.pdf
200. Лагуш Н. І. Вплив тривалого застосування добрив у зерно-просапній сівоzmіни на агрохімічні властивості ґрунту та продуктивність конюшини лучної.

Вісник Уманського національного університету садівництва. 2019. № 2. С. 25–28. DOI: <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2019-2-25-28>

201. Савченко С. Д. Вплив органічних систем удобрення на агрохімічний стан чорнозему типового малогумусного в короткоротаційній органічній сівозміні Лівобережного Лісостепу України. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2026. Вип. 2 (20). С. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2026.02.03>

202. Савченко С. Д. Вплив культур короткоротаційної сівозміни та органічного удобрення на динаміку продуктивної вологи в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2026. № 6. С. 70–77. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202606-08>

203. Мартинюк І. В., Цимбал Я. С., Тарасенко О. А., Якименко Л. П., Бакумова М. В., Савченко С. Д., Савченко Є. Д. Теоретичні основи формування і функціонування короткоротаційних сівозмін за ведення органічного землеробства в умовах Лісостепу України. Науково-методичні рекомендації. ННЦ «ІЗ НААН». Вінниця: ТВОРИ. 2025. 56 с. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2026/06/9_a5_teoretychni-osnovy-korotkorotatsijnyh-sivozmin.pdf

204. Демиденко О. В., Бойко П. І., Блащук М. І. та ін. Сівозміни та родючість чорнозему Лівобережного Лісостепу: монографія / За ред. О. В. Демиденка / Сміла, 2019. 483 с.

205. Булигін С. Ю., Дегтярьов В. В., Крохін С. В. Гумусний стан чорноземів України. *Вісник аграрної науки*. 2007. № 2. С. 13–16.

206. Величко В. А., Демиденко О. В., Кривда Ю. І. Гумусний стан чорноземів типових лівобережного центрального Лісостепу та відтворення їхньої родючості. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 7. С. 20–24.

207. Демиденко О. В., Шикула М. К. Гумусний стан чорнозему типового в умовах лівобережного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 2. С. 5–11.

208. Bationo A., Buerkert A. Soil organic carbon management for sustainable land use in Soudano-Sahelian West Africa. *Nutrient cycling in Agroecosystems*. 2001. Vol. 61. P. 131–142.
209. Bertolini P., Tian S. Low-temperature biology and pathogenicity of *Penicillium hirsutum* on storage. *Postharvest Biology and Technology*. 1996. Vol. 7, № 1–2. P. 83–89.
210. Buckley D. H., Schmidt T. M. The structure of microbial communities in soil and the lasting impact of cultivation. *Microbial Ecology*. 2001. Vol. 42. P. 11–21.
211. Campbell C. A., Lafond G. P., Zentner R. P., Biederberck V. O. Influence of fertilizer on soil organic matter in a thin black chernozem in western Canada. *Soil Biol. and Biochem.* 1991. Vol. 23, № 5. P. 443–446.
212. Balesdent J., Wagner G., Mariotti A. Soil organic matter turnover in long-term field experiments as revealed by carbon – 13 natural abundance. *Soil Sci. Am. J.* 1988. Vol. 52, № 1. P. 118–124.
213. Pantera H., Zurawski H. The influence of fertilization with straw on the number of micro-organisms of selected groups and on some chemical properties of light soil. 9th Intern. Symp. Soil Biol. and Consery Biosphere. 1987. Vol. 1. P. 513–520.
214. Szegi J. et al. Effect of fertilization and organic matter application on Soil respiration dynamics. 9th Intern. Symp. Soil Biol. and Consery Biosphere. 1987. Vol. 2. P. 743–754.
215. Дегтярьов В. В., Синявін В. Д., Колупаєва Є. М. Особливості нагромадження гумусу в чорноземах типових Лівобережного Лісостепу України в залежності від тривалості і характеру їх сільськогосподарського використання. Матеріали наукової конференції Харківського державного аграрного університету. Харків, 1995. С. 22–24.
216. Примак І. Д., Марчук І. У., Мартинюк І. В. та ін. Добрива в органічному землеробстві: історія, теорія, практика. Монографія / За ред. І. Д. Примака / Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2023. 262 с.
217. Lindeman K., Finck M. Sonnenblumen. *Raps*. 1996. № 1. S. 38–39.

218. Бердніков О. М., Потапенко Л. В., Дацько Л. В., Дацько М. О. Вплив систем удобрення на запаси сполук азоту в дерново-підзолистих ґрунтах. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 6. С. 21–26. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201906-03>

219. Мартиненко В. М. Врожайність культур і родючість чорнозему типового за різного удобрення та обробітку. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2015. Вип. 58, ч. 1. С. 163–173. <https://phzt-journal.isgkr.com.ua/wp-content/uploads/zbirnik/58-1ua/27.pdf>

220. Kolos N. Research of nitrogen regime and humus state of black soils depending on soil tillage technologies. *Science Rise*. 2017. Vol. 12. DOI: <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2017.118803>

221. Demydenko O., Prybluda V., Zapasna Y., Velychko V. Agrogenesis of regraded chernozem and the performance of grain crops under organic system of fertilization. *Agricultural Science and Practice*. 2017. Vol. 4(3). P. 50–61. DOI: <https://doi.org/10.15407/agrisp4.03.050>

222. FAO. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at Breaking Point*. Rome : FAO, 2021. 340 p. URL: <https://www.fao.org/3/cb7654en/cb7654en.pdf>

223. Буслаєва Н. Г., Клименко І. І., Довбаш Н. І. Вплив різних фонів важких металів на варіабельність рухомих форм поживних елементів. Агротехнології для сталого виробництва конкурентоспроможної продукції. Матеріали наук.-практ. конф. Молодих учених і спеціалістів. Чабани, 28–30 листопада 2012 р. Київ: Едельвейс, 2012. С. 54–55.

224. Малишева Л. Л. Ландшафтно-геохімічна оцінка екологічного стану території. Київ: Київський університет, 1998. 131 с.

225. Малишева Л. Л. Геохімія ландшафтів. Київ: Либідь, 2000. 470 с.

226. Макаренко Н. А. Контроль за вмістом важких металів у ґрунті. *Вісник аграрної науки*, 2001. № 4. С. 55–57.

227. Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4th ed. Boca Raton : CRC Press, 2010. 548 p. DOI: 10.1201/b10158. ISBN 9781420093681.

228. FAO. Global Soil Partnership. Soil Fertility. https://www.fao.org/global-soil-partnership/areas-of-work/soil-fertility/en/?utm_source=chatgpt.com

229. Мислива Т. М., Надточій П. П., Герасимчук Л. О. та ін. Ведення сільськогосподарського виробництва у приватному секторі в умовах посиленого антропогенного впливу на навколишнє середовище: рекомендації / За ред. Т. М. Мисливої / Житомир: Рута, 2011. 50 с.

230. Савченко С. Д. Біологічна активність чорнозему типового під культурами органічних сівозмін. Наукові основи адаптації сучасних систем землеробства в контексті розвитку зеленого курсу: теорія та практика: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів (Чабани, 16 грудня 2024 р.). Чабани: ННЦ «ІЗ НААН», 2024. С. 7–9. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2026/02/scientific-foundations-of-adaptation-2024.pdf>

231. Цимбал Я. С., Савченко С. Д. Вплив культур короткоротаційної сівозміни та систем органічного удобрення на вміст мікроелементів і важких металів у чорноземі типовому в умовах Лівобережного Лісостепу України. Ресурсозберігаючі технології вирощування культурних рослин: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (Біла Церква, 04 червня 2026 р.). Біла Церква: БНАУ, 2026. С. 92–95. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/tezy_resurszberig_teh_vik_kul_roslin_04.06.2026.pdf

232. Бойко П. І., Коваленко Н. П., Панасюк Г. М. та ін. Сівозмінний фактор у боротьбі з бур'янами. Матеріали 4-ї науково теоретичної конференції гербологів «Проблеми бур'янів і шляхи зниження забур'яненості орних земель». Київ: Колообіг, 2004. С. 78–83.

233. Іващенко О. О. Гербологія: Напрямки досліджень. Захист рослин. 2000. № 4. С. 3–4.

234. Методика польових досліджень з контролювання забур'яненості посівів культур в органічному землеробстві. Коломієць М. В., Брухаль Ф. Й., Пташнік М. М., Красюк Л. М., Заяць П. С. Вінниця: ТОВ «Твори», 2020. 32 с.

235. Іващенко О. О., Кунак В. Д. Чому зростає потенційна засміченість полів? *Захист рослин*. 1998. № 7. С. 24–25.
236. Андреева Н. М., Купінець Л. Є. Органічне виробництво як складова механізму екологізації економіки та забезпечення продовольчої безпеки України. Житомир: «Полісся», 2014. С. 51–55.
237. Довідник міжнародних стандартів для органічного виробництва / За ред. М. В. Капштика, О. О. Котирло. Київ: СПД Горобець Г. С., 2007. 356 с.
238. Fernando M., Shrestha A. The Potential of Cover Crops for Weed Management: A Sole Tool or Component of an Integrated Weed Management System? *Plants*. 2023. Vol. 12, No. 4. Article 752. <https://doi.org/10.3390/plants12040752>
239. Malaspina M., Chantre G. R., Yanniccari M. Effect of cover crop mixtures on weed suppression capacity in a dry sub-humid environment of Argentina. *Frontiers in Agronomy*. 2023. Vol. 5. DOI: <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1330073>
240. Osipitan O. A., Dille J. A., Assefa Y., Knezevic S. Z. Cover Crop for Early Season Weed Suppression in Crops: Systematic Review and Meta-Analysis. *Agronomy Journal*. 2018. Vol. 110, No. 6. P. 2211–2221. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.12.0752>
241. Allam M., Radicetti E., Hassine M. B. et al. A Meta-Analysis Approach to Estimate the Effect of Cover Crops on the Grain Yield of Succeeding Cereal Crops within European Cropping Systems. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, No. 9. Article 1714. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13091714>
242. Płaza A., Niewiadomska A., Górski R., Rosa R. A combination of bacterial products and cover crops as an innovative method of weed control in organic spring barley. *Journal of Plant Protection Research*. 2023. Vol. 63, No. 2. P. 196–207. DOI: <https://doi.org/10.24425/jppr.2023.144510>
243. Górski R., Rosa R., Niewiadomska A. et. al. The Use of a Composition of Bacterial Consortia and Living Mulch to Reduce Weeds in Organic Spring Barley. Cultivation as an Element of Sustainable Plant Production. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, No. 12. Article 5268. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16125268>

244. Groß J., Kümmerer R., Heuermann D., et al. Improving dual cover crop mixtures to increase shoot biomass production and weed suppression potential. *Frontiers in Agronomy*. 2024. Vol. 6. DOI: <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1416379>

245. Barroso J., Reardon C. L., Singh S., et al. Biomass Production, Weed Suppression, and Soil Water Use of Cover Crops in Dryland Wheat Production Systems. *Agronomy Journal*. 2025. Vol. 117. № 2. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.70053>

246. Савченко С. Д. Ефективність застосування систем органічного удобрення на забур'яненість посівів культур короткоротаційної сівоzmіни в умовах Лівобережного Лісостепу України. Ресурсозберігаючі технології вирощування культурних рослин: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (Біла Церква, 04 червня 2026 р.). Біла Церква: БНАУ, 2026. С. 71–74.
chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/tezy_resurszberig_teh_vik_kul_roslin_04.06.2026.pdf

247. Rafique M., Naveed M., Mumtaz M. Z. et al. Tripartite microbial augmentation of *Bradyrhizobium diazoefficiens*, *Bacillus* sp. MN54, and *Piriformospora indica* on growth, yield, and nutrient profiling of soybean (*Glycine max* L.). *Frontiers in Microbiology*. 2025. Vol. 15. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1437489>

248. Hou T., Jiang C., Wang X., Fan E. et al. Effects of Microbial Inoculants Combined with Maize Straw on Physicochemical Properties and Microbial Community Structure in Black Soil During Soybean Growth. *Agronomy*. 2026. Vol. 16, No. 9. Article 856. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy16090856>

249. Chang X., He H., Cheng L. et al. Combined Application of Chemical and Organic Fertilizers: Effects on Yield and Soil Nutrients in Spring Wheat under Drip Irrigation. *Agronomy*. 2024. Vol. 14, No. 4. Article 655. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14040655>

250. Fallah S., Dastgerdi H. A., Kaul H.-P., Salehi A. Subsurface Banding of Poultry Manure Enhances Photosynthetic Efficiency, Yield, and Nutrient Uptake in Buckwheat. *Plants*. 2025. Vol. 14, No. 17. Article 2700. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants14172700>

251. Дідур І. М. Технологічні прийоми вирощування та особливості вегетації сої в умовах Правобережного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2026. № 1. С. 40–47. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202601-04>

252. Малиновська І. М., Черниш О. О., Джула В. М. Зразок багатофункціональної дії для вирощування ярої пшениці. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 12. С. 15–19. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201612-03>

253. Кислинська А. С., Халеп Ю. М. Економічна та біоенергетична ефективність комплексної передпосівної обробки насіння гречки препаратами Хетомік та Діазобактерин. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 8. С. 73–79. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201908-12>

254. Jesulana O. S., Olowe V. I., Adeyemi O. R., Adejuyigbe C. O. Agronomic response of soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill) to organic soil and foliar fertilisation in a forest savanna transitory location. *Agricultura Tropica et Subtropica*. 2021. Vol. 54. P. 97–103. <https://doi.org/10.2478/ats-2021-0010>

255. Herlinawati E., Lei X., Yang M., Hu C., Yang X., Zhang S. Variety-Dependent Yield and Physiological Responses to Combined Inorganic and Organic Sources of Nitrogen in Wheat. *Agronomy*. 2025. Vol. 15, No. 7. Article 1679. <https://doi.org/10.3390/agronomy15071679>

256. González-Villagra J., Solano J., Ávila K., Tranamil-Manquein J., Tighe-Neira R., Ribera-Fonseca A., Inostroza-Blancheteau C. Physiological Performance and Grain Yield Components of Common Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) Cultivated Under Different N Rates. *Plants*. 2025. Vol. 14, No. 13. Article 2037. <https://doi.org/10.3390/plants14132037>

257. Wilkinson A., Wilkinson J. N., Shotton P., Sufar E. K. et al. Improving Crop Health, Performance, and Quality in Organic Spring Wheat Production: The Need to Understand Interactions between Pedoclimatic Conditions, Variety, and

Fertilization. *Agronomy*. 2023. Vol. 13, No. 9. Article 2349. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13092349>

258. Ciftci B., Akcura S., Varol İ. S., Kardes Y. M., Tas I., Kaplan M. Grain Yield and Nutritional Properties of Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) Grown with Varying Nitrogen Doses and Irrigation Levels. *BMC Plant Biology*. 2025. Vol. 25. Article 943. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06921-z>

259. Assefa Y., Purcell L. C., Salmeron M., Naeve S. et al. Assessing Variation in US Soybean Seed Composition (Protein and Oil). *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. Article 298. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00298>

260. Savchenko S. D. Efficiency of spring wheat cultivation in short-rotation organic crop rotation under Left-Bank Forest-Steppe conditions. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2024. Вип. 2 (12). С. 20–24. DOI: 10.54651/agri.2024.02.03

261. Мартинюк І. В., Цимбал Я. С., Савченко С. Д., Савченко Є. Д. Ефективність вирощування круп'яних культур у короткоротаційних органічних сівозмінах Лівобережного Лісостепу України. *Вісник аграрної науки*. 2024. № 11. С. 5–10. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202411-01>

