

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

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

САВЧЕНКО ЄВГЕНІЙ ДМИТРОВИЧ

УДК 631.147:631.582:631.811

ДИСЕРТАЦІЯ

**ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ РОДЮЧОСТІ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО
ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ КОРОТКОРОТАЦІЙНОЇ СІВОЗМІНИ ЗА
ОРГАНІЧНОЇ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ В УМОВАХ ЛІВОБЕРЕЖНОГО
ЛІСОСТЕПУ**

201 – Агрономія

20 Аграрні науки і продовольство

Подается 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.

_____ **Є. Д. Савченко**

Науковий керівник – **Мартинюк Іван Васильович**,
доктор сільськогосподарських наук, доцент, старший науковий
співробітник, заслужений працівник сільського господарства України

Чабани – 2026

АНОТАЦІЯ

Савченко Є. Д. Формування показників родючості чорнозему типового та продуктивність короткоротаційної сівозміни за органічної системи удобрення в умовах Лівобережного Лісостепу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 «Агрономія». – Національний науковий центр «Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України», Чабани, 2026.

У дисертаційній роботі теоретично узагальнено та експериментально обґрунтовано закономірності формування показників родючості чорнозему типового малогумусного та продуктивності короткоротаційної сівозміни соя – пшениця яра – просо за різних систем органічного удобрення в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України. Розроблено комплексну систему органічного удобрення, яка поєднує застосування побічної продукції попередника, використання післяжнивного сидерату редьки олійної та позакореневе внесення біопрепарату. Встановлено її вплив на водний, гумусний, поживний і біологічний стан ґрунту, забур'яненість посівів, ріст і конкурентну здатність культур, урожайність та якість продукції, а також економічну й енергетичну ефективність короткоротаційної органічної сівозміни.

Встановлено, що водний режим чорнозему типового залежав переважно від гідротермічних умов року та біологічних особливостей культур. За комплексного удобрення запаси продуктивної вологи у 0–100 см шарі становили 158,3 мм на час сівби і 52,8 мм на час збирання проти 149,6 і 49,7 мм на контролі. Коефіцієнт водоспоживання знижувався з 1643 до 1164 м³/т, або на 29,2 %, що свідчить про продуктивніше використання вологи посівами за комплексної системи органічного удобрення.

Надходження рослинної фітомаси у ґрунт зростало зі збільшенням кількості компонентів органічного удобрення. У середньому з 1 га сівозмінної площі маса побічної продукції підвищувалася з 3,60 т/га на контролі до 4,51 т/га за комплексної системи, або на 25,3 %. Найбільшу її кількість формувало просо

– 5,61 т/га, а найвищу врожайність зеленої маси редьки олійної (13,06 т/га) одержано після пшениці ярої за поєднання сидерату з біопрепаратом, що сприяло поповненню запасів органічної речовини та підтриманню біологічного колообігу елементів живлення.

Визначено, що комплексна система органічного удобрення поліпшувала гумусний стан чорнозему типового. У середньому по сівозміні вміст гумусу у шарі 0–20 см зростав з 3,10 до 3,21 % та з 2,65 до 2,80 % у 20–40 см шарі ґрунту. Запаси гумусу збільшувалися відповідно з 74,3 до 77,1 та із 66,4 до 70,1 т/га, свідчить про позитивну дію органічного удобрення на підорну частину ґрунтового профілю.

Найбільш істотно системи органічного удобрення впливали на азотний режим ґрунту. За комплексного застосування побічної продукції, сидерату та біопрепарату вміст лужногідролізного азоту у 0–20 см шарі зростав зі 113,7 до 126,5 мг/кг та з 87,0 до 105,2 мг/кг у 20–40 см шарі ґрунту, перевищуючи контроль відповідно на 11,3 і 20,9 %, що обумовлено надходженням органічної речовини, її мікробіологічною трансформацією та активізацією колообігу азоту.

Зміни фосфорного й калійного режимів залежали від культури, шару ґрунту та фази розвитку рослин. Зменшення в кінці вегетації вмісту рухомих сполук фосфору й калію на варіантах із вищою продуктивністю було зумовлене інтенсивнішим засвоєнням цих елементів і формуванням більшої біомаси та врожаю.

Системи органічного удобрення сприяли зниженню кислотності ґрунтового розчину. У середньому по сівозміні значення рН у 0–20 см шарі підвищувався з 5,7 на контролі до 5,9 на фоні сидерату, 6,0 – біопрепарату та 6,2 за їх комплексного застосування. У 20–40 см шарі показник зростав із 5,5 до 5,9 із найбільш вираженими змінами за поєднання сидерату з біопрепаратом.