262. Савченко С. Д. Ефективність вирощування гречки за органічного землеробства в Лівобережному Лісостепу. Інноваційні напрями розвитку технологій управління землями сільськогосподарського призначення: теорія та практика: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів (Чабани, 27 листопада 2023 р.). Чабани: ННЦ «ІЗ НААН», 2023. С. 51–53. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2025/02/innovative-areas-of-development.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2025/02/innovative-areas-of-development.pdf)

263. Мартинюк І. В., Цимбал Я. С., Савченко С. Д., Савченко Є. Д. Вирощування сої в короткоротаційній сівозміні за органічного землеробства. Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції (Іллінці, 17 червня 2025 р.). Іллінці, 2025. С. 19–22. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2025/02/innovative-areas-of-development.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2025/02/innovative-areas-of-development.pdf)

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2025/10/konferencia-2025.pdf

264. Gao, X., He, Y., Chen, Y., & Wang, M. Leguminous green manure amendments improve maize yield by increasing N and P fertilizer use efficiency in yellow soil of the Yunnan-Guizhou Plateau. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2024. 8, Article 1369571. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1369571>

265. Кравченко Ю. С. Відтворення родючості чорноземів України за ґрунтозахисного землеробства. *Агробіологія*. 2020. № 1. С. 67–79. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-157-1-67-79>. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://agrobiologiya.btsau.edu.ua/sites/default/files/visnyky/agrobiologiya/kravchenko_1_2020_0.pdf

266. Balaiev A., Pikovska O., Karabach K., Shemetun K. Labile organic matter and fertility of chernozems. *Plant and Soil Science*. 2023. Vol. 14, № 2. P. 9–20. DOI: <https://doi.org/10.31548/plant2.2023.09>

267. Войтовик М. В., Примак І. Д., Цюк О. А., Мельник В. І. Родючість чорнозему типового за багаторічного основного обробітку ґрунту в короткоротаційній сівоzmіні. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2023. Т. 19, № 3. [https://doi.org/10.31548/dopovidi3\(103\).2023.008](https://doi.org/10.31548/dopovidi3(103).2023.008)

268. Kumar S., Diksha, Sindhu S. S., Kumar R. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*. 2022. Vol. 3. Article 100094. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crmier.2021.100094>

269. Krause, H. M., Mäder, P., Fliessbach, A., Jarosch, K. A., Oberson, A., & Mayer, J. Organic cropping systems balance environmental impacts and agricultural production. *Scientific Reports*, 2024. 14, Article 25537. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76776-1>

270. Лебідь С. М., Андрусенко І. І., Пабат І. А. Сівоzmіни при інтенсивному землеробстві. Київ: Урожай, 1992. 222 с.

271. Разводовський А. М. Зернобобові культури в інтенсивному землеробстві. Київ: Урожай, 1990. 176 с.

272. Лебідь С. М., Сокрута І. Ф., Белогуров В. А. Ефективність попередників озимої пшениці залежно від добрив. *Вісник сільськогосподарської науки*. 1981. № 17. С. 14–16.

273. Haruna S. I., & Nkongolo N. V. Tillage, cover crop and crop rotation effects on selected soil chemical properties. *Sustainability*, 2019. 11(10), 2770. <https://doi.org/10.3390/su11102770>

274. Бойко П. І., Коваленко Н. П. Проблеми екологічно врівноважених сівозмін. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 8. С. 9–13.

275. Цимбал Я. С. Ефективність вирощування сільськогосподарських культур у короткоротаційних сівозмінах Лівобережного Лісостепу. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2024. Вип. 1 (11). С. 24–30.

Додатки

Додаток А

Характеристика погодних умов за 2023 рік

Місяць	Сума опадів, мм					Температура повітря, °С				
	норма	фактична				норма	фактична			
		I	II	III	сума		I	II	III	середнє
Січень	23	6	1	3	10	-6,5	-0,7	-0,1	-1,9	-0,9
Лютий	21	9	7	8	24	-5,2	-3,2	0,2	-0,2	-1,1
Березень	22	3	10	29	42	-0,3	1,5	3,8	7,9	4,4
Квітень	34	36	31	16	83	8,3	8,8	9,4	10,7	9,6
Травень	44	0	0	10	10	15,0	11,0	17,0	17,8	15,3
Червень	58	6	43	11	60	18,1	18,3	19,5	20,1	19,3
Липень	66	93	23	46	162	19,4	21,8	20,6	19,8	20,7
Серпень	34	28	22	0	50	18,6	21,9	22,4	23,0	22,4
Вересень	40	13	13	1	27	13,6	17,3	17,1	18,5	17,6
Жовтень	35	8	23	41	72	7,5	10,9	9,3	11,6	10,6
Листопад	34	24	36	50	110	1,5	9,4	4,0	-1,7	3,9
Грудень	31	12	35	17	64	-3,0	-3,0	0,7	0,4	-0,6
За рік	442	238	244	232	714	7,3	9,5	10,3	10,5	10,1

Характеристика погодних умов за 2024 рік

Місяць	Сума опадів, мм					Температура повітря, °С				
	норма	фактична				норма	фактична			
		I	II	III	сума		I	II	III	середнє
Січень	23	14	9	10	33	-6,5	-4,5	-4,0	-0,7	-3,1
Лютий	21	27	16	7	50	-5,2	1,6	2,2	3,3	2,4
Березень	22	1	23	27	51	-0,3	1,4	3,3	7,4	4,0
Квітень	34	2	50	31	83	8,3	13,4	11,8	12,0	12,4
Травень	44	0	0,5	10	10,5	15,0	13,8	12,8	19,6	15,4
Червень	58	27	19	9	55	18,1	21,3	20,7	21,6	21,2
Липень	66	1	0	32	33	19,4	24,2	27,2	21,8	24,4
Серпень	34	39	0,5	0	39,5	18,6	20,7	21,1	24,1	22,0
Вересень	40	0	2	0	2	13,6	21,2	20,2	18,2	19,9
Жовтень	35	47	38	0	85	7,5	14,7	8,9	8,3	10,6
Листопад	34	2	1	44	47	1,5	5,1	3,0	-0,7	2,5
Грудень	31	16	29	0	45	-3,0	-0,5	0,1	0,3	0,0
За рік	442	176	188	170	534	7,3	11,0	10,6	11,3	11,0

Характеристика погодних умов за 2025 рік

Місяць	Сума опадів, мм					Температура повітря, °С				
	норма	фактична				норма	фактична			
		I	II	III	сума		I	II	III	середнє
Січень	23	3	9	7	19	-6,5	1,9	0,2	3,1	1,7
Лютий	21	3	8	0	11	-5,2	-2,3	-7,5	-6,6	-5,5
Березень	22	1	13	10	24	-0,3	5,6	5,5	7,5	6,2
Квітень	34	40	0	0	40	8,3	5,3	11,7	14,6	10,5
Травень	44	29	22	38	89	15,0	11,5	11,8	18,9	14,1
Червень	58	7	7	22	36	18,1	21,5	17,0	17,2	18,6
Липень	66	29	14	22	65	19,4	22,8	21,3	22,5	22,2
Серпень	34	9	7	22	38	18,6	21,0	18,8	18,8	19,5
Вересень	40	14	8	5	27	13,6	19,0	16,4	11,9	15,8
Жовтень	35	21	18	25	64	7,5	10,0	7,6	8,0	8,5
Листопад	34	1	12	36	49	1,5	7,7	4,9	5,9	6,2
Грудень	31	6	6	14	26	-3,0	2,8	1,6	-2,5	0,6
За рік	442	163	124	201	488	7,3	10,6	9,1	9,9	9,9

Додаток Б 1

**Вміст продуктивної вологи в ґрунті на час сівби зернових культур, мм,
2023 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	0–50	0–100
Соя	п. п. п.* (контроль)	33,5	82,0	155,0
	п. п. п. + сидерат**	32,0	67,9	134,3
	п. п. п. + біодобриво***	32,2	68,1	128,8
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	32,5	69,6	105,4
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		32,6±0,4	71,9±3,9	130,9±11,8
$V, \%$		2,0	9,4	15,6
S		0,7	6,8	20,4
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	33,4	81,1	153,2
	п. п. п. + сидерат	34,0	79,3	137,4
	п. п. п. + біодобриво	33,6	77,4	139,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	28,3	63,4	146,8
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		32,3±1,6	75,3±4,7	144,2±4,2
$V, \%$		8,3	10,7	5,0
S		2,7	8,1	7,2
Гречка	п. п. п. (контроль)	32,4	81,2	133,2
	п. п. п. + сидерат	33,0	80,3	139,8
	п. п. п. + біодобриво	33,8	80,6	140,6
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	32,3	74,4	146,8
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		32,9±0,4	79,1±1,8	140,1±3,2
$V, \%$		2,1	4,0	4,0
S		0,7	3,2	5,6

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – зірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Вміст продуктивної вологи в ґрунті на час сівби зернових культур, мм,
2024 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	0–50	0–100
Соя	п. п. п.* (контроль)	34,7	81,0	137,5
	п. п. п. + сидерат**	34,8	75,3	125,5
	п. п. п. + біодобриво***	33,9	72,6	134,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	31,8	81,5	145,9
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		33,8±0,8	77,6±2,5	135,8±4,9
$V, \%$		4,1	5,6	6,2
S		1,4	4,4	8,4
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	44,9	89,1	183,8
	п. п. п. + сидерат	35,9	91,7	170,4
	п. п. п. + біодобриво	35,2	88,1	172,3
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	34,0	82,9	165,4
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		37,5±2,9	88,0±2,1	173,0±4,5
$V, \%$		13,3	4,2	4,5
S		5,0	3,7	7,8
Гречка	п. п. п. (контроль)	27,4	94,0	210,6
	п. п. п. + сидерат	35,3	96,5	180,3
	п. п. п. + біодобриво	30,2	94,4	178,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	27,6	73,8	156,3
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		30,1±2,1	89,7±6,1	181,4±12,9
$V, \%$		12,2	11,9	12,3
S		3,7	10,6	22,3

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – зірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Вміст продуктивної вологи в ґрунті на час сівби зернових культур, мм,
2025 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	0–50	0–100
Соя	п. п. п.* (контроль)	32,9	76,3	144,4
	п. п. п. + сидерат**	30,0	77,6	151,3
	п. п. п. + біодобриво***	31,1	78,4	152,3
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	33,5	79,4	155,9
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		31,9±0,9	77,9±0,8	151,0±2,8
$V, \%$		5,1	1,7	3,2
S		1,6	1,3	4,8
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	47,4	63,3	165,1
	п. п. п. + сидерат	43,5	61,8	160,3
	п. п. п. + біодобриво	42,6	64,4	162,8
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	43,7	72,7	169,8
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		44,3±1,2	65,6±2,8	164,5±2,3
$V, \%$		4,8	7,5	2,5
S		2,1	4,9	4,0
Гречка	п. п. п. (контроль)	29,7	59,3	133,7
	п. п. п. + сидерат	24,1	61,8	128,2
	п. п. п. + біодобриво	26,2	60,0	128,7
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	29,3	60,1	129,1
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		27,3±1,5	60,3±0,6	129,9±1,5
$V, \%$		9,7	1,8	2,0
S		2,7	1,1	2,5

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Додаток Б 2

Вміст продуктивної вологи в ґрунті на час збирання врожаю зернових культур, мм, 2023 рік

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	0–50	0–100
Соя	п. п. п.* (контроль)	6,7	18,4	47,3
	п. п. п. + сидерат**	7,2	18,7	66,1
	п. п. п. + біодобриво***	7,1	18,9	69,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	7,3	20,8	71,7
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		7,1±0,2	19,2±0,6	63,6±6,4
$V, \%$		3,7	5,7	17,5
S		0,3	1,1	11,1
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	41,8	83,6	109,0
	п. п. п. + сидерат	38,0	88,8	117,7
	п. п. п. + біодобриво	39,4	90,2	120,6
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	40,0	93,3	127,6
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		39,8±0,9	89,0±2,3	118,7±4,4
$V, \%$		4,0	4,5	6,5
S		1,6	4,0	7,7
Гречка	п. п. п. (контроль)	19,0	32,8	70,9
	п. п. п. + сидерат	17,9	29,8	52,7
	п. п. п. + біодобриво	18,0	30,4	64,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	16,2	25,3	96,8
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		17,8±0,7	29,6±1,8	71,2±10,8
$V, \%$		6,5	10,6	26,3
S		1,2	3,1	18,7

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Вміст продуктивної вологи в ґрунті на час збирання врожаю зернових культур, мм, 2024 рік

Культура сівоzmіни	Система удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	0–50	0–100
Соя	п. п. п.* (контроль)	8,6	12,6	21,2
	п. п. п. + сидерат**	5,7	12,2	17,9
	п. п. п. + біодобриво***	6,8	13,1	19,0
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	7,4	14,9	22,3
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		7,1±0,7	13,2±0,7	20,1±1,2
$V, \%$		17,0	9,0	10,0
S		1,2	1,2	2,0
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	4,2	8,3	12,4
	п. п. п. + сидерат	5,3	6,6	11,9
	п. п. п. + біодобриво	5,0	8,8	12,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	4,3	11,2	15,6
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		4,7±0,3	8,7±1,1	13,0±1,0
$V, \%$		11,4	21,8	13,3
S		0,5	1,9	1,7
Гречка	п. п. п. (контроль)	9,3	19,4	28,7
	п. п. п. + сидерат	11,2	13,1	24,3
	п. п. п. + біодобриво	10,1	14,9	24,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	8,0	17,1	17,1
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		9,7±0,8	16,1±1,6	23,6±2,8
$V, \%$		14,0	16,9	20,4
S		1,3	2,7	4,8

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Вміст продуктивної вологи в ґрунті на час збирання врожаю зернових культур, мм, 2025 рік

Культура сівоzmіни	Система удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	0–50	0–100
Соя	п. п. п.* (контроль)	20,7	17,0	36,2
	п. п. п. + сидерат**	17,3	16,8	45,3
	п. п. п. + біодобриво***	15,8	18,7	44,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	13,3	22,5	45,3
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		16,8±1,8	18,8±1,5	42,8±2,6
$V, \%$		18,4	14,1	10,3
S		3,1	2,6	4,4
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	15,8	13,4	36,3
	п. п. п. + сидерат	17,1	20,8	43,5
	п. п. п. + біодобриво	17,7	21,2	40,3
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	18,9	23,9	38,9
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		17,4±0,7	19,8±2,6	39,8±1,7
$V, \%$		7,4	22,7	7,5
S		1,3	4,5	3,0
Гречка	п. п. п. (контроль)	17,3	14,4	31,9
	п. п. п. + сидерат	15,5	10,3	28,7
	п. п. п. + біодобриво	16,4	10,4	26,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	18,4	10,1	26,8
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		16,9±0,7	11,3±1,2	28,4±1,5
$V, \%$		7,3	18,3	9,0
S		1,2	2,1	2,6

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Додаток Б 3

Динаміка продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см, за 2023 рік