Встановлено, що вміст міді й кадмію був найменш мінливим, тоді як концентрація цинку, марганцю та заліза залежала від культури, шару ґрунту й погодних умов. Рухомі форми міді, цинку, марганцю, свинцю, нікелю та кадмію

не перевищували гранично допустимих концентрацій, що підтверджує екологічну безпечність досліджуваних систем органічного удобрення.

Мікробіологічна активність чорнозему типового зростала зі збільшенням кількості органічних компонентів системи удобрення. У середньому по сівозміні інтенсивність розкладання лляної тканини підвищувалася з 20,2 % на контролі до 24,4 % за комплексного удобрення або на 20,8 %. Найвищий показник встановлено у посівах сої – 27,5 %, а найбільшу реакцію на комплексну систему удобрення за вирощування пшениці ярої, де він зростав із 16,4 до 21,6 %.

Встановлено істотні відмінності у формуванні початкової забур'яненості культур короткоротаційної сівозміни. У фазі повних сходів найбільшу кількість бур'янів на контролі виявлено у посівах пшениці ярої – 207 шт./м² та сої – 194, найменшу у посівах проса – 114 шт./м². У структурі забур'яненості переважали плоскуха звичайна та мишій сизий, частка яких становила 72,0–85,6 %. Комплексне органічне удобрення зменшувало кількість бур'янів у посівах сої до 146 шт./м², пшениці ярої до 131 та проса до 78 шт./м² або відповідно на 24,7; 36,7 і 31,6 %.

На час збирання внаслідок самозрідження бур'янової синузії та посилення конкурентного впливу культур чисельність бур'янів на контролі зменшувалася до 118 шт./м² у посівах сої до 86 пшениці ярої та до 32 шт./м² у посівах проса. За комплексної системи удобрення ці показники становили відповідно 68, 41 і 13 шт./м², а суха маса сегетальної рослинності знижувалася з 124 до 68 г/м², з 84 до 41 та із 46 до 22 г/м² відповідно. Дія біопрепарату проявлялася переважно через поліпшення умов росту культур, формування щільнішого агрофітоценозу та посилення їх конкурентної здатності у другій половині вегетації.

Накопичення сухої біомаси, як інтегральний показник використання вологи, світла й елементів живлення, було найбільшим за комплексного органічного удобрення. Загальна суха біомаса сої зростала з 460 до 631 г/м² або на 37,2 %, пшениці ярої з 770 до 1038 г/м² або на 34,8 %, проса з 786 до 1025 г/м² або на 30,4 %. У пшениці ярої маса коренів збільшувалася з 98 до 159 г/м², що поліпшувало використання вологи та елементів живлення. Значна надземна

біомаса проса на контролі підтверджує його вищу природну фітоценотичну стійкість.

Співвідношення сухої надземної маси культури та бур'янів характеризувало конкурентні взаємовідносини в агрофітоценозі. За комплексного удобрення індекс конкурентної здатності сої зростає із 3,3 до 8,8, пшениці ярої з 11,3 до 37,0, проса з 15,3 до 44,1 або відповідно у 2,7; 3,3 і 2,9 рази. Соя була найменш конкурентоспроможною щодо бур'янів, пшениця яра мала найбільший відносний приріст показника, а просо найвище його абсолютне значення.

Встановлено, що комплексна система органічного удобрення забезпечувала найвищу врожайність культур сівозміни. У середньому за 2023–2025 рр. урожайність насіння сої зростала з 1,29 т/га на контролі до 1,87 т/га або на 45,0 %, зерна пшениці ярої з 2,74 до 3,98 т/га або на 45,3 %, проса з 2,55 до 3,52 т/га або на 38,0 %. Окреме використання сидерату й біопрепарату також підвищувало продуктивність культур, однак їх поєднання забезпечувало додаткову перевагу, що свідчить про комплементарність складових комплексної системи органічного удобрення.

Вплив органічного удобрення на якість продукції залежав від культури й окремого показника хімічного складу. У насінні сої вміст білка підвищувався з 35,0 % на контролі до 36,4 % за комплексної системи, тоді як частка жиру зменшувалася з 19,7 до 18,2 %. Вміст клітковини змінювався у вузьких межах – 7,00–7,21 %. У зерні пшениці ярої вміст білка зростає з 12,2 до 13,3 %, а клейковини з 24,1 до 26,3 %, тоді як частка жиру знижувалася з 2,01 до 1,86 %. Отже, підвищення продуктивності та білковості не супроводжувалося пропорційним зростанням показників якості продукції.

Показники якості зерна проса характеризувалися найменшою мінливістю. Вміст білка за різних систем удобрення змінювався від 11,0 до 11,2 %, клітковини – від 5,47 до 5,58 %, жиру від 3,59 до 3,69 %. Тому позитивна дія комплексної системи за вирощування проса реалізувалася переважно через підвищення врожайності, а не через істотну зміну хімічного складу зерна.

Комплексне органічне удобрення забезпечувало найвищу продуктивність короткоротаційної сівозміни. З 1 га сівозмінної площі збір кормових одиниць зростав з 2,64 до 3,77 т, зернових з 2,45 до 3,51 т та перетравного протеїну з 0,27 до 0,38 т/га або відповідно на 42,8; 43,1 і 40,7 %. Пшениця яра формувала найбільший вихід кормових і зернових одиниць, а соя – перетравного протеїну.

Результати економічного аналізу засвідчили, що зростання виробничих витрат за збільшення кількості компонентів системи удобрення компенсувалося підвищенням урожайності та вартості валової продукції. Найбільший умовно чистий прибуток одержано за комплексного поєднання побічної продукції, сидерату та біопрепарату – 43 624 грн/га, що на 41,2 % перевищувало контроль, за собівартості 8176 грн/т і рентабельності 193 %. Найвищу економічну ефективність забезпечувало застосування біопрепарату на фоні побічної продукції, собівартість знижувалася до 7340 грн/т за а зростання рентабельності до 231 %.

Найвищі показники економічної ефективності серед досліджуваних культур встановлено за вирощування проса, де залежно від системи удобрення умовно чистий прибуток становив 47 142–63 156 грн/га, а рівень рентабельності – 279–360 %. За вирощування сої відповідні показники змінювалися у межах 22 300–33 563 грн/га і 128–172 %, пшениці ярої – 23 218–34 154 грн/га і 118–161 %. Такі відмінності визначалися рівнем урожайності, вартістю продукції та величиною технологічних витрат для кожної культури.

Результати енергетичного аналізу засвідчили перевагу комплексної системи органічного удобрення. Сукупні енерговитрати зростали з 10 375 до 12 283 МДж/га або на 18,4 %, тоді як енергомісткість урожаю з 37 210 до 52 988 МДж/га або на 42,4 %. Унаслідок цього коефіцієнт енергетичної ефективності підвищувався з 3,64 до 4,35. Найвищу енергоокупність забезпечувало просо – 4,78–5,28, у пшениці ярої показник становив 3,96–5,11, тоді як за вирощування сої він знижувався до 2,18–2,66.

Наукова новизна полягає у встановленні закономірностей впливу побічної продукції попередника, післяжнивного сидерату редьки олійної та біопрепарату

на функціонування системи «грунт – рослина» у трипільній органічній сівозміні. Для умов нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу визначено взаємозв'язки між надходженням органічної фітомаси, показниками родючості чорнозему типового, конкурентоспроможністю агрофітоценозу та продуктивністю культур. Удосконалено комплексне оцінювання систем органічного удобрення за ґрунтовими, агробіологічними, економічними й енергетичними показниками.

Практичне значення результатів полягає в обґрунтуванні комплексної системи органічного удобрення, що передбачає заробляння побічної продукції попередника, післяжнивне вирощування редьки олійної на сидерат і позакореневе внесення біопрепарату. Її застосування забезпечує збір з 1 га сівозмінної площі 3,77 т кормових, 3,51 т зернових одиниць і 0,38 т перетравного протеїну, 43,6 тис. грн/га умовно чистого прибутку, рентабельність 193 % за коефіцієнта енергетичної ефективності 4,35.

Розроблену систему комплексного органічного удобрення впроваджено у 2024–2025 рр. у ТОВ «Лист-Ручки» Полтавської області та ФГ «Русь» Київської області на загальній площі 90 га. У виробничих умовах підтверджено підвищення врожайності сої, пшениці ярої та проса, збільшення умовно чистого прибутку й досягнення належного рівня рентабельності. Одержані результати засвідчили агрономічну, економічну й енергетичну доцільність застосування розробленої системи в господарствах, що спеціалізуються на органічному виробництві рослинницької продукції в умовах Лісостепу України.

Ключові слова: біопрепарат, гумус, економічна та енергетична ефективність, зернові одиниці, органічне землеробство, побічна продукція, поживні речовини, продуктивна волога, продуктивність, рентабельність, родючість ґрунту, сидерат, система удобрення, сівозміна, урожайність.