Культура	Система удобрення	Запаси вологи в ґрунті, мм		Витрати вологи з ґрунту, мм	Випало опадів за період вегетації, мм	Загальні витрати вологи, мм
		перед посівом	в кінці вегетації			
Соя	п. п. п.* (контроль)	155,0	47,3	107,7	308,5	416,2
	п. п. п. + сидерат**	134,3	66,1	68,2	308,5	376,7
	п. п. п. + біодобриво***	128,8	69,4	59,4	308,5	367,9
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	105,4	71,7	33,7	308,5	342,2
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		130,9±11,8	63,6±6,4	67,3±17,7	–	375,8±17,7
$V, \%$		15,6	17,5	45,6	–	8,2
S		20,4	11,1	30,7	–	30,7
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	153,2	109,0	44,2	256,0	300,2
	п. п. п. + сидерат	137,4	117,7	19,7	256,0	275,7
	п. п. п. + біодобриво	139,4	120,6	18,8	256,0	274,8
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	146,8	127,6	19,2	256,0	275,2
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		144,2±4,2	118,7±4,4	25,5±7,2	–	281,5±7,2
$V, \%$		5,0	6,5	49,0	–	4,4
S		7,2	7,7	12,5	–	12,5
Гречка	п. п. п. (контроль)	133,2	70,9	62,3	308,0	370,3
	п. п. п. + сидерат	139,8	52,7	87,1	308,0	395,1
	п. п. п. + біодобриво	140,6	64,2	76,4	308,0	384,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	146,8	96,8	50,0	308,0	358,0
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		140,1±3,2	71,2±10,8	69,0±9,4	–	377,0±9,4
$V, \%$		4,0	26,3	23,5	–	4,3
S		5,6	18,7	16,2	–	16,2

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Динаміка продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см, за 2024 рік

Культура	Система удобрення	Запаси вологи в ґрунті, мм		Витрати вологи з ґрунту, мм	Випало опадів за період вегетації, мм	Загальні витрати вологи, мм
		перед посівом	в кінці вегетації			
Соя	п. п. п.* (контроль)	137,5	21,2	116,3	134,5	250,8
	п. п. п. + сидерат**	125,5	17,9	107,6	134,5	242,1
	п. п. п. + біодобриво***	134,2	19,0	115,2	134,5	249,7
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	145,9	22,3	123,6	134,5	258,1
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		135,8±4,9	20,1±1,2	115,7±3,8	–	250,2±3,8
V, %		6,2	10,0	5,7	–	2,6
S		8,4	2,0	6,5	–	6,5
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	183,8	12,4	171,4	147,3	318,7
	п. п. п. + сидерат	170,4	11,9	158,5	147,3	305,8
	п. п. п. + біодобриво	172,3	12,2	160,1	147,3	307,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	165,4	15,6	149,8	147,3	297,1
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		173,0±4,5	13,0±1,0	160,0±5,1	–	307,3±5,1
V, %		4,5	13,3	5,5	–	2,9
S		7,8	1,7	8,9	–	8,9
Гречка	п. п. п. (контроль)	210,6	28,7	181,9	134,5	316,4
	п. п. п. + сидерат	180,3	24,3	156,0	134,5	290,5
	п. п. п. + біодобриво	178,4	24,4	154,0	134,5	288,5
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	156,3	17,1	139,2	134,5	273,7
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		181,4±12,9	23,6±2,8	157,8±10,2	–	292,3±10,2
V, %		12,3	20,4	11,2	–	6,1
S		22,3	4,8	17,7	–	17,7

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Динаміка продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см, за 2025 рік

Культура	Система удобрення	Запаси вологи в ґрунті, мм		Витрати вологи з ґрунту, мм	Випало опадів за період вегетації, мм	Загальні витрати вологи, мм
		перед посівом	в кінці вегетації			
Соя	п. п. п.* (контроль)	144,4	36,2	108,2	212,0	320,2
	п. п. п. + сидерат**	151,3	45,3	106,0	212,0	318,0
	п. п. п. + біодобриво***	152,3	44,4	107,9	212,0	319,9
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	155,9	45,3	110,6	212,0	322,6
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		151,0±2,8	42,8±2,6	108,2±1,1	–	320,2±1,1
V, %		3,2	10,3	1,7	–	0,6
S		4,8	4,4	1,9	–	1,9
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	165,1	36,3	128,8	246,3	375,1
	п. п. п. + сидерат	160,3	43,5	116,8	246,3	363,1
	п. п. п. + біодобриво	162,8	40,3	122,5	246,3	368,8
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	169,8	38,9	130,9	246,3	377,2
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		164,5±2,3	39,8±1,7	124,8±3,7	–	371,1±3,7
V, %		2,5	7,5	5,1	–	1,7
S		4,0	3,0	6,4	–	6,4
Гречка	п. п. п. (контроль)	133,7	31,9	101,8	242,0	343,8
	п. п. п. + сидерат	128,2	28,7	99,5	242,0	341,5
	п. п. п. + біодобриво	128,7	26,2	102,5	242,0	344,5
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	129,1	26,8	102,3	242,0	344,3
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		129,9±1,5	28,4±1,5	101,5±0,8	–	343,5±0,8
V, %		2,0	9,0	1,4	–	0,4
S		2,5	2,6	1,4	–	1,4

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Додаток В

**Вплив сівозмінного фактору та систем органічного удобрення на
споживання вологи культурами сівозміни, 2023 рік**

Культура	Система удобрення	Загальні витрати вологи культурою за вегетацію, мм	Сумарний урожай абсолютно сухої речовини (основна та побічна продукція), т/га	Витрати вологи на одиницю абсолютно сухої речовини урожаю, м³/т
Соя	п. п. п.* (контроль)	416,2	3,61	1152,9
	п. п. п. + сидерат**	376,7	4,11	916,5
	п. п. п. + біодобриво***	367,9	4,19	878
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	342,2	4,5	760,4
$\bar{X} \pm S \bar{x}$		375,8±15,3	4,10±0,18	927,0±82,3
$V, \%$		8,2	9,0	17,8
S		30,7	0,37	164,6
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	300,2	4,16	721,6
	п. п. п. + сидерат	275,7	5,72	482
	п. п. п. + біодобриво	274,8	5,74	478,7
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	275,2	6,62	415,7
$\bar{X} \pm S \bar{x}$		281,5±6,2	5,56±0,51	524,5±67,4
$V, \%$		4,4	18,4	25,7
S		12,5	1,02	134,9
Гречка	п. п. п. (контроль)	370,3	3,02	1226,2
	п. п. п. + сидерат	395,1	3,86	1023,6
	п. п. п. + біодобриво	384,4	3,92	980,6
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	358	4,32	828,7
$\bar{X} \pm S \bar{x}$		377,0±8,1	3,78±0,27	1014,8±81,9
$V, \%$		4,3	14,5	16,1
S		16,2	0,55	163,9

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Вплив сівозмінного фактору та систем органічного удобрення на
споживання вологи культурами сівозміни, 2024 рік**

Культура	Система удобрення	Загальні витрати вологи культурою за вегетацію, мм	Сумарний урожай абсолютно сухої речовини (основна та побічна продукція), т/га	Витрати вологи на одиницю абсолютно сухої речовини урожая, м ³ /т
Соя	п. п. п.* (контроль)	250,8	2,52	995,2
	п. п. п. + сидерат**	242,1	3,28	738,1
	п. п. п. + біодобриво***	249,7	3,48	717,5
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	258,1	4,21	613,1
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		250,2±3,3	3,37±0,35	766,0±81,2
$V, \%$		2,6	20,6	21,2
S		6,5	0,69	162,3
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	318,7	6,27	508,3
	п. п. п. + сидерат	305,8	7,3	418,9
	п. п. п. + біодобриво	307,4	7,57	406,1
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	297,1	8,01	370,9
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		307,3±4,4	7,29±0,37	426,1±29,2
$V, \%$		2,9	10,1	13,7
S		8,9	0,74	58,5
Гречка	п. п. п. (контроль)	316,4	3,02	1047,7
	п. п. п. + сидерат	290,5	3,67	791,6
	п. п. п. + біодобриво	288,5	3,73	773,5
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	273,7	4,43	617,8
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		292,3±8,9	3,71±0,29	807,7±89,0
$V, \%$		6,1	15,5	22,0
S		17,7	0,58	178,0

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Вплив сівозмінного фактору та систем органічного удобрення на
споживання вологи культурами сівозміни, 2025 рік**

Культура	Система удобрення	Загальні витрати вологи культурою за вегетацію, мм	Сумарний урожай абсолютно сухої речовини (основна та побічна продукція), т/га	Витрати вологи на одиницю абсолютно сухої речовини урожаю, м ³ /т
Со́я	п. п. п.* (контроль)	320,2	4,00	800,5
	п. п. п. + сидерат**	318,0	4,76	668,1
	п. п. п. + біодобри́во***	319,9	4,89	654,2
	п. п. п. + сидерат + біодобри́во	322,6	5,62	574,0
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		320,2±0,9	4,82±0,33	674,2±46,9
$V, \%$		0,6	13,8	13,9
S		1,9	0,66	93,9
Пшени́ця яра	п. п. п. (контроль)	375,1	6,47	579,8
	п. п. п. + сидерат	363,1	7,81	464,9
	п. п. п. + біодобри́во	368,8	8,93	413,0
	п. п. п. + сидерат + біодобри́во	377,2	10,67	353,5
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		371,1±3,2	8,47±0,89	452,8±48,1
$V, \%$		1,7	21,0	21,2
S		6,4	1,78	96,1
Гре́чка	п. п. п. (контроль)	343,8	3,46	993,6
	п. п. п. + сидерат	341,5	4,13	826,9
	п. п. п. + біодобри́во	344,5	4,27	806,8
	п. п. п. + сидерат + біодобри́во	344,3	5,02	685,9
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		343,5±0,7	4,22±0,32	828,3±63,3
$V, \%$		0,4	15,2	15,3
S		1,4	0,64	126,6

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобри́во*** – «Біо-Гель»*

Додаток Г 1

**Уміст нітратного азоту в ґрунті на час сівби зернових культур, мг/кг,
2023 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	20–40	40–60
Соя	п. п. п.* (контроль)	45,1	26,0	19,7
	п. п. п. + сидерат**	43,2	29,8	24,4
	п. п. п. + біодобриво***	45,8	32,0	27,0
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	59,8	36,3	29,5
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		48,5±3,8	31,0±2,2	25,2±2,1
$V, \%$		15,7	13,9	16,7
S		7,6	4,3	4,2
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	20,9	17,4	29,8
	п. п. п. + сидерат	35,7	18,9	36,9
	п. п. п. + біодобриво	36,8	22,4	36,1
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	39,9	33,6	36,6
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		33,3±4,2	23,1±3,7	34,9±1,7
$V, \%$		25,4	31,7	9,7
S		8,5	7,3	3,4
Гречка	п. п. п. (контроль)	42,2	30,1	28,9
	п. п. п. + сидерат	45,1	31,6	31,2
	п. п. п. + біодобриво	45,4	31,9	31,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	47,5	38,2	32,6
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		45,1±1,1	33,0±1,8	31,0±0,8
$V, \%$		4,8	10,9	5,0
S		2,2	3,6	1,5

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Уміст нітратного азоту в ґрунті на час сівби зернових культур, мг/кг,
2024 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	20–40	40–60
Соя	п. п. п.* (контроль)	28,6	25,5	20,4
	п. п. п. + сидерат**	31,0	25,7	21,4
	п. п. п. + біодобриво***	32,5	27,7	24,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	36,9	31,9	28,7
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		32,3±1,7	27,7±1,5	23,7±1,9
$V, \%$		10,8	10,7	15,7
S		3,5	3,0	3,7
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	41,3	27,8	28,9
	п. п. п. + сидерат	56,9	38,7	31,9
	п. п. п. + біодобриво	53,1	38,4	35,6
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	55,9	39,1	38,9
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		51,8±3,6	36,0±2,7	33,8±2,2
$V, \%$		13,9	15,2	12,9
S		7,2	5,5	4,4
Гречка	п. п. п. (контроль)	44,4	44,0	33,5
	п. п. п. + сидерат	49,0	42,1	36,0
	п. п. п. + біодобриво	49,2	43,0	37,7
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	49,6	44,4	40,6
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		48,1±1,2	43,4±0,5	37,0±1,5
$V, \%$		5,1	2,4	8,1
S		2,4	1,0	3,0

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Уміст нітратного азоту в ґрунті на час сівби зернових культур, мг/кг,
2025 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	20–40	40–60
Соя	п. п. п.* (контроль)	75,6	29,9	21,1
	п. п. п. + сидерат**	85,5	27,1	23,2
	п. п. п. + біодобриво***	85,2	30,1	24,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	83,2	33,8	26,4
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		82,4±2,3	30,2±1,4	23,8±1,1
$V, \%$		5,6	9,1	9,3
S		4,6	2,7	2,2
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	30,4	28,8	22,8
	п. п. п. + сидерат	39,0	25,0	23,4
	п. п. п. + біодобриво	38,8	25,4	23,6
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	39,0	26,7	23,8
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		36,8±2,1	26,5±0,9	23,4±0,2
$V, \%$		11,6	6,5	1,8
S		4,3	1,7	0,4
Гречка	п. п. п. (контроль)	33,6	19,7	17,6
	п. п. п. + сидерат	35,4	21,6	19,9
	п. п. п. + біодобриво	37,2	24,2	20,6
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	49,0	27,6	23,9
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		38,8±3,5	23,3±1,7	20,5±1,3
$V, \%$		17,9	14,7	12,7
S		7,0	3,4	2,6

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Додаток Г 2

**Уміст нітратного азоту в ґрунті на час збирання врожаю зернових культур,
мг/кг, 2023 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	20–40	40–60
Соя	п. п. п.* (контроль)	45,6	24,2	14,4
	п. п. п. + сидерат**	52,9	19,3	19,4
	п. п. п. + біодобриво***	53,2	20,4	18,6
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	54,8	21,5	18,2
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		51,6±2,1	21,4±1,1	17,7±1,1
$V, \%$		7,9	9,8	12,6
S		4,1	2,1	2,2
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	22,6	17,9	16,1
	п. п. п. + сидерат	24,7	17,5	13,9
	п. п. п. + біодобриво	26,3	18,1	15,5
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	32,4	20,9	17,9
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		26,5±2,1	18,6±0,8	15,9±0,8
$V, \%$		15,9	8,4	10,4
S		4,2	1,6	1,7
Гречка	п. п. п. (контроль)	31,5	18,9	10,0
	п. п. п. + сидерат	34,5	25,3	10,5
	п. п. п. + біодобриво	35,4	25,1	10,9
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	37,9	25,5	12,1
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		34,8±1,3	23,7±1,6	10,9±0,4
$V, \%$		7,6	13,5	8,2
S		2,6	3,2	0,9

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Уміст нітратного азоту в ґрунті на час збирання врожаю зернових культур,
мг/кг, 2024 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	20–40	40–60
Соя	п. п. п.* (контроль)	24,3	14,0	9,3
	п. п. п. + сидерат**	25,1	14,0	13,4
	п. п. п. + біодобриво***	25,7	16,1	13,8
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	27,3	20,5	15,8
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		25,6±0,6	16,2±1,5	13,1±1,4
$V, \%$		5,0	19,0	20,9
S		1,3	3,1	2,7
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	13,9	10,8	5,5
	п. п. п. + сидерат	17,1	13,8	5,4
	п. п. п. + біодобриво	17,7	15,2	6,3
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	19,1	16,6	9,4
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		17,0±1,1	14,1±1,2	6,7±0,9
$V, \%$		13,0	17,6	28,2
S		2,2	2,5	1,9
Гречка	п. п. п. (контроль)	11,9	12,4	10,9
	п. п. п. + сидерат	12,1	12,0	11,9
	п. п. п. + біодобриво	13,8	12,7	12,0
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	15,5	14,0	13,5
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		13,3±0,8	12,8±0,4	12,1±0,5
$V, \%$		12,6	6,8	8,9
S		1,7	0,9	1,1