ABSTRACT

Savchenko Ye. D. Formation of fertility indicators of typical chernozem and productivity of a short-rotation crop rotation under an organic fertilization system in the Left-Bank Forest-Steppe. – Qualifying scientific work submitted as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in Specialty 201 “Agronomy”. – National Scientific Centre “Institute of Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine”, Chabany, 2026.

The dissertation provides a theoretical generalization and experimental substantiation of the patterns governing the formation of fertility indicators of typical low-humus chernozem and the productivity of the soybean–spring wheat–millet short-rotation crop rotation under different organic fertilization systems in the unstable moisture conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. An integrated organic fertilization system combining the incorporation of crop residues from the preceding crop, the use of post-harvest oilseed radish as a green manure crop, and the foliar application of a biological preparation was developed. Its effects on the soil water, humus, nutrient, and biological status, crop weed infestation, plant growth and competitive ability, crop yield and product quality, as well as the economic and energy efficiency of the organic short-rotation crop rotation were determined.

It was established that the water regime of typical chernozem depended primarily on the hydrothermal conditions of the year and the biological characteristics of the crops. Under the integrated fertilization system, plant-available water reserves in the 0–100 cm soil layer amounted to 158.3 mm at sowing and 52.8 mm at harvest, compared with 149.6 and 49.7 mm, respectively, in the control. The water consumption coefficient decreased from 1,643 to 1,164 m³ t⁻¹, or by 29.2%, indicating more productive use of soil moisture by crops under the integrated organic fertilization system.

The input of plant biomass into the soil increased with the number of organic fertilization components applied. On average per hectare of crop rotation area, the mass of crop residues increased from 3.60 t ha⁻¹ in the control to 4.51 t ha⁻¹ under the

integrated system, or by 25.3%. Millet produced the largest amount of crop residues, 5.61 t ha⁻¹, while the highest green biomass yield of oilseed radish, 13.06 t ha⁻¹, was obtained following spring wheat when the green manure crop was combined with the biological preparation. This contributed to the replenishment of soil organic matter and the maintenance of the biological cycling of nutrients.

It was determined that the integrated organic fertilization system improved the humus status of typical chernozem. On average across the crop rotation, humus content increased from 3.10 to 3.21% in the 0–20 cm soil layer and from 2.65 to 2.80% in the 20–40 cm layer. Humus stocks increased accordingly from 74.3 to 77.1 t ha⁻¹ and from 66.4 to 70.1 t ha⁻¹, indicating a positive effect of organic fertilization on the subsoil part of the soil profile.

Organic fertilization systems had the most substantial effect on the soil nitrogen regime. Under the integrated application of crop residues, green manure, and the biological preparation, the content of alkali-hydrolysable nitrogen increased from 113.7 to 126.5 mg kg⁻¹ in the 0–20 cm layer and from 87.0 to 105.2 mg kg⁻¹ in the 20–40 cm layer, exceeding the control by 11.3 and 20.9%, respectively. This was associated with the input of organic matter, its microbial transformation, and the intensification of nitrogen cycling.

Changes in the phosphorus and potassium regimes depended on the crop, soil layer, and plant growth stage. The decrease in the content of available phosphorus and potassium compounds at the end of the growing season in the more productive treatments resulted from their more intensive uptake and incorporation into greater crop biomass and yield.

Organic fertilization systems contributed to a reduction in soil acidity. On average across the crop rotation, soil pH in the 0–20 cm layer increased from 5.7 in the control to 5.9 under green manure, 6.0 under the biological preparation, and 6.2 under their integrated application. In the 20–40 cm layer, pH increased from 5.5 to 5.9, with the most pronounced changes observed when green manure was combined with the biological preparation.

It was established that the contents of copper and cadmium showed the lowest variability, whereas the concentrations of zinc, manganese, and iron depended on the crop, soil layer, and weather conditions. The mobile forms of copper, zinc, manganese, lead, nickel, and cadmium did not exceed the maximum permissible concentrations, confirming the environmental safety of the organic fertilization systems studied.

The microbiological activity of typical chernozem increased with the number of organic components included in the fertilization system. On average across the crop rotation, the decomposition rate of linen fabric increased from 20.2% in the control to 24.4% under integrated fertilization, or by 20.8%. The highest value was recorded in soybean plots, at 27.5%, while spring wheat showed the greatest response to the integrated fertilization system, with the indicator increasing from 16.4 to 21.6%.

Significant differences were established in the initial weed infestation of crops in the short-rotation crop rotation. At the full-emergence stage, the highest weed density in the control was recorded in spring wheat, at 207 plants m^{-2} , and soybean, at 194 plants m^{-2} , whereas the lowest was observed in millet, at 114 plants m^{-2} . Barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*) and yellow foxtail (*Setaria glauca*) predominated in the weed community, accounting for 72.0–85.6% of the total weed density. The integrated organic fertilization system reduced weed density to 146 plants m^{-2} in soybean, 131 plants m^{-2} in spring wheat, and 78 plants m^{-2} in millet, corresponding to reductions of 24.7, 36.7, and 31.6%, respectively.

By harvest, weed density in the control decreased due to self-thinning of the weed community and increased crop competition, reaching 118 plants m^{-2} in soybean, 86 plants m^{-2} in spring wheat, and 32 plants m^{-2} in millet. Under the integrated fertilization system, the corresponding values were 68, 41, and 13 plants m^{-2} , while the dry biomass of segetal vegetation decreased from 124 to 68 g m^{-2} , from 84 to 41 g m^{-2} , and from 46 to 22 g m^{-2} , respectively. The effect of the biological preparation was manifested primarily through improved crop growth conditions, the formation of a denser crop stand, and enhanced crop competitive ability during the second half of the growing season.

Dry biomass accumulation, as an integrated indicator of crop utilization of water, light, and nutrients, was highest under the integrated organic fertilization system. The total dry biomass of soybean increased from 460 to 631 g m⁻², or by 37.2%; that of spring wheat from 770 to 1,038 g m⁻², or by 34.8%; and that of millet from 786 to 1,025 g m⁻², or by 30.4%. In spring wheat, root biomass increased from 98 to 159 g m⁻², improving the utilization of soil moisture and nutrients. The substantial aboveground biomass of millet in the control confirmed its greater natural phytocenotic resistance to weeds.

The ratio of crop aboveground dry biomass to weed dry biomass characterized competitive interactions within the agrophytocenosis. Under the integrated fertilization system, the competitive ability index increased from 3.3 to 8.8 in soybean, from 11.3 to 37.0 in spring wheat, and from 15.3 to 44.1 in millet, corresponding to 2.7-, 3.3-, and 2.9-fold increases, respectively. Soybean was the least competitive crop against weeds, spring wheat showed the greatest relative increase in the index, and millet had the highest absolute value.

It was established that the integrated organic fertilization system provided the highest yields of all crops in the rotation. On average for 2023–2025, soybean seed yield increased from 1.29 t ha⁻¹ in the control to 1.87 t ha⁻¹, or by 45.0%; spring wheat grain yield increased from 2.74 to 3.98 t ha⁻¹, or by 45.3%; and millet grain yield increased from 2.55 to 3.52 t ha⁻¹, or by 38.0%. Separate use of green manure and the biological preparation also increased crop productivity; however, their combined application provided an additional advantage, indicating the complementary effects of the components of the integrated organic fertilization system.

The effect of organic fertilization on product quality depended on the crop and the specific chemical composition indicator. In soybean seed, protein content increased from 35.0% in the control to 36.4% under the integrated system, whereas fat content decreased from 19.7 to 18.2%. Crude fibre content varied within a narrow range of 7.00–7.21%. In spring wheat grain, protein content increased from 12.2 to 13.3% and gluten content from 24.1 to 26.3%, while fat content decreased from 2.01 to 1.86%.

Thus, increases in crop productivity and protein content were not accompanied by proportional improvements in all product quality indicators.

Millet grain quality indicators showed the lowest variability. Depending on the fertilization system, protein content ranged from 11.0 to 11.2%, crude fibre content from 5.47 to 5.58%, and fat content from 3.59 to 3.69%. Therefore, the beneficial effect of the integrated system on millet was manifested primarily through increased yield rather than substantial changes in grain chemical composition.

The integrated organic fertilization system provided the highest productivity of the short-rotation crop rotation. Per hectare of crop rotation area, the output of feed units increased from 2.64 to 3.77 t, grain units from 2.45 to 3.51 t, and digestible protein from 0.27 to 0.38 t ha⁻¹, corresponding to increases of 42.8, 43.1, and 40.7%, respectively. Spring wheat provided the highest output of feed and grain units, whereas soybean contributed the greatest amount of digestible protein.