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Уміст нітратного азоту в ґрунті на час збирання врожаю зернових культур,
мг/кг, 2025 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	20–40	40–60
Соя	п. п. п.* (контроль)	10,1	13,2	8,9
	п. п. п. + сидерат**	12,7	14,9	10,1
	п. п. п. + біодобриво***	14,3	15,2	10,3
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	22,0	16,6	11,8
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		14,8±2,6	15,0±0,7	10,3±0,6
$V, \%$		34,6	9,3	11,6
S		5,1	1,4	1,2
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	5,5	7,6	6,2
	п. п. п. + сидерат	8,1	5,4	6,4
	п. п. п. + біодобриво	10,1	8,8	6,9
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	13,2	9,8	8,8
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		9,2±1,6	7,9±0,9	7,1±0,6
$V, \%$		35,2	24,0	16,8
S		3,3	1,9	1,2
Гречка	п. п. п. (контроль)	33,6	16,7	11,2
	п. п. п. + сидерат	32,4	16,1	12,4
	п. п. п. + біодобриво	33,5	16,0	12,6
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	36,1	16,0	12,9
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		33,9±0,8	16,2±0,2	12,3±0,4
$V, \%$		4,6	2,1	6,1
S		1,6	0,3	0,7

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Додаток Д 1

**Уміст рухомих сполук фосфору в ґрунті на час сівби зернових культур,
мг/кг, 2023 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
Соя	п. п. п.* (контроль)	245,0	193,0
	п. п. п. + сидерат**	254,5	197,5
	п. п. п. + біодобриво***	240,2	201,8
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	237,0	223,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		244,2±3,8	203,8±6,6
$V, \%$		3,1	6,5
S		7,6	13,3
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	306,3	280,0
	п. п. п. + сидерат	302,5	272,5
	п. п. п. + біодобриво	304,1	272,7
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	306,3	273,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		304,8±0,9	274,6±1,8
$V, \%$		0,6	1,3
S		1,9	3,6
Гречка	п. п. п. (контроль)	254,5	245,0
	п. п. п. + сидерат	270,0	232,5
	п. п. п. + біодобриво	268,2	218,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	264,5	203,5
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		264,3±3,5	224,9±9,0
$V, \%$		2,6	8,0
S		6,9	17,9

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Уміст рухомих сполук фосфору в ґрунті на час сівби зернових культур,
мг/кг, 2024 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
Соя	п. п. п.* (контроль)	275,0	280,0
	п. п. п. + сидерат**	285,0	270,0
	п. п. п. + біодобриво***	268,4	269,1
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	254,5	259,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		270,7±6,4	269,5±4,3
$V, \%$		4,7	3,2
S		12,8	8,6
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	288,8	272,5
	п. п. п. + сидерат	272,5	288,8
	п. п. п. + біодобриво	254,4	264,8
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	229,5	212,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		261,3±12,7	259,5±16,6
$V, \%$		9,7	12,8
S		25,4	33,2
Гречка	п. п. п. (контроль)	337,5	350,0
	п. п. п. + сидерат	400,0	410,0
	п. п. п. + біодобриво	343,3	304,7
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	331,0	280,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		353,0±15,9	336,2±28,6
$V, \%$		9,0	17,0
S		31,8	57,1

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Уміст рухомих сполук фосфору в ґрунті на час сівби зернових культур,
мг/кг, 2025 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
Соя	п. п. п.* (контроль)	362,5	343,5
	п. п. п. + сидерат**	337,5	300,0
	п. п. п. + біодобриво***	308,9	271,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	296,5	212,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		326,4±14,8	281,7±27,6
$V, \%$		9,1	19,6
S		29,6	55,1
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	312,5	292,5
	п. п. п. + сидерат	300,0	259,0
	п. п. п. + біодобриво	286,7	254,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	280,0	250,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		294,8±7,2	264,0±9,7
$V, \%$		4,9	7,3
S		14,4	19,4
Гречка	п. п. п. (контроль)	275,0	255,0
	п. п. п. + сидерат	287,3	259,0
	п. п. п. + біодобриво	268,1	244,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	264,5	225,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		273,7±5,0	245,8±7,6
$V, \%$		3,7	6,2
S		10,0	15,2

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Додаток Д 2

Уміст рухомих сполук фосфору в ґрунті на час збирання врожаю зернових культур, мг/кг, 2023 рік

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
Соя	п. п. п.* (контроль)	270,0	255,0
	п. п. п. + сидерат**	250,0	240,0
	п. п. п. + біодобриво***	241,1	232,3
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	234,0	248,5
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		248,8±7,8	244,0±5,0
$V, \%$		6,3	4,1
S		15,6	9,9
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	325,0	300,0
	п. п. п. + сидерат	325,0	205,0
	п. п. п. + біодобриво	314,2	218,9
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	300,0	237,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		316,1±5,9	240,2±21,0
$V, \%$		3,7	17,5
S		11,8	41,9
Гречка	п. п. п. (контроль)	250,0	245,0
	п. п. п. + сидерат	225,0	208,5
	п. п. п. + біодобриво	231,2	205,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	240,0	185,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		236,6±5,4	211,0±12,5
$V, \%$		4,6	11,8
S		10,9	25,0

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Уміст рухомих сполук фосфору в ґрунті на час збирання врожаю зернових культур, мг/кг, 2024 рік

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
Соя	п. п. п.* (контроль)	275,0	254,5
	п. п. п. + сидерат**	230,0	264,5
	п. п. п. + біодобриво***	232,2	251,6
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	237,0	254,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		243,6±10,6	256,2±2,9
$V, \%$		8,7	2,2
S		21,2	5,7
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	275,0	264,5
	п. п. п. + сидерат	237,0	234,0
	п. п. п. + біодобриво	238,4	232,7
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	240,0	234,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		247,6±9,2	241,3±7,7
$V, \%$		7,4	6,4
S		18,3	15,5
Гречка	п. п. п. (контроль)	375,0	375,0
	п. п. п. + сидерат	362,5	345,0
	п. п. п. + біодобриво	348,4	327,3
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	325,0	312,5
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		352,7±10,7	340,0±13,4
$V, \%$		6,1	7,9
S		21,4	26,9

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Уміст рухомих сполук фосфору в ґрунті на час збирання врожаю зернових культур, мг/кг, 2025 рік

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
Соя	п. п. п.* (контроль)	325,0	264,5
	п. п. п. + сидерат**	337,0	280,0
	п. п. п. + біодобриво***	334,3	267,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	337,0	283,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		333,3±2,8	273,7±4,6
$V, \%$		1,7	3,3
S		5,7	9,1
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	250,0	250,0
	п. п. п. + сидерат	275,0	290,0
	п. п. п. + біодобриво	288,8	279,3
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	300,0	275,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		278,5±10,8	273,6±8,5
$V, \%$		7,7	6,2
S		21,5	16,9
Гречка	п. п. п. (контроль)	272,5	270,0
	п. п. п. + сидерат	362,5	255,0
	п. п. п. + біодобриво	348,4	250,1
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	359,0	245,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		335,6±21,2	255,0±5,4
$V, \%$		12,7	4,2
S		42,5	10,8

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Додаток Е 1

**Уміст рухомих сполук калію в ґрунті на час сівби зернових культур,
мг/кг, 2023 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
Соя	п. п. п.* (контроль)	187,5	90,0
	п. п. п. + сидерат**	187,5	86,3
	п. п. п. + біодобриво***	177,5	92,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	161,3	97,5
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		178,5±6,2	91,6±2,3
$V, \%$		6,9	5,1
S		12,4	4,7
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	285,0	178,8
	п. п. п. + сидерат	337,5	220,0
	п. п. п. + біодобриво	304,1	187,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	270,0	193,8
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		299,2±14,6	195,0±8,9
$V, \%$		9,7	9,1
S		29,1	17,8
Гречка	п. п. п. (контроль)	182,5	117,5
	п. п. п. + сидерат	216,3	137,5
	п. п. п. + біодобриво	203,2	119,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	187,5	110,0
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		197,4±7,7	121,1±5,8
$V, \%$		7,8	9,6
S		15,4	11,7

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Уміст рухомих сполук калію в ґрунті на час сівби зернових культур,
мг/кг, 2024 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
Соя	п. п. п.* (контроль)	220,0	113,8
	п. п. п. + сидерат**	192,5	122,5
	п. п. п. + біодобриво***	193,8	134,1
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	197,5	140,0
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		201,0±6,4	127,6±5,9
$V, \%$		6,4	9,2
S		12,9	11,7
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	187,5	127,5
	п. п. п. + сидерат	292,5	127,5
	п. п. п. + біодобриво	238,4	128,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	240,0	135,0
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		239,6±21,4	129,6±1,8
$V, \%$		17,9	2,8
S		42,9	3,6
Гречка	п. п. п. (контроль)	410,0	285,0
	п. п. п. + сидерат	396,3	265,0
	п. п. п. + біодобриво	356,1	274,3
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	328,8	277,5
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		372,8±18,6	275,5±4,1
$V, \%$		10,0	3,0
S		37,2	8,3

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Уміст рухомих сполук калію в ґрунті на час сівби зернових культур,
мг/кг, 2025 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
Соя	п. п. п.* (контроль)	328,8	182,5
	п. п. п. + сидерат**	340,0	265,0
	п. п. п. + біодобриво***	334,4	248,9
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	325,0	250,0
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		332,1±3,3	236,6±18,4
$V, \%$		2,0	15,6
S		6,6	36,8
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	216,3	97,5
	п. п. п. + сидерат	192,5	90,0
	п. п. п. + біодобриво	184,7	90,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	161,3	91,5
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		188,7±11,3	92,3±1,8
$V, \%$		12,0	3,8
S		22,7	3,5
Гречка	п. п. п. (контроль)	212,5	76,3
	п. п. п. + сидерат	182,5	86,3
	п. п. п. + біодобриво	179,9	81,5
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	175,0	86,3
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		187,5±8,5	82,6±2,4
$V, \%$		9,1	5,8
S		17,0	4,8

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Додаток Е 2

Уміст рухомих сполук калію в ґрунті на час збирання врожаю зернових культур, мг/кг, 2023 рік

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
Соя	п. п. п.* (контроль)	253,8	143,8
	п. п. п. + сидерат**	192,5	116,3
	п. п. п. + біодобриво***	209,4	117,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	220,0	120,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		218,9±12,9	124,3±6,5
$V, \%$		11,8	10,5
S		25,9	13,1
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	325,0	161,3
	п. п. п. + сидерат	207,5	110,0
	п. п. п. + біодобриво	210,6	108,9
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	220,0	110,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		240,8±28,2	122,6±12,9
$V, \%$		23,4	21,1
S		56,4	25,8
Гречка	п. п. п. (контроль)	150,0	90,0
	п. п. п. + сидерат	122,5	76,3
	п. п. п. + біодобриво	141,1	84,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	153,8	88,8
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		141,9±7,0	84,8±3,1
$V, \%$		9,8	7,3
S		14,0	6,2

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Уміст рухомих сполук калію в ґрунті на час збирання врожаю зернових культур, мг/кг, 2024 рік

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
Соя	п. п. п.* (контроль)	197,5	130,0
	п. п. п. + сидерат**	150,3	106,3
	п. п. п. + біодобриво***	157,1	112,1
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	178,8	122,5
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		170,9±10,7	117,7±5,3
$V, \%$		12,6	9,0
S		21,5	10,6
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	232,5	175,0
	п. п. п. + сидерат	187,5	127,5
	п. п. п. + біодобриво	188,9	141,3
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	195,0	157,5
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		201,0±10,6	150,3±10,3
$V, \%$		10,6	13,6
S		21,3	20,5
Гречка	п. п. п. (контроль)	270,0	337,5
	п. п. п. + сидерат	262,5	285,0
	п. п. п. + біодобриво	251,1	264,3
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	235,0	270,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		254,7±7,6	289,2±16,7
$V, \%$		6,0	11,5
S		15,2	33,4

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Уміст рухомих сполук калію в ґрунті на час збирання врожаю зернових культур, мг/кг, 2025 рік

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см	
		0–20	20–40
Соя	п. п. п.* (контроль)	216,3	76,3
	п. п. п. + сидерат**	201,3	97,5
	п. п. п. + біодобриво***	224,7	97,7
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	265,0	106,3
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		226,8±13,6	94,5±6,4
$V, \%$		12,0	13,5
S		27,2	12,8
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	192,5	107,5
	п. п. п. + сидерат	178,8	102,3
	п. п. п. + біодобриво	204,3	105,5
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	218,8	110,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		198,6±8,5	106,3±1,6
$V, \%$		8,6	3,1
S		17,0	3,3
Гречка	п. п. п. (контроль)	165,0	66,3
	п. п. п. + сидерат	153,8	55,0
	п. п. п. + біодобриво	161,9	61,7
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	175,0	75,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		163,9±4,4	64,5±4,2
$V, \%$		5,3	13,0
S		8,8	8,4

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Додаток Ж
Уміст і запаси гумусу в ґрунті під культурами короткоротаційної органічної сівозміни, за 2023 р.

Система удобрення	Уміст гумусу, %		Запаси гумусу, т/га	
	Шар ґрунту, см			
	0–20	20–40	0–20	20–40
Соя				
П. п. п.* (контроль)	3,11	2,75	77,8	66,0
П. п. п. + сидерат**	3,06	2,52	76,5	60,5
П. п. п. + біодобриво***	3,12	2,64	78,0	63,6
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,20	2,75	80,0	66,0
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	3,12±0,03	2,67±0,05	78,06±0,72	64,02±1,31
$V, \%$	1,86	4,09	1,9	4,1
S	0,06	0,11	1,45	2,62
Пшениця яра				
П. п. п. (контроль)	3,25	2,64	78,0	66,0
П. п. п. + сидерат	3,27	2,76	78,5	69,0
П. п. п. + біодобриво	3,31	2,81	79,4	70,3
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,38	2,88	81,1	72,0
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	3,30±0,03	2,77±0,05	79,26±0,69	69,31±1,26
$V, \%$	1,74	3,65	1,7	3,6
S	0,06	0,10	1,38	2,53
Гречка				
П. п. п. (контроль)	3,11	2,56	74,6	64,0
П. п. п. + сидерат	3,15	2,66	75,6	66,5
П. п. п. + біодобриво	3,18	2,65	76,3	66,3
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,21	2,69	77,0	67,3
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	3,16±0,02	2,64±0,03	75,90±0,51	66,00±0,70
$V, \%$	1,35	2,12	1,4	2,1
S	0,04	0,06	1,03	1,40
Середнє по сівозміні				
П. п. п. (контроль)	3,16	2,65	76,8	65,3
П. п. п. + сидерат	3,16	2,65	76,9	65,3
П. п. п. + біодобриво	3,20	2,70	77,9	66,7
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,26	2,77	79,4	68,4
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	3,20±0,02	2,75±0,06	77,74±0,61	66,44±0,73
$V, \%$	1,56	4,49	1,6	2,2
S	0,05	0,12	1,21	1,47

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Уміст і запаси гумусу в ґрунті під культурами короткоротаційної органічної сівозміни, за 2024 р.