The economic analysis showed that the increase in production costs associated with a greater number of fertilization system components was offset by higher yields and gross output value. The highest net operating income was obtained under the integrated use of crop residues, green manure, and the biological preparation, reaching UAH 43,624 ha⁻¹, which was 41.2% higher than in the control, with a production cost of UAH 8,176 t⁻¹ and a profitability level of 193%. The highest relative economic efficiency was achieved by applying the biological preparation against the background of crop residues, which reduced production costs to UAH 7,340 t⁻¹ and increased profitability to 231%.

Among the crops studied, millet showed the highest economic efficiency. Depending on the fertilization system, net operating income ranged from UAH 47,142 to 63,156 ha⁻¹, and profitability from 279 to 360%. For soybean, the corresponding values ranged from UAH 22,300 to 33,563 ha⁻¹ and from 128 to 172%, while for spring wheat they ranged from UAH 23,218 to 34,154 ha⁻¹ and from 118 to 161%. These differences were determined by crop yield, product value, and the level of technological inputs required for each crop.

The energy analysis demonstrated the advantage of the integrated organic fertilization system. Total energy inputs increased from 10,375 to 12,283 MJ ha⁻¹, or by 18.4%, whereas the energy content of the harvested yield increased from 37,210 to 52,988 MJ ha⁻¹, or by 42.4%. Consequently, the energy efficiency ratio increased from 3.64 to 4.35. Millet had the highest energy return, ranging from 4.78 to 5.28; for spring wheat, the ratio ranged from 3.96 to 5.11, whereas for soybean it was lower, ranging from 2.18 to 2.66.

The scientific novelty of the study lies in establishing the patterns of the effects of crop residues from the preceding crop, post-harvest oilseed radish green manure, and a biological preparation on the functioning of the soil–plant system in a three-field organic crop rotation. Under the unstable moisture conditions of the Left-Bank Forest-Steppe, relationships were identified between the input of plant biomass, the fertility indicators of typical chernozem, the competitive ability of the agrophytocenosis, and crop productivity. The integrated assessment of organic fertilization systems was improved by combining soil, agrobiological, economic, and energy indicators.

The practical significance of the results lies in the substantiation of an integrated organic fertilization system involving the incorporation of crop residues from the preceding crop, the post-harvest cultivation of oilseed radish as a green manure crop, and the foliar application of a biological preparation. Its application provides, per hectare of crop rotation area, 3.77 t of feed units, 3.51 t of grain units, and 0.38 t of digestible protein, as well as a net operating income of UAH 43.6 thousand ha⁻¹, a profitability level of 193%, and an energy efficiency ratio of 4.35.

The developed integrated organic fertilization system was implemented in 2024–2025 at Lyst-Ruchky LLC in Poltava Region and Rus Farm in Kyiv Region over a total area of 90 ha. Under production conditions, the system increased the yields of soybean, spring wheat, and millet, enhanced net operating income, and ensured an adequate level of profitability. The results obtained confirmed the agronomic, economic, and energy feasibility of applying the developed system on farms specializing in organic crop production in the Forest-Steppe zone of Ukraine.

Keywords: biological product, humus, economic and energy efficiency, grain units, organic farming, crop residues, nutrients, available soil moisture, productivity, profitability, soil fertility, green manure, fertilization system, crop rotation, yield.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. **Savchenko E. D.** «Soybean cultivation in short rotation organic crop rotation under different fertilisation systems». Журнал «Землеробство та рослинництво: теорія і практика» ННЦ «ІЗ НААН». Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2024. Вип. 2 (12). С. 16–19. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2024.02.02> *(здобувачем проведено польові дослідження, отримано експериментальні дані, підготовлено 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. Науково-теоретичний журнал «Вісник аграрної науки». Київ: «Аграрна наука». № 11, 2024. С.5–10. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202411-01>. *(здобувачем проведено аналіз первинних польові експериментальних даних, взято участь у підготовці статті до друку).*

3. Мартинюк І. В., **Савченко Є. Д.** Ефективність органічних систем удобрення культур зернової сівоzmіни в умовах Лівобережного Лісостепу України. Журнал «Землеробство та рослинництво: теорія і практика» ННЦ «ІЗ НААН». Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2026. Вип. 2 (20) С. 34–41. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2026.02.04>. *(здобувачем проведено польові дослідження, отримано експериментальні дані, підготовлено статтю до друку).*

4. **Савченко Є. Д.** Вплив різних систем органічного удобрення на забур'яненість посівів зернових культур короткоротаційної сівоzmіни. Науково-

теоретичний журнал «Вісник аграрної науки». Київ: «Аграрна наука». № 6 (879), 2026. С. 78–83. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202606-09>. (здобувачем проведено польові дослідження, отримано експериментальні дані, підготовлено статтю до друку).

Тези доповідей і матеріали конференцій:

1. Мартинюк І. В., **Савченко Є. Д.** Вирощування проса у короткоротаційній сівоzmіні за органічного виробництва зерна. *Інноваційні напрями розвитку технологій управління землями сільськогосподарського призначення: теорія та практика*: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів (с-ще Чабани, 27 листопада 2023 р.). Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2023. С. 40–42. <https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2024/02/innovative-areas-of-development-2.pdf>

2. Мартинюк І. В., Цимбал Я. С., Савченко С. Д., **Савченко Є. Д.** Вирощування сої в короткоротаційній сівоzmіні за органічного землеробства. Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції: *Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції* (м. Іллінці, 17 червня 2025 року). Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2025. С. 19–22.

3. Мартинюк І. В., **Савченко Є. Д.** Продуктивність проса за різних органічних систем удобрення в умовах Лівобережного Лісостепу України. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених з нагоди Дня науки в Україні: *Інновації для сталого розвитку агросфери: наукові та технічні рішення* (м. Одеса, 15 травня 2026 року). Одеса: Олді+, 2026. С. 33–35.

4. Мартинюк І. В., **Савченко Є. Д.** Уміст мікроелементів і важких металів у ґрунті під зерновими культурами короткоротаційної органічної сівоzmіні. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції *«Ресурсозберігаючі технології вирощування культурних рослин»* (м. Біла-Церква, 04 червня 2026 року). Біла Церква: БНАУ, 2026. С. 37–39.

5. **Савченко Є. Д.** Агрохімічний стан чорнозему типового малогумусного за різних систем органічного удобрення в короткоротаційній сівозміні. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції *«Ресурсозберігаючі технології вирощування культурних рослин»* (м. Біла-Церква, 04 червня 2026 року). Біла Церква: БНАУ, 2026. С. 66–70.

6. Мартинюк І. В., **Савченко Є. Д.** Запаси продуктивної вологи у ґрунті залежно від системи органічного удобрення культур короткоротаційної сівозміні. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції *«Інноваційний розвиток землеробства на засадах еколого-економічної збалансованості»* (м. Рівне, 11 червня 2026 р.). Зб. наук. праць. – Рівне, 2026. С. 13–15.

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. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2026. 56 с.

ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	19
ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1 РОЛЬ РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ У ФОРМУВАННІ ПОКАЗНИКІВ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ КУЛЬТУР СІВОЗМІНИ ЗА ОРГАНІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА....	28
1.1 Наукові принципи органічного удобрення в короткоротаційних сівозмінах	29
1.2 Вплив систем органічного удобрення на показники родючості чорнозему типового.....	35
1.3 Формування продуктивності культур і короткоротаційної сівозміни за органічного удобрення	41
Висновки до розділу 1.....	48
РОЗДІЛ 2 УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	50
2.1 Характеристика ґрунтово-кліматичних умов зони проведення досліджень.....	50
2.2 Метеорологічні умови в роки проведення досліджень.....	54
2.3 Схема досліду та методика проведення досліджень.....	61
РОЗДІЛ 3 ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ РОДЮЧОСТІ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ ОРГАНІЧНОГО УДОБРЕННЯ.....	72
3.1 Водний режим чорнозему типового та водоспоживання культур короткоротаційної сівозміни.....	75
3.2 Поживний режим чорнозему типового залежно від систем органічного удобрення	88
3.2.1 Особливості надходження рослинної фітомаси у ґрунт.....	90
3.2.2 Гумусний стан чорнозему типового залежно від систем органічного удобрення.....	95
3.2.3 Уміст основних елементів живлення в ґрунті залежно від застосування органічного удобрення.....	101
3.3 Реакція ґрунтового розчину чорнозему типового залежно від систем органічного удобрення.....	109
3.4 Уміст мікроелементів і важких металів у чорноземі типовому за різних систем органічного удобрення.....	115