Система удобрення	Уміст гумусу, %		Запаси гумусу, т/га	
	Шар ґрунту, см			
	0–20	20–40	0–20	20–40
Соя				
П. п. п.* (контроль)	2,93	2,65	70,3	66,3
П. п. п. + сидерат**	3,08	2,69	73,9	67,3
П. п. п. + біодобриво***	3,05	2,65	73,2	66,3
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,28	2,69	78,7	67,3
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	3,09±0,07	2,67±0,01	74,04±1,74	66,75±0,29
V, %	4,71	0,86	4,7	0,9
S	0,15	0,02	3,49	0,58
Пшениця яра				
П. п. п. (контроль)	3,08	2,68	73,9	67,0
П. п. п. + сидерат	3,11	2,80	74,6	70,0
П. п. п. + біодобриво	3,06	2,83	73,4	70,8
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,16	2,91	75,8	72,8
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	3,10±0,02	2,81±0,05	74,46±0,52	70,13±1,19
V, %	1,40	3,40	1,4	3,4
S	0,04	0,10	1,04	2,38
Гречка				
П. п. п. (контроль)	3,07	2,55	73,7	63,8
П. п. п. + сидерат	3,08	2,68	73,9	67,0
П. п. п. + біодобриво	3,09	2,68	74,2	67,0
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,20	2,70	76,8	67,5
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	3,11±0,03	2,65±0,03	74,64±0,73	66,31±0,86
V, %	1,95	2,60	1,9	2,6
S	0,06	0,07	1,45	1,72
Середнє по сівозміні				
П. п. п. (контроль)	3,03	2,63	72,6	65,7
П. п. п. + сидерат	3,09	2,72	74,2	68,1
П. п. п. + біодобриво	3,07	2,72	73,6	68,0
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,21	2,77	77,1	69,2
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	3,07±0,04	2,71±0,01	74,38±0,97	67,73±0,74
V, %	2,47	0,82	2,6	2,2
S	0,08	0,02	1,93	1,47

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Уміст і запаси гумусу в ґрунті під культурами короткоротаційної органічної сівозміни, за 2025 р.

Система удобрення	Уміст гумусу, %		Запаси гумусу, т/га	
	Шар ґрунту, см			
	0–20	20–40	0–20	20–40
Соя				
П. п. п.* (контроль)	3,12	2,76	74,9	69,0
П. п. п. + сидерат**	3,06	2,55	73,4	63,8
П. п. п. + біодобриво***	3,15	2,68	75,6	67,0
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,21	2,76	77,0	69,0
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	3,14±0,03	2,69±0,05	75,24±0,75	67,19±1,24
<i>V, %</i>	1,99	3,69	2,0	3,7
<i>S</i>	0,06	0,10	1,50	2,48
Пшениця яра				
П. п. п. (контроль)	3,27	2,70	78,5	67,5
П. п. п. + сидерат	3,28	2,81	78,7	70,3
П. п. п. + біодобриво	3,30	2,85	79,2	71,3
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,36	2,91	80,6	72,8
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	3,30±0,02	2,82±0,04	79,26±0,48	70,44±1,11
<i>V, %</i>	1,22	3,14	1,2	3,1
<i>S</i>	0,04	0,09	0,97	2,21
Гречка				
П. п. п. (контроль)	3,12	2,57	74,9	64,3
П. п. п. + сидерат	3,16	2,69	75,8	67,3
П. п. п. + біодобриво	3,19	2,69	76,6	67,3
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,22	2,71	77,3	67,8
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	3,17±0,02	2,67±0,03	76,14±0,51	66,63±0,80
<i>V, %</i>	1,35	2,40	1,3	2,4
<i>S</i>	0,04	0,06	1,03	1,60
Середнє по сівозміні				
П. п. п. (контроль)	3,17	2,68	76,1	66,9
П. п. п. + сидерат	3,17	2,68	76,0	67,1
П. п. п. + біодобриво	3,21	2,74	77,1	68,5
П. п. п. + сидерат + біодобриво	3,26	2,79	78,3	69,8
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	3,20±0,03	2,72±0,02	76,88±0,54	68,08±0,68
<i>V, %</i>	1,63	1,66	1,4	2,0
<i>S</i>	0,05	0,05	1,09	1,37

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Додаток К

**Уміст лужногідролізного азоту та рН в ґрунті під культурами
короткоротаційної органічної сівозміни, 2023 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см			
		0–20	20–40	0–20	20–40
		N лужногідролізний азот		pH _{сол.}	
Со́я	п. п. п.* (контроль)	109,2	92,0	5,9	5,7
	п. п. п. + сидерат**	109,8	97,6	5,9	5,7
	п. п. п. + біодобри́во	112,4	97,7	6,0	5,6
	п. п. п. + сидерат + біодобри́во***	116,2	99,0	6,4	5,6
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		111,9±1,6	96,6±1,6	6,1±0,12	5,7±0,03
V, %		2,8	3,2	3,9	1,0
S		3,2	3,1	0,24	0,06
Пшени́ця яра	п. п. п. (контроль)	109,2	75,6	6,6	5,9
	п. п. п. + сидерат	112,0	86,8	6,4	6,0
	п. п. п. + біодобри́во	114,7	86,8	6,4	6,1
	п. п. п. + сидерат + біодобри́во	119,0	88,2	6,3	6,2
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		113,7±2,1	84,4±2,9	6,4±0,06	6,1±0,06
V, %		3,7	7,0	2,0	2,1
S		4,2	5,9	0,13	0,13
Гречка	п. п. п. (контроль)	117,6	103,6	6,1	5,9
	п. п. п. + сидерат	119,0	105,0	6,0	5,6
	п. п. п. + біодобри́во	119,6	105,2	5,8	5,5
	п. п. п. + сидерат + біодобри́во	121,0	105,6	5,8	5,6
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		119,3±0,7	104,9±0,4	5,9±0,08	5,7±0,09
V, %		1,2	0,8	2,5	3,1
S		1,4	0,9	0,15	0,17
Середнє по сівозміні					
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		115,0±1,7	95,3±1,6	6,1±0,03	5,8±0,02
V, %		2,5	3,4	1,0	0,7
S		2,9	3,3	0,06	0,04

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобри́во*** – «Біо-Гель»*

**Уміст лужногідролізного азоту та рН в ґрунті під культурами
короткоротаційної органічної сівозміни, 2024 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см			
		0–20	20–40	0–20	20–40
		N лужногідролізний азот		pH _{сол.}	
Со́я	п. п. п.* (контроль)	121,8	95,2	5,7	5,6
	п. п. п. + сидерат**	127,4	102,2	5,7	5,5
	п. п. п. + біодобри́во	127,7	104,1	5,6	5,4
	п. п. п. + сидерат + біодобри́во***	129,0	106,6	5,7	5,6
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		126,5±1,6	102,0±2,4	5,7±0,03	5,5±0,05
$V, \%$		2,5	4,8	0,9	1,7
S		3,2	4,9	0,05	0,10
Пшени́ця яра	п. п. п. (контроль)	126,0	102,0	5,8	5,4
	п. п. п. + сидерат	131,6	107,6	5,9	5,4
	п. п. п. + біодобри́во	133,7	108,3	5,9	5,5
	п. п. п. + сидерат + біодобри́во	138,8	108,9	6,0	5,5
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		132,5±2,6	106,7±1,6	5,9±0,04	5,5±0,03
$V, \%$		4,0	3,0	1,4	1,1
S		5,3	3,2	0,08	0,06
Гречка	п. п. п. (контроль)	124,4	100,4	6,5	6,1
	п. п. п. + сидерат	128,8	108,0	6,3	6,2
	п. п. п. + біодобри́во	134,4	112,2	6,5	6,2
	п. п. п. + сидерат + біодобри́во	141,4	119,0	6,9	6,5
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		132,3±3,7	109,9±3,9	6,6±0,13	6,3±0,09
$V, \%$		5,6	7,1	3,8	2,8
S		7,3	7,8	0,25	0,17
Середнє по сівозміні					
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		130,4±2,6	106,2±2,6	6,0±0,05	5,7±0,04
$V, \%$		4,0	4,9	1,8	1,5
S		5,2	5,2	0,11	0,08

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобри́во*** – «Біо-Гель»*

**Уміст лужногідролізного азоту та рН в ґрунті під культурами
короткоротаційної органічної сівозміни, 2025 рік**

Культура сівозміни	Система удобрення	Шар ґрунту, см			
		0–20	20–40	0–20	20–40
		N лужногідролізний азот		pH _{сол.}	
Соя	п. п. п.* (контроль)	127,4	85,2	6,6	5,9
	п. п. п. + сидерат**	128,8	89,6	6,4	6,0
	п. п. п. + біодобриво	130,2	92,6	6,5	6,0
	п. п. п. + сидерат + біодобриво***	133,2	98,2	6,6	6,1
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		129,9±1,2	91,4±2,7	6,5±0,05	6,0±0,04
<i>V, %</i>		1,9	6,0	1,5	1,4
<i>S</i>		2,5	5,5	0,10	0,08
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	100,2	86,6	6,1	6,1
	п. п. п. + сидерат	113,4	95,6	6,4	6,0
	п. п. п. + біодобриво	118,8	96,3	6,2	5,9
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	120,4	98,0	6,4	5,9
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		113,2±4,6	94,1±2,6	6,3±0,08	6,0±0,05
<i>V, %</i>		8,1	5,4	2,4	1,6
<i>S</i>		9,2	5,1	0,15	0,10
Гречка	п. п. п. (контроль)	130,2	85,2	6,0	5,6
	п. п. п. + сидерат	131,6	89,6	5,8	5,7
	п. п. п. + біодобриво	134,4	88,9	5,9	5,7
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	144,8	89,6	6,0	5,9
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		135,3±3,3	88,3±1,1	5,9±0,05	5,7±0,06
<i>V, %</i>		4,9	2,4	1,6	2,2
<i>S</i>		6,6	2,1	0,10	0,13
Середнє по сівозміні					
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		126,1±2,8	91,3±2,0	6,2±0,03	5,9±0,02
<i>V, %</i>		2,8	2,0	0,03	0,02
<i>S</i>		4,5	4,4	1,0	0,8

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Додаток Л
Уміст рухомих форм мікроелементів і важких металів у чорноземі
типовому, мг/кг ґрунту, 2023 рік

Культура	Система удобрення	Шар грунту, см	Мідь, Cu	Цинк, Zn	Свинець, Pb	Нікель, Ni	Кадмій, Cd	Марганець, Mn	Залізо, Fe
Соя	п. п. п.* (контроль)	0–20	0,15	0,61	0,81	1,04	0,11	12,31	2,11
		20–40	0,14	0,58	1,00	1,00	0,13	9,22	1,56
	п. п. п. + сидерат**	0–20	0,17	0,64	0,90	0,92	0,10	11,60	1,82
		20–40	0,14	0,62	1,12	0,78	0,12	9,98	1,44
	п. п. п. + біодобриво***	0–20	0,16	0,65	0,92	0,82	0,10	12,42	2,14
		20–40	0,14	0,59	1,02	0,77	0,12	10,78	1,63
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	0–20	0,15	0,67	1,04	0,84	0,11	13,91	2,70
		20–40	0,14	0,63	1,11	0,80	0,12	11,00	2,42
$\bar{X} \pm S\bar{x}$			$0,15 \pm 0,004$	$0,62 \pm 0,011$	$0,99 \pm 0,038$	$0,87 \pm 0,037$	$0,11 \pm 0,004$	$11,40 \pm 0,53$	$1,98 \pm 0,156$
$V, \%$			7,6	4,8	10,8	11,9	9,3	13,1	22,4
S			0,01	0,03	0,11	0,10	0,01	1,49	0,44
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	0–20	0,18	0,70	0,91	1,10	0,12	9,53	2,20
		20–40	0,16	0,57	0,94	0,76	0,12	6,05	1,51
	п. п. п. + сидерат	0–20	0,16	0,81	0,92	0,82	0,13	10,80	2,27
		20–40	0,15	0,48	0,84	0,77	0,12	7,57	1,53
	п. п. п. + біодобриво	0–20	0,15	0,82	0,90	0,90	0,12	10,81	2,29
		20–40	0,15	0,64	0,78	0,78	0,11	7,78	1,81
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	0–20	0,16	1,01	1,02	0,91	0,12	10,91	2,45
		20–40	0,15	0,77	0,76	0,84	0,11	8,29	2,11
$\bar{X} \pm S\bar{x}$			$0,16 \pm 0,004$	$0,73 \pm 0,058$	$0,88 \pm 0,030$	$0,86 \pm 0,040$	$0,12 \pm 0,002$	$8,97 \pm 0,643$	$2,02 \pm 0,127$
$V, \%$			6,6	22,8	9,8	13,1	5,4	20,3	17,8
S			0,01	0,17	0,09	0,11	0,01	1,82	0,36
Гречка	п. п. п. (контроль)	0–20	0,18	0,71	0,81	0,90	0,11	10,31	2,32
		20–40	0,16	0,66	0,90	0,74	0,13	8,98	1,38
	п. п. п. + сидерат	0–20	0,17	0,82	0,92	0,82	0,11	9,92	2,60
		20–40	0,14	0,68	0,86	0,90	0,13	8,45	1,46
	п. п. п. + біодобриво	0–20	0,16	0,81	1,00	0,91	0,11	11,40	2,42
		20–40	0,14	0,68	0,82	0,88	0,12	9,96	1,46
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	0–20	0,16	0,90	1,02	0,84	0,12	13,51	2,65
		20–40	0,14	0,69	0,81	0,81	0,13	12,87	1,58
$\bar{X} \pm S\bar{x}$			$0,16 \pm 0,005$	$0,74 \pm 0,031$	$0,89 \pm 0,029$	$0,85 \pm 0,021$	$0,12 \pm 0,003$	$10,68 \pm 0,63$	$1,98 \pm 0,198$
$V, \%$			9,6	11,8	9,3	6,9	7,7	16,8	28,3
S			0,02	0,09	0,08	0,06	0,01	1,79	0,56
ГДК			3	23	6	4	0,7	140	-

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Уміст рухомих форм мікроелементів і важких металів у чорноземі
типовому, мг/кг ґрунту, 2024 рік**

Культура	Система удобрення	Шар грунту, см	Мідь, Cu	Цинк, Zn	Свинець, Pb	Нікель, Ni	Кадмій, Cd	Марганець, Mn	Залізо, Fe
Соя	п. п. п.* (контроль)	0–20	0,12	0,51	1,21	0,56	0,12	5,60	1,90
		20–40	0,10	0,36	1,08	0,51	0,11	5,18	1,68
	п. п. п. + сидерат**	0–20	0,15	0,54	1,24	0,80	0,12	6,12	1,82
		20–40	0,14	0,41	0,98	0,66	0,11	5,27	1,74
	п. п. п. + біодобриво***	0–20	0,13	0,57	1,18	0,72	0,12	5,90	1,78
		20–40	0,11	0,38	0,88	0,58	0,11	5,29	1,64
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	0–20	0,14	0,59	1,09	0,62	0,13	5,68	1,77
20–40		0,12	0,43	0,86	0,53	0,11	4,64	1,62	
$\bar{X} \pm S\bar{x}$			$0,13 \pm 0,006$	$0,47 \pm 0,032$	$1,07 \pm 0,052$	$0,62 \pm 0,035$	$0,12 \pm 0,003$	$5,46 \pm 0,164$	$1,74 \pm 0,033$
$V, \%$			13,3	18,9	13,7	16,0	6,4	8,5	5,4
S			0,02	0,09	0,15	0,10	0,01	0,46	0,09
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	0–20	0,12	0,50	0,90	0,80	0,13	13,21	2,02
		20–40	0,11	0,54	0,83	0,54	0,13	13,17	1,88
	п. п. п. + сидерат	0–20	0,16	0,61	1,00	0,71	0,13	11,92	1,93
		20–40	0,14	0,57	0,94	0,64	0,12	10,51	1,74
	п. п. п. + біодобриво	0–20	0,15	0,63	1,06	0,72	0,12	12,01	1,99
		20–40	0,12	0,48	0,97	0,66	0,11	10,77	1,78
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	0–20	0,15	0,59	1,12	0,68	0,12	13,73	2,04
20–40		0,14	0,44	1,01	0,61	0,10	12,04	1,77	
$\bar{X} \pm S\bar{x}$			$0,14 \pm 0,006$	$0,55 \pm 0,024$	$0,98 \pm 0,032$	$0,67 \pm 0,028$	$0,12 \pm 0,004$	$12,17 \pm 0,41$	$1,89 \pm 0,042$
$V, \%$			13,0	12,3	9,3	11,6	8,9	9,5	6,3
S			0,02	0,07	0,09	0,08	0,01	1,15	0,12
Гречка	п. п. п. (контроль)	0–20	0,11	0,60	1,00	0,64	0,13	10,11	1,70
		20–40	0,11	0,38	0,84	0,55	0,11	7,67	1,25
	п. п. п. + сидерат	0–20	0,13	0,63	1,14	0,61	0,12	10,30	1,68
		20–40	0,12	0,38	0,95	0,53	0,10	8,71	1,18
	п. п. п. + біодобриво	0–20	0,13	0,59	1,08	0,60	0,12	10,44	1,79
		20–40	0,12	0,39	0,87	0,51	0,10	8,86	1,35
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	0–20	0,13	0,59	0,94	0,52	0,13	10,91	1,82
20–40		0,11	0,42	0,88	0,44	0,10	9,09	1,58	
$\bar{X} \pm S\bar{x}$			$0,12 \pm 0,003$	$0,50 \pm 0,040$	$0,96 \pm 0,037$	$0,55 \pm 0,023$	$0,11 \pm 0,005$	$9,51 \pm 0,388$	$1,54 \pm 0,088$
$V, \%$			7,7	22,8	10,9	11,7	11,5	11,5	16,2
S			0,01	0,11	0,11	0,06	0,01	1,10	0,25
ГДК			3	23	6	4	0,7	140	-

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Уміст рухомих форм мікроелементів і важких металів у чорноземі
типовому, мг/кг ґрунту, 2025 рік**

Культура	Система удобрення	Шар грунту, см	Мідь, Cu	Цинк, Zn	Свинець, Pb	Нікель, Ni	Кадмій, Cd	Марганець, Mn	Залізо, Fe
Соя	п. п. п.* (контроль)	0–20	0,11	0,31	0,84	0,52	0,11	4,18	1,62
		20–40	0,10	0,24	0,80	0,46	0,11	3,96	1,48
	п. п. п. + сидерат**	0–20	0,11	0,34	0,76	0,47	0,12	4,82	1,47
		20–40	0,10	0,27	0,72	0,42	0,11	4,07	1,22
	п. п. п. + біодобриво***	0–20	0,11	0,38	0,73	0,50	0,12	4,78	1,58
		20–40	0,10	0,29	0,66	0,44	0,11	4,09	1,31
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	0–20	0,12	0,42	0,72	0,61	0,13	4,87	1,79
		20–40	0,10	0,29	0,70	0,48	0,12	4,26	1,42
$\overline{X} \pm S\overline{x}$			$0,11 \pm 0,003$	$0,32 \pm 0,021$	$0,74 \pm 0,020$	$0,49 \pm 0,021$	$0,12 \pm 0,003$	$4,38 \pm 0,134$	$1,49 \pm 0,063$
$V, \%$			7,0	18,7	7,7	12,0	6,4	8,7	12,1
S			0,01	0,06	0,06	0,06	0,01	0,38	0,18
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	0–20	0,11	0,36	1,12	0,56	0,13	9,03	1,90
		20–40	0,10	0,30	0,94	0,47	0,12	8,66	1,73
	п. п. п. + сидерат	0–20	0,12	0,42	1,21	0,52	0,13	9,42	1,78
		20–40	0,10	0,34	0,92	0,44	0,12	7,67	1,41
	п. п. п. + біодобриво	0–20	0,12	0,47	1,00	0,48	0,13	9,51	1,79
		20–40	0,10	0,36	0,88	0,42	0,11	7,77	1,44
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	0–20	0,13	0,48	0,87	0,44	0,13	9,87	1,69
		20–40	0,10	0,38	0,75	0,40	0,11	7,93	1,38
$\overline{X} \pm S\overline{x}$			$0,11 \pm 0,004$	$0,39 \pm 0,022$	$0,96 \pm 0,052$	$0,47 \pm 0,019$	$0,12 \pm 0,003$	$8,73 \pm 0,304$	$1,64 \pm 0,071$
$V, \%$			10,9	16,2	15,2	11,4	7,2	9,8	12,2
S			0,01	0,06	0,15	0,05	0,01	0,86	0,20
Гречка	п. п. п. (контроль)	0–20	0,12	0,31	0,88	0,56	0,11	6,92	1,70
		20–40	0,10	0,36	0,75	0,45	0,11	5,85	1,34
	п. п. п. + сидерат	0–20	0,12	0,40	0,78	0,48	0,12	6,87	1,77
		20–40	0,11	0,37	0,72	0,42	0,11	5,73	1,28
	п. п. п. + біодобриво	0–20	0,12	0,44	0,75	0,50	0,12	6,89	1,69
		20–40	0,11	0,37	0,63	0,42	0,11	5,68	1,18
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	0–20	0,13	0,48	0,72	0,46	0,13	6,99	1,69
		20–40	0,11	0,39	0,70	0,40	0,12	5,76	1,23
$\overline{X} \pm S\overline{x}$			$0,12 \pm 0,003$	$0,39 \pm 0,018$	$0,74 \pm 0,025$	$0,46 \pm 0,018$	$0,12 \pm 0,003$	$6,34 \pm 0,221$	$1,49 \pm 0,088$
$V, \%$			8,1	13,3	9,7	11,3	6,4	9,8	16,7
S			0,01	0,05	0,07	0,05	0,01	0,62	0,25
ГДК			3	23	6	4	0,7	140	-

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Додаток М 1

Забур'яненість посівів зернових культур у фазі повних сходів, 2023 рік

Система удобрення	Кількість бур'янів, шт./м ²					
	всього	в т. ч.				
		плоскуха звичайна	мишій сизий	лобода біла	редька дика	щириця звичайна
Соя						
П. п. п.* (контроль)	197	81	38	23	25	30
П. п. п. + сидерат**	178	69	23	28	31	27
П. п. п. + біодобриво	148	54	20	22	24	28
П. п. п. + сидерат + біодобриво***	121	48	14	16	17	26
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	161,0 ± 16,7	63,0 ± 7,4	23,8 ± 5,1	22,3 ± 2,5	24,3 ± 2,9	27,8 ± 0,9
V, %	20,8	23,7	43,0	22,1	23,7	6,2
S	33,4	14,9	10,2	4,9	5,7	1,7
Пшениця яра						
П. п. п. (контроль)	228	98	52	24	26	28
П. п. п. + сидерат	161	71	32	15	22	21
П. п. п. + біодобриво	143	64	27	14	18	20
П. п. п. + сидерат + біодобриво	119	58	23	11	12	15
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	162,8 ± 23,4	72,8 ± 8,8	33,5 ± 6,4	16,0 ± 2,8	19,5 ± 3,0	21,0 ± 2,7
V, %	28,7	24,3	38,4	35,0	30,6	25,5
S	46,8	17,7	12,9	5,6	6,0	5,4
Гречка						
П. п. п. (контроль)	124	50	31	12	19	12
П. п. п. + сидерат	118	42	27	15	20	14
П. п. п. + біодобриво	98	37	23	11	17	10
П. п. п. + сидерат + біодобриво	72	31	18	7	12	4
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	103,0 ± 11,7	40,0 ± 4,0	24,8 ± 2,8	11,3 ± 1,7	17,0 ± 1,8	10,0 ± 2,2
V, %	22,8	20,1	22,5	29,4	20,9	43,2
S	23,5	8,0	5,6	3,3	3,6	4,3
НІР _{0,5} – забур'яненість посівів сої – 5; пшениці ярої – 7; гречки – 5.						

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Забур'яненість посівів зернових культур у фазі повних сходів, 2024 рік

Система удобрення	Кількість бур'янів, шт./м ²					
	всього	в т. ч.				
		плоскуха звичайна	мишій сизий	лобода біла	редька дика	щириця звичайна
Соя						
П. п. п.* (контроль)	105	52	29	10	9	5
П. п. п. + сидерат**	95	46	25	9	8	7
П. п. п. + біодобриво	73	38	19	6	6	4
П. п. п. + сидерат + біодобриво***	46	29	12	2	3	—
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	79,8 ± 13,1	41,3 ± 5,0	21,3 ± 3,7	6,8 ± 1,8	6,5 ± 1,3	4,0 ± 1,5
V, %	32,8	24,2	34,9	53,2	40,7	73,6
S	26,2	10,0	7,4	3,6	2,6	2,9
Пшениця яра						
П. п. п. (контроль)	78	23	17	12	17	9
П. п. п. + сидерат	70	25	19	8	11	5
П. п. п. + біодобриво	49	20	15	5	7	2
П. п. п. + сидерат + біодобриво	36	18	12	2	4	—
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	58,3 ± 9,6	21,5 ± 1,6	15,8 ± 1,5	6,8 ± 2,1	9,8 ± 2,8	4,0 ± 2,0
V, %	33,0	14,5	19,0	63,3	57,6	97,9
S	19,2	3,1	3,0	4,3	5,6	3,9
Гречка						
П. п. п. (контроль)	41	16	12	5	4	4
П. п. п. + сидерат	29	12	9	4	3	1
П. п. п. + біодобриво	21	9	7	2	2	1
П. п. п. + сидерат + біодобриво	14	7	4	2	1	—
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	26,3 ± 5,8	11,0 ± 2,0	8,0 ± 1,7	3,3 ± 0,8	2,5 ± 0,6	1,5 ± 0,9
V, %	44,1	35,6	42,1	46,2	51,6	115,5
S	11,6	3,9	3,4	1,5	1,3	1,7
НІР _{0,5} – забур'яненість посівів сої – 6; пшениці ярої – 5; гречки – 4.						

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Забур'яненість посівів зернових культур у фазі повних сходів, 2025 рік

Система удобрення	Кількість бур'янів, шт./м ²					
	всього	в т. ч.				
		плоскуха звичайна	мишій сизий	лобода біла	редька дика	щириця звичайна
Соя						
П. п. п.* (контроль)	302	163	92	36	3	8
П. п. п. + сидерат**	216	132	59	18	3	4
П. п. п. + біодобриво	185	118	48	15	2	2
П. п. п. + сидерат + біодобриво***	151	102	37	10	1	1
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	213,5 ± 32,3	128,8 ± 13,0	59,0 ± 11,9	19,8 ± 5,7	2,3 ± 0,5	3,8 ± 1,5
V, %	30,3	20,1	40,3	57,3	42,6	82,6
S	64,7	25,9	23,8	11,3	1,0	3,1
Пшениця яра						
П. п. п. (контроль)	282	175	68	31	5	3
П. п. п. + сидерат	205	121	53	24	3	4
П. п. п. + біодобриво	180	112	45	19	2	2
П. п. п. + сидерат + біодобриво	155	98	39	17	1	—
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	205,5 ± 27,5	126,5 ± 16,8	51,3 ± 6,3	22,8 ± 3,1	2,8 ± 0,9	2,3 ± 0,9
V, %	26,7	26,6	24,5	27,4	62,1	75,9
S	54,9	33,7	12,6	6,2	1,7	1,7
Гречка						
П. п. п. (контроль)	178	97	52	23	2	4
П. п. п. + сидерат	128	85	28	12	—	3
П. п. п. + біодобриво	106	74	21	9	1	1
П. п. п. + сидерат + біодобриво	93	68	17	7	1	—
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	126,3 ± 18,7	81,0 ± 6,4	29,5 ± 7,8	12,8 ± 3,6	1,0 ± 0,4	2,0 ± 0,9
V, %	29,6	15,8	53,1	56,0	81,6	91,3
S	37,4	12,8	15,7	7,1	0,8	1,8
НІР 0,5 – забур'яненість посівів сої – 8; пшениці ярої – 10; гречки – 6						

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Додаток М 2

Забур'яненість посівів зернових культур перед збиранням урожаю,
2023 рік

Система удобрення	Кількість бур'янів, шт./м ²						Суша маса бур'янів, г/м ²
	всього	в т. ч.					
		плоскуха звичайна	мишій сизий	лобода біла	редька дика	щириця звичайна	
Соя							
П. п. п.* (контроль)	152	86	54	5	3	4	134,0
П. п. п. + сидерат**	124	81	31	4	4	4	93,6
П. п. п. + біодобриво	116	67	41	4	1	3	83,2
П. п. п. + сидерат + біодобриво***	80	49	19	5	2	5	57,6
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	118,0 ± 14,8	70,8 ± 8,3	36,3 ± 7,4	4,5 ± 0,3	2,5 ± 0,6	4,0 ± 0,4	92,1 ± 15,9
V, %	25,1	23,4	41,0	12,8	51,6	20,4	34,5
S	29,7	16,6	14,9	0,6	1,3	0,8	31,8
Пшениця яра							
П. п. п. (контроль)	148	91	45	5	3	4	101,2
П. п. п. + сидерат	105	59	34	5	2	5	62,8
П. п. п. + біодобриво	104	52	40	7	1	4	68,8
П. п. п. + сидерат + біодобриво	80	39	25	6	3	7	48,8
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	109,3 ± 14,2	60,3 ± 11,1	36,0 ± 4,3	5,8 ± 0,5	2,3 ± 0,5	5,0 ± 0,7	70,4 ± 11,1
V, %	25,9	36,7	23,9	16,7	42,6	28,3	31,5
S	28,3	22,1	8,6	1,0	1,0	1,4	22,2
Гречка							
П. п. п. (контроль)	60	37	15	2	2	4	72,0
П. п. п. + сидерат	40	25	11	2	-	2	37,2
П. п. п. + біодобриво	36	17	11	3	2	3	36,0
П. п. п. + сидерат + біодобриво	28	11	9	4	1	3	29,2
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	41,0 ± 6,8	22,5 ± 5,6	11,5 ± 1,3	2,8 ± 0,5	1,3 ± 0,5	3,0 ± 0,4	43,6 ± 9,6
V, %	33,2	50,0	21,9	34,8	76,6	27,2	44,2
S	13,6	11,2	2,5	1,0	1,0	0,8	19,3
НІР 0,5– забур'яненість посівів сої – 6,6; пшениці ярої – 6,6; гречки – 6,0. НІР 0,5– суша маса бур'янів у посівах сої – 6,6; пшениці ярої – 12,8; гречки – 7,9.							

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Забур'яненість посівів зернових культур перед збиранням урожаю,
2024 рік**

Система удобрення	Кількість бур'янів, шт./м²						Суха маса бур'янів, г/м²
	всього	в т. ч.					
		плоскуха звичайна	мишій сизий	лобода біла	редька дика	щириця звичайна	
Соя							
П. п. п.* (контроль)	21	2	2	7	5	5	65,8
П. п. п. + сидерат**	11	2	1	5	2	1	45,0
П. п. п. + біодобриво	10	-	2	4	2	2	42,9
П. п. п. + сидерат + біодобриво***	8	-	-	3	3	2	33,5
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	$12,5 \pm 2,9$	$1,0 \pm 0,6$	$1,3 \pm 0,5$	$4,8 \pm 0,9$	$3,0 \pm 0,7$	$2,5 \pm 0,9$	$46,8 \pm 6,8$
$V, \%$	46,4	115,5	76,6	36,0	47,1	69,3	29,1
S	5,8	1,2	1,0	1,7	1,4	1,7	13,6
Пшениця яра							
П. п. п. (контроль)	36	15	8	4	5	4	98,4
П. п. п. + сидерат	20	7	3	3	3	4	73,2
П. п. п. + біодобриво	19	7	4	3	2	3	64,6
П. п. п. + сидерат + біодобриво	13	4	3	2	2	2	49,5
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	$22,0 \pm 4,9$	$8,3 \pm 2,4$	$4,5 \pm 1,2$	$3,0 \pm 0,4$	$3,0 \pm 0,7$	$3,3 \pm 0,5$	$71,4 \pm 10,2$
$V, \%$	44,7	57,2	52,9	27,2	47,1	29,5	28,7
S	9,8	4,7	2,4	0,8	1,4	1,0	20,5
Гречка							
П. п. п. (контроль)	12	4	2	3	2	1	48,4
П. п. п. + сидерат	6	2	2	1	1	-	32,3
П. п. п. + біодобриво	5	2	1	1	-	1	29,3
П. п. п. + сидерат + біодобриво	4	1	1	1	1	-	20,7
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	$6,8 \pm 1,8$	$2,3 \pm 0,6$	$1,5 \pm 0,3$	$1,5 \pm 0,5$	$1,0 \pm 0,4$	$0,5 \pm 0,3$	$32,7 \pm 5,8$
$V, \%$	53,2	55,9	38,5	66,7	81,6	115,5	35,4
S	3,6	1,3	0,6	1,0	0,8	0,6	11,6
НІР 0,5– забур'яненість посівів сої – 3,0; пшениці ярої – 4,0; гречки – 2,0.							
НІР 0,5– суха маса бур'янів у посівах сої – 7,0; пшениці ярої – 10,3; гречки – 2,9.							

П. п. п.* – побічна продукція попередника, сидерат – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»**

**Забур'яненість посівів зернових культур перед збиранням урожаю,
2025 рік**

Система удобрення	Кількість бур'янів, шт./м²						Суша маса бур'янів, г/м²
	всього	в т. ч.					
		плоскуха звичайна	мишій сизий	лобода біла	редька дика	щириця звичайна	
Со́я							
П. п. п.* (контроль)	181	109	51	11	3	7	179,6
П. п. п. + сидерат**	148	88	43	9	3	5	141,1
П. п. п. + біодобри́во	138	85	37	9	2	5	135,2
П. п. п. + сидерат + біодобри́во***	95	63	19	7	2	4	97,1
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	140,5 ± 17,7	86,3 ± 9,4	37,5 ± 6,8	9,0 ± 0,8	2,5 ± 0,3	5,3 ± 0,6	138,3 ± 16,9
V, %	25,2	21,8	36,3	18,1	23,1	24,0	24,4
S	35,5	18,8	13,6	1,6	0,6	1,3	33,8
Пшени́ця я́ра							
П. п. п. (контроль)	48	23	15	4	2	4	44,0
П. п. п. + сидерат	30	17	8	3	1	1	26,3
П. п. п. + біодобри́во	29	15	9	2	1	2	20,9
П. п. п. + сидерат + біодобри́во	20	10	7	1	1	1	14,4
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	31,8 ± 5,9	16,3 ± 2,7	9,8 ± 1,8	2,5 ± 0,6	1,3 ± 0,3	2,0 ± 0,7	26,4 ± 6,4
V, %	36,9	33,1	36,9	51,6	40,0	70,7	48,1
S	11,7	5,4	3,6	1,3	0,5	1,4	12,7
Гре́чка							
П. п. п. (контроль)	59	25	19	8	2	5	52,0
П. п. п. + сидерат	41	19	11	6	1	4	41,0
П. п. п. + біодобри́во	32	14	9	5	1	3	32,5
П. п. п. + сидерат + біодобри́во	23	10	7	4	1	1	25,4
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	38,8 ± 7,7	17,0 ± 3,2	11,5 ± 2,6	5,8 ± 0,9	1,3 ± 0,3	3,3 ± 0,9	37,7 ± 5,7
V, %	39,7	38,1	45,7	29,7	40,0	52,5	30,4
S	15,4	6,5	5,3	1,7	0,5	1,7	11,5
НІР 0,5 – забур'яненість посівів сої – 5,6; пшениці ярої – 5,0; гречки – 5,0.							
НІР 0,5 – суша маса бур'янів у посівах сої – 7,0; пшениці ярої – 5,7; гречки – 3,4.							

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобри́во*** – «Біо-Гель»*

Додаток Н

Структурні показники урожаю зернових культур короткоротаційної сівозміни, 2023 рік

Культура сівозміни	Система удобрення	Висота рослин, см	Кількість стебел, шт./м ²		Маса, г/м ²			
			продуктивних	непродуктивних	всього	в т. ч.		
						коренів	соломи	зерна
Соя	п. п. п.* (контроль)	100,5	67	4	1271,3	135,3	997,3	138,7
	п. п. п. + сидерат**	104,9	71	4	1532,7	156,7	1217,7	158,3
	п. п. п. + біодобриво	105,3	72	3	1545,4	163,0	1221,7	160,7
	п. п. п. + сидерат + біодобриво***	108,4	74	2	1619,7	175,0	1272,0	172,7
$\bar{X} \pm S \bar{x}$		104,8 ±1,6	71,0± 1,5	3,3± 0,5	1492,3 ±76,1	157,5 ±8,3	1177,2 ±61,2	157,6 ±7,0
V, %		3,1	4,1	29,5	10,2	10,6	10,4	8,9
S		3,3	2,9	1,0	152,2	16,6	122,4	14,1
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	81,3	284	24	478,4	101,2	188,0	189,2
	п. п. п. + сидерат	92,1	332	8	596,0	110,8	225,2	260,0
	п. п. п. + біодобриво	93,5	340	8	605,2	113,2	230,8	261,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	95,0	344	6	665,6	122,8	264,0	278,8
$\bar{X} \pm S \bar{x}$		90,5± 3,1	325,0 ±13,9	11,5 ±4,2	586,3± 39,1	112,0 ±4,4	227,0± 15,6	247,3 ±19,8
V, %		6,9	8,5	72,9	13,4	7,9	13,7	16,0
S		6,2	27,8	8,4	78,3	8,9	31,1	39,7
Гречка	п. п. п. (контроль)	102,9	192	12	492,0	74,8	305,2	112,0
	п. п. п. + сидерат	105,1	212	7	602,8	90,8	369,2	142,8
	п. п. п. + біодобриво	105,5	232	7	612,0	96,0	370,8	145,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	106,6	244	4	664,0	116,0	388,0	160,0
$\bar{X} \pm S \bar{x}$		105,0 ±0,8	220,0 ±11,4	7,5± 1,7	592,7± 36,2	94,4± 8,5	358,3± 18,2	140,0 ±10,1
V, %		1,5	10,4	44,2	12,2	18,0	10,2	14,4
S		1,6	22,9	3,3	72,3	17,0	36,4	20,2

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Структурні показники урожаю зернових культур короткоротаційної сівозміни, 2024 рік

Культура сівозміни	Система удобрення	Висота рослин, см	Кількість стебел, шт./м ²		Маса, г/м ²			
			продуктивних	непродуктивних	всього	в т. ч.		
						коренів	соломи	зерна
Соя	п. п. п.* (контроль)	66,7	67	8	302,0	49	156	97,0
	п. п. п. + сидерат**	71,7	69	4	383,0	68	189	126,0
	п. п. п. + біодобриво	73,7	69	4	395,6	72	190	133,6
	п. п. п. + сидерат + біодобриво***	79,0	70	2	454,3	86	206	162,3
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		72,8± 2,5	68,8± 0,6	4,5± 1,3	383,7± 31,4	68,8± 7,6	185,3± 10,5	129,7 ±13,4
$V, \%$		7,0	1,8	55,9	16,3	22,2	11,3	20,7
S		5,1	1,3	2,5	62,7	15,3	21,0	26,8
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	85,3	635	27	777,0	80	412	285,0
	п. п. п. + сидерат	89,9	657	18	875,0	93	450	332,0
	п. п. п. + біодобриво	93,6	689	17	969,0	109	516	344,0
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	97,8	705	16	1045,0	121	560	364,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		91,7± 2,7	671,5 ±15,7	19,5 ±2,5	916,5± 58,1	100,8 ±9,0	484,5± 33,1	331,3 ±16,8
$V, \%$		5,8	4,7	26,0	12,7	17,8	13,7	10,1
S		5,3	31,5	5,1	116,1	18,0	66,2	33,5
Гречка	п. п. п. (контроль)	106,3	217	8	513,0	91	310	112,0
	п. п. п. + сидерат	115,3	232	4	603,0	101	366	136,0
	п. п. п. + біодобриво	118,3	227	4	614,0	104	372	138,0
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	121,0	235	3	684,0	115	405	164,0
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		115,2 ±3,2	227,8 ±3,9	4,8± 1,1	603,5± 35,1	102,8 ±4,9	363,3± 19,7	137,5 ±10,6
$V, \%$		5,5	3,5	46,7	11,6	9,6	10,9	15,5
S		6,4	7,9	2,2	70,2	9,9	39,4	21,3

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Структурні показники урожаю зернових культур короткоротаційної сівозміни, 2025 рік

Культура сівозміни	Система удобрення	Висота рослин, см	Кількість стебел, шт./м ²		Маса, г /м ²			
			продуктивних	непродуктивних	всього	в т. ч		
						коренів	соломи	зерна
Соя	п. п. п.* (контроль)	63,5	64	9	795,6	106,9	534,7	154,0
	п. п. п. + сидерат**	70,0	83	5	912,6	137,2	592,4	183,0
	п. п. п. + біодобриво***	71,5	87	3	942,1	140,4	613,3	188,4
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	79,9	92	3	1023,7	149,6	658,0	216,1
$\bar{X} \pm S \bar{x}$		71,2± 3,4	81,5± 6,1	5,0± 1,4	918,5± 47,2	133,5 ±9,3	599,6± 25,6	185,4 ±12,7
$V, \%$		9,5	15,0	56,6	10,3	13,9	8,5	13,7
S		6,7	12,2	2,8	94,5	18,5	51,2	25,5
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	82,7	173	7	841,3	218,0	329,3	294,0
	п. п. п. + сидерат	90,9	182	4	1114,2	249,0	510,7	354,5
	п. п. п. + біодобриво	93,0	183	3	1236,6	256,0	574,7	405,9
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	99,8	192	3	1451,0	283,0	682,7	485,3
$\bar{X} \pm S \bar{x}$		91,6± 3,5	182,5 ±3,9	4,3± 0,9	1160,8 ±127,2	251,5 ±13,4	524,4± 74,1	384,9 ±40,5
$V, \%$		7,7	4,3	44,5	21,9	10,6	28,3	21,1
S		7,0	7,8	1,9	254,4	26,7	148,1	81,1
Гречка	п. п. п. (контроль)	100,0	198	7	518,8	75,3	315,5	128,0
	п. п. п. + сидерат	105,9	210	7	600,4	82,4	361,9	153,3
	п. п. п. + біодобриво	108,6	218	6	611,4	85,2	368,0	158,2
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	116,0	231	5	656,2	90,3	379,7	186,2
$\bar{X} \pm S \bar{x}$		107,6 ±3,3	214,3 ±6,9	6,3± 0,5	596,7± 28,6	83,3± 3,1	356,3± 14,1	156,4 ±11,9
$V, \%$		6,2	6,5	15,3	9,6	7,5	7,9	15,3
S		6,6	13,9	1,0	57,3	6,3	28,2	23,9

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Додаток П

Якість продукції культур короткоротаційної сівозміни, %, 2023 рік

Культура	Система удобрення	Вміст у зерні, %		
		білка	клейковини / клітковини	жиру
Соя	п. п. п.* (контроль)	36,50	6,77	17,67
	п. п. п. + сидерат**	36,25	6,57	17,84
	п. п. п. + біодобриво***	36,00	6,55	18,00
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	37,25	6,80	18,25
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		36,50±0,27	6,67±0,07	17,94±0,12
$V, \%$		1,48	1,96	1,38
S		0,54	0,13	0,25
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	11,00	30,00	1,93
	п. п. п. + сидерат	11,80	29,23	1,79
	п. п. п. + біодобриво	11,91	29,98	1,85
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	11,95	30,25	2,02
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		11,67±0,22	29,87±0,22	1,90±0,05
$V, \%$		3,84	1,48	5,26
S		0,45	0,44	0,10
Гречка	п. п. п. (контроль)	12,10	—	2,19
	п. п. п. + сидерат	12,45	—	2,23
	п. п. п. + біодобриво	12,49	—	2,28
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	13,00	—	2,32
$\bar{X} \pm S\bar{x}$		12,51±0,19	—	2,26±0,03
$V, \%$		2,96	—	2,52
S		0,37	—	0,06

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Якість продукції культур короткоротаційної сівозміни, %, 2024 рік

Культура	Система удобрення	Вміст у зерні, %		
		білка	клейковини / клітковини	жиру
Соя	п. п. п.* (контроль)	37,05	6,27	18,25
	п. п. п. + сидерат**	37,28	6,49	17,60
	п. п. п. + біодобриво***	37,34	6,58	19,56
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	38,12	6,73	18,02
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		37,45±0,23	6,52±0,10	18,36±0,42
$V, \%$		1,24	2,95	4,61
S		0,47	0,19	0,85
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	13,07	23,82	1,98
	п. п. п. + сидерат	13,29	24,03	1,99
	п. п. п. + біодобриво	13,24	23,98	1,99
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	13,42	24,37	1,99
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		13,26±0,07	24,05±0,12	1,99±0,00
$V, \%$		1,09	0,96	0,25
S		0,14	0,23	0,01
Гречка	п. п. п. (контроль)	12,12	—	3,26
	п. п. п. + сидерат	12,60	—	3,30
	п. п. п. + біодобриво	13,08	—	3,38
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	12,27	—	3,35
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		12,52±0,21	—	3,32±0,03
$V, \%$		3,40	—	1,60
S		0,43	—	0,05

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Якість продукції культур короткоротаційної сівозміни, %, 2025 рік

Культура	Система удобрення	Вміст у зерні, %		
		білка	клейковини / клітковини	жиру
Соя	п. п. п.* (контроль)	21,20	7,07	18,25
	п. п. п. + сидерат**	21,68	7,12	17,60
	п. п. п. + біодобриво***	21,83	7,15	19,56
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	21,84	7,17	18,02
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		21,64±0,15	7,13±0,02	18,36±0,42
$V, \%$		1,39	0,61	4,61
S		0,30	0,04	0,85
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	9,79	21,01	1,80
	п. п. п. + сидерат	10,16	22,41	1,84
	п. п. п. + біодобриво	10,44	23,15	1,84
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	10,52	23,00	1,85
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		10,23±0,16	22,39±0,49	1,83±0,01
$V, \%$		3,23	4,36	1,21
S		0,33	0,98	0,02
Гречка	п. п. п. (контроль)	12,16	—	3,37
	п. п. п. + сидерат	12,32	—	3,38
	п. п. п. + біодобриво	12,25	—	3,38
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	12,42	—	3,40
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		12,29±0,05	—	3,38±0,01
$V, \%$		0,89	—	0,37
S		0,11	—	0,01

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Додаток Р

**Продуктивність культур короткоротаційної сівозміни за різних видів
органічного удобрення, 2023 рік**

Культура	Система удобрення	Збір з 1 га ріллі, т		
		кормових одиниць	зернових одиниць	перетравного протеїну
Соя	п. п. п.* (контроль)	1,92	2,50	0,40
	п. п. п. + сидерат**	2,18	2,84	0,46
	п. п. п. + біодобриво	2,22	2,90	0,47
	п. п. п. + сидерат + біодобриво***	2,39	3,11	0,50
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		2,18±0,10	2,84±0,13	0,46±0,02
$V, \%$		8,92	8,92	9,17
S		0,19	0,25	0,04
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	2,31	1,89	0,15
	п. п. п. + сидерат	3,17	2,60	0,21
	п. п. п. + біодобриво	3,18	2,61	0,21
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	3,67	3,01	0,24
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		3,08±0,28	2,53±0,23	0,20±0,02
$V, \%$		18,34	18,43	18,64
S		0,57	0,47	0,04
Гречка	п. п. п. (контроль)	0,78	1,57	0,12
	п. п. п. + сидерат	1,00	2,00	0,16
	п. п. п. + біодобриво	1,02	2,03	0,16
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	1,12	2,24	0,18
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		0,98±0,07	1,96±0,14	0,16±0,01
$V, \%$		14,62	14,34	16,24
S		0,14	0,28	0,03
Середнє по сівозміні				
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		2,08±0,15	2,44±0,17	0,27±0,02
$V, \%$		14,46	13,64	12,85
S		0,30	0,33	0,03

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Продуктивність культур короткоротаційної сівозміни за різних видів
органічного удобрення, 2024 рік**

Культура	Система удобрення	Збір з 1 га ріллі, т		
		кормових одиниць	зернових одиниць	перетравного протеїну
Соя	п. п. п.* (контроль)	1,34	1,75	0,28
	п. п. п. + сидерат**	1,74	2,27	0,37
	п. п. п. + біодобриво	1,85	2,41	0,39
	п. п. п. + сидерат + біодобриво***	2,24	2,92	0,47
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		1,79±0,19	2,34±0,24	0,38±0,04
$V, \%$		20,65	20,58	20,68
S		0,37	0,48	0,08
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	3,48	2,85	0,23
	п. п. п. + сидерат	4,05	3,32	0,27
	п. п. п. + біодобриво	4,20	3,44	0,28
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	4,44	3,64	0,29
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		4,04±0,20	3,31±0,17	0,27±0,01
$V, \%$		10,09	10,13	9,83
S		0,41	0,34	0,03
Гречка	п. п. п. (контроль)	0,78	1,57	0,12
	п. п. п. + сидерат	0,95	1,90	0,15
	п. п. п. + біодобриво	0,97	1,93	0,15
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	1,15	2,30	0,18
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		0,96±0,08	1,93±0,15	0,15±0,01
$V, \%$		15,72	15,51	16,33
S		0,15	0,30	0,02
Середнє по сівозміні				
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		2,27±0,15	2,53±0,18	0,27±0,02
$V, \%$		13,57	14,61	16,06
S		0,31	0,37	0,04

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

**Продуктивність культур короткоротаційної сівозміни за різних видів
органічного удобрення, 2025 рік**

Культура	Система удобрення	Збір з 1 га ріллі, т		
		кормових одиниць	зернових одиниць	перетравного протеїну
Соя	п. п. п.* (контроль)	2,13	2,77	0,45
	п. п. п. + сидерат**	2,53	3,29	0,53
	п. п. п. + біодобриво	2,59	3,38	0,55
	п. п. п. + сидерат + біодобриво***	2,98	3,89	0,63
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		2,56±0,17	3,33±0,23	0,54±0,04
$V, \%$		13,60	13,77	13,69
S		0,35	0,46	0,07
Пшениця яра	п. п. п. (контроль)	3,59	2,94	0,24
	п. п. п. + сидерат	4,33	3,55	0,28
	п. п. п. + біодобриво	4,95	4,06	0,32
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	5,92	4,85	0,39
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		4,70±0,49	3,85±0,40	0,31±0,03
$V, \%$		21,00	21,01	20,80
S		0,99	0,81	0,06
Гречка	п. п. п. (контроль)	0,90	1,79	0,14
	п. п. п. + сидерат	1,07	2,14	0,17
	п. п. п. + біодобриво	1,11	2,21	0,17
	п. п. п. + сидерат + біодобриво	1,30	2,60	0,20
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		1,10±0,08	2,19±0,17	0,17±0,01
$V, \%$		15,00	15,20	14,41
S		0,16	0,33	0,02
Середнє по сівозміні				
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		2,78±0,25	3,12±0,27	0,34±0,03
$V, \%$		17,87	17,00	15,85
S		0,50	0,53	0,05

П. п. п. – побічна продукція попередника, сидерат** – гірчиця біла, біодобриво*** – «Біо-Гель»*

Додаток С 1

ЗАТВЕРДЖУЮ:

В. о. директора
СДСОВ ІАП НААН

Юрій ТЕРНОВИЙ

«20» листопада 2025 р.

АКТ № 1

про впровадження результатів дисертаційного дослідження

Ми, що нижче підписалися, представник Сквирської дослідної станції органічного виробництва Інституту агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України (Київська обл.), в. о. директора Терновий Юрій Вікторович, з одного боку та представник Національного наукового центру «Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України», аспірант відділу сівозмін і землеробства на меліорованих землях Савченко Сергій Дмитрович з другого боку, склали цей акт, щодо впровадження наукової розробки, виконаної на підставі результатів досліджень, які викладено в дисертаційній роботі Савченка С. Д.

Результати впровадження. Результати досліджень Савченка С. Д. впроваджено в 2024–2025 рр. на загальній площі 15 га у СДС ОВ ІАП НААН Київської області.

Коротка характеристика розробки: короткоротаційна 3-пільна сівозмінна (соя – пшениця яра – гречка) за органічної системи удобрення: *побічна продукція попередника (п.п.п.) + сидерат (редька олійна) + рідке органічне добриво «Біо-Гель» (1,5 л/га у фазі повних сходів і 1,5 л/га у фазі цвітіння).*

За результатами впровадження урожайність сої становила 2,84 т/га, пшениці ярої – 4,23 і гречки 2,27 т/га за внесення комплексного органічного удобрення (п. п. п. + сидерат + «Біо-Гель»). Культури 3-пільної органічної сівозміни забезпечили збір із 1 га сівозмінної площі 2,82–6,03 т кормових і 3,18–4,23 т зернових одиниць. Умовно чистий прибуток становив: для сої – 8,24, пшениці ярої – 12,05 і гречки – 10,43 тис. грн/га за рівня рентабельності 107; 201 і 182 % відповідно.

Впровадження розробки в середньому за 2024–2025 рр. забезпечило підвищення збору зернових одиниць на 1,12 т/га порівняно з прийнятою в господарстві базовою короткоротаційною сівозміною. Виробничі витрати при цьому зменшувалися на 10 %, а рентабельність підвищувалася на 14 %.

Представник СДС ОВ ІАП НААН

(підпис)

Юрій ТЕРНОВИЙ

Представник ННЦ «ІЗ НААН»

(підпис)

Сергій САВЧЕНКО

Додаток С 2



ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор
ТОВ «Лист-Ручки»
Олександр ХОМЕНКО

«25» листопада 2025 р.

АКТ № 2

про впровадження результатів дисертаційного дослідження

Ми, що нижче підписалися, представник ТОВ «Лист-Ручки» (с. Ручки, Миргородського р-ну, Полтавської обл.) агроном Кузьменко Віктор Миколайович, з одного боку та представник Національного наукового центру «Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України», аспірант відділу сівозмін і землеробства на меліорованих землях Савченко Сергій Дмитрович з другого боку, склали цей акт, щодо впровадження наукової розробки, виконаної на підставі результатів досліджень, які викладено в дисертаційній роботі Савченко С. Д.

Результати впровадження. Результати досліджень Савченко С. Д. впроваджено в 2024–2025 рр. на загальній площі 45 га у ТОВ «Лист-Ручки» Миргородського району Полтавської області.

Коротка характеристика розробки: короткоротаційна 3-пільна сівозмінна (соя – пшениця яра – гречка) за органічної системи удобрення: *побічна продукція попередника (п. п. п.) + сидерат (гірчиця біла) + рідке органічне добриво «Біо-Гель» (1,5 л/га у фазі повних сходів і 1,5 л/га у фазі цвітіння).*

За результатами впровадження культури 3-пільної органічної сівозміни забезпечили збір із 1 га сівозмінної площі 3,04–6,28 т кормових і 3,67–4,82 т зернових одиниць. Урожайність сої становила 2,92 т/га, пшениці ярої – 4,82 і гречки 2,57 т/га за внесення комплексного органічного удобрення (п. п. п. + сидерат + біодобриво). Умовно чистий прибуток був на рівні: для сої – 10,18, пшениці ярої – 14,01 і гречки – 12,23 тис. грн/га за рівня рентабельності 114; 218 і 194 % відповідно.

Впровадження розробки в середньому за 2024–2025 рр. забезпечило підвищення збору зернових одиниць на 1,38 т/га порівняно з прийнятою в господарстві базовою короткоротаційною сівозміною. Виробничі витрати при цьому зменшувалися на 18 %, а рентабельність підвищувалася на 21 %, а економічний ефект становив 3,24 тис. грн/га.

Представник ТОВ «Лист-Ручки»

Кузьменко
(підпис)

Віктор КУЗЬМЕНКО



Представник ННЦ «ІЗ НААН»

Савченко
(підпис)

Сергій САВЧЕНКО

Додаток Т 1



МІНІСТЕРСТВО ЕКОЛОГІЇ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ

ПОСВІДЧЕННЯ
про державну реєстрацію

Серія А № 06251

Видане ФО-П Осипенко С.Б., Україна
(назва суб'єкта господарювання)

про те, що відповідно до Закону України "Про пестициди та агрохімікати"

препарат Добриво органічне «Біо-гель», р.
(назва препарату та його препаративна форма)

діюча речовина амінокислоти: гліцин, лізин, лейцин, треонін – загальний вміст не нижче 0,7 %; органічні макроелементи, не менше % на суху речовину: N – 2,5; P₂O₅ – 0,30; K₂O – 0,05; органічні мікроелементи, мг/кг: Mn – 10,6 – 16,0; Zn – 0,77 – 1,20; Mo – 0,20 – 0,30; Cu – 0,45 – 0,70; B – 0,45 – 0,70; Co – 0,53 – 0,80; сапрофітні мікроорганізми природної органічної сировини
(назва та її концентрація)

виробник препаративної форми ФО-П Осипенко С.Б. Україна
(виробник та його місцезнаходження)

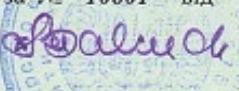
виробник діючої речовини ФО-П Осипенко С.Б. Україна
(виробник, країна)

сфера та умови застосування Зернобобові, круп'яні, баштанні (кавун, диня), овочеві (томати, баклажани) культури, в т.ч. для роздрібного продажу населенню.
(культура чи об'єкти, тара фасування та кількість, кг/л)

Тара: пляшки та каністри з поліетилену високої щільності HDPE 2, місткістю – 0,5 л; 1,0 л; 5,0 л; 10,0 л; 20,0 л.

Зареєстрований в Україні терміном до "31" грудня 2027 р.

Запис у державному реєстрі за № 10801 від "12" вересня 2017 р.

Заступник Міністра
М.П.  В.М. Вакарш



Додаток Т 2



CERTIFICATE

Documentary evidence is issued according to the Annex I of the Standard for input production for use in organic agriculture and processing
Документальне підтвердження видане згідно з Додатком I до Стандарту з виробництва допоміжних речовин, що можуть використовуватись в органічному сільському господарстві та переробці

№ 21-0659-06-01

OPERATOR: OSYPENKO SERHII BORYSOVYCH, PE
STR. KYIVSKA, 31/22, KHERSON CITY, KHERSON REG., 73013, UKRAINE
ОПЕРАТОР: ФОП ОСИПЕНКО СЕРГІЙ БОРИСОВИЧ
ВУЛ. КИЇВСЬКА, 31/22, М. ХЕРСОН, ХЕРСОНСЬКА ОБЛ., 73013, УКРАЇНА
MANDATOR: OSYPENKO SERHII BORYSOVYCH, PE
STR. KYIVSKA, 31/22, KHERSON CITY, KHERSON REG., 73013, UKRAINE
ЗАМОВНИК: ФОП ОСИПЕНКО СЕРГІЙ БОРИСОВИЧ
ВУЛ. КИЇВСЬКА, 31/22, М. ХЕРСОН, ХЕРСОНСЬКА ОБЛ., 73013, УКРАЇНА

According to: STANDARD FOR INPUT PRODUCTION FOR USE IN ORGANIC AGRICULTURE AND PROCESSING, SECTION "PLANT PROTECTION PRODUCTS AND FERTILIZERS" (BASED ON THE IACB EQUIVALENT EU ORGANIC PRODUCTION & PROCESSING STANDARD FOR THIRD COUNTRIES)

Відповідно до: СТАНДАРТУ З ВИРОБНИЦТВА ДОПОМІЖНИХ ПРОДУКТІВ, ЩО МОЖУТЬ ВИКОРИСТОВУВАТИСЬ В ОРГАНІЧНОМУ СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ ТА ПЕРЕРОБЦІ, РОЗДІЛ «ЗЗР ТА ДОБРИВА» (З ВРАХУВАННЯМ ВИМОГ СТАНДАРТУ МАОС З ОРГАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ПЕРЕРОБКИ, ЩО ЕКВІВАЛЕНТНИЙ РЕГЛАМЕНТАМ ЄС)

Based on the signed contract and on its inspection, Organic Standard Ltd herewith confirms that the mentioned company is entitled to manufacture and/or deal with products suitable for organic agriculture according to the Standard, indicated in this Certificate.

На основі підписаного контракту та проведеної інспекції, ТОВ «Органік стандарт» підтверджує, що згадане підприємство уповноважене вести діяльність з виробництва та реалізації продукції, що є придатною для використання в органічному сільському господарстві згідно з Стандартом, зазначеним в даному Сертифікаті.

Certified Activity: Plant protection products and fertilizers production

Сертифікована діяльність: Виробництво ЗЗР та/чи добрив

Product: Bio-gel (based on biohumus), I, s., Bio-gel (based on peat), I, s., Bio-gel (based on biohumus), I, TM LEANUM, Bio-gel (based on peat), I, TM LEANUM, Bio-gel TM VITAMIN O₇ (based on peat), s., Bio-gel TM VITAMIN O₇ (based on biohumus), s.

Продукція: Біо-гель (на основі біогумусу), р., т., Біо-гель (на основі торфу), р., т., Біо-гель (на основі біогумусу), р. TM LEANUM, Біо-гель (на основі торфу), р. TM LEANUM, Біо-гель TM VITAMIN O₇ (на основі торфу), тв.ф., Біо-гель TM VITAMIN O₇ (на основі біогумусу), тв.ф.

Quality: Approved for the use in organic agriculture according to the IACB Equivalent European Union Organic Production & Processing Standard for Third Countries to the Regulations EU No. 834/2007 and No. 889/2008

Затверджено для використання в органічному сільському господарстві згідно зі Стандартом МАОС з органічного виробництва та переробки, що є еквівалентним до Регламентів ЄС № 834/2007 та № 889/2008

Date of inspection(s):
Дата інспекції(й):
27.04.2021

Date and place of issuing of Certificate:
Дата та місце видачі Сертифікату:
13.05.2021
Kyiv / м. Київ

On behalf of General Manager
Від імені директора органу сертифікації



Validity:
Термін дії:
from date of issuance until 13.08.2022
з дати видачі до 13.08.2022
Maksym Chemerys
Максим Чермерис

The Certificate is valid and updated based on the results of the annual inspection performed by the Organic Standard Ltd. It can be put on hold or withdrawn if the holder does not comply with the requirements of the Standard.
Цей Сертифікат є дійсним та оновлюється на основі результатів щорічної інспекції, проведеної Органік Стандарт. Він може бути призупинений, відкликаний або скасований, якщо його власник не відповідає вимогам Стандарту.

Organic Standard Ltd, 38-В Velyka Vasylkivska St, office 20, Kyiv city, 01024 Ukraine / ТОВ «Органік стандарт», вул. Велика Васильківська, 38-В, офіс 20, Київ, 01024, Україна
www.organicstandard.ua, office@organicstandard.ua, tel: 0(44)-200-62-16