3.5 Вплив різних систем органічного удобрення на мікробіологічну активність чорнозему типового	122
Висновки до розділу 3.....	129
РОЗДІЛ 4 ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗАБУР'ЯНЕНOSTI ПОСІВІВ ТА КОНКУРЕНТНОЇ ЗДАТНОСТІ КУЛЬТУР СІВОЗМІНИ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ ОРГАНІЧНОГО УДОБРЕННЯ.....	132
4.1 Забур'яненість посівів культур короткоротаційної сівозміни залежно від систем органічного удобрення.....	135
4.2 Конкурентна здатність культур сівозміни щодо сегетальної рослинності за різних систем органічного удобрення.....	144
Висновки до розділу 4.....	151
РОЗДІЛ 5 АГРОБІОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ КОРОТКОРОТАЦІЙНОЇ ОРГАНІЧНОЇ СІВОЗМІНИ.	153
5.1 Урожайність культур і якість зерна та насіння залежно від системи органічного удобрення.....	156
5.2 Порівняльна оцінка продуктивності сівозміни за виходом кормових і зернових одиниць та перетравного протеїну залежно від системи органічного удобрення.....	163
Висновки до розділу 5.....	173
РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КУЛЬТУР КОРОТКОРОТАЦІЙНОЇ СІВОЗМІНИ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ ОРГАНІЧНОГО УДОБРЕННЯ.....	175
6.1 Показники економічної ефективності вирощування культур короткоротаційної сівозміни залежно від систем органічного удобрення.....	178
6.2 Показники енергетичної ефективності вирощування культур короткоротаційної сівозміни залежно від систем органічного удобрення.....	185
Висновки до розділу 6.....	191
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	193
ВИСНОВКИ.....	194
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	199
ДОДАТКИ.....	231

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

НААН – Національна академія аграрних наук;

ННЦ «ІЗ НААН» – ННЦ «Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України»;

НІР₀₅ – найменша істотна різниця за 5 % рівня значимості;

ГДК – гранично допустима концентрація;

S – стандартне відхилення;

S_x – стандартна похибка середнього арифметичного;

V – коефіцієнт варіації;

к. од. – кормові одиниці;

з. од. – зернові одиниці;

п.п.п – побічна продукція попередника;

K_{еє} – коефіцієнт енергетичної ефективності.

ВСТУП

Актуальність теми. Земельні ресурси є основою продовольчої безпеки, стабільності аграрного виробництва та екологічної рівноваги агроландшафтів. Чорноземи України мають високий потенціал природної родючості, однак тривале використання за недостатнього повернення органічної речовини, незбалансованого живлення, переущільнення та розвитку ерозійних процесів супроводжується погіршенням їх гумусного, водного, поживного і біологічного стану [6]. В умовах Лівобережного Лісостепу ці ризики посилюються нестійкістю зволоження, що підвищує вимоги до здатності систем землеробства підтримувати стабільність функціонування системи «грунт – рослина».

Одним із пріоритетних напрямів екологізації аграрного виробництва є органічне землеробство, яке базується на природних механізмах функціонування агроєкосистем, збереженні біорізноманіття, забороні застосування синтетичних засобів і відтворенні родючості ґрунту. Його розвиток відповідає стратегічним завданням України щодо формування конкурентоспроможного й стійкого аграрного сектору, адаптації виробництва до кліматичних змін і підвищення безпечності продукції [131]. Водночас сучасні економічні, безпекові та логістичні виклики зумовлюють потребу в технологіях, здатних ефективно використовувати природний ресурсний потенціал агроєкосистеми [150]. Нормативно-правові засади органічного виробництва в Україні визначено профільним законодавчим органом [130], а Стратегія розвитку сільського господарства та сільських територій до 2030 року орієнтує аграрний сектор на впровадження принципів сталого розвитку та поглиблення європейської інтеграції [131].

Європейська інтеграція України передбачає узгодження національних підходів із вимогами Європейського Союзу. Регламент (ЄС) 2018/848 визначає принципи органічного виробництва, правила сертифікації, контролю, маркування та обігу продукції [238], а Імплементативний регламент Комісії (ЄС) 2021/1165 – переліки продуктів і речовин, дозволених у таких технологіях [187].

Дотримання цих норм забезпечує контроль походження й руху органічної продукції, довіру споживачів і доступ українських операторів до ринку ЄС. Європейський план дій щодо розвитку органічного виробництва також передбачає розширення органічних площ, підтримку наукових досліджень та інновацій і вдосконалення системи контролю [193].

Однією з основних складових органічного землеробства є раціонально побудована сівозміна, яка регулює використання вологи й елементів живлення, надходження рослинних решток, біологічні процеси у ґрунті та фітосанітарний стан посівів [8; 34; 66; 109–110; 123; 147; 152].

Формуванню теоретичних і методичних засад науково обґрунтованих сівозмін для різних ґрунтово-кліматичних зон України присвячені фундаментальні праці В. Ф. Сайка, П. І. Бойка, В. П. Гудзя, Є. М. Лебеда, І. А. Шувара та інших [31; 34; 86; 139; 147; 172]. Подальший розвиток принципів класифікації, проектування й освоєння сівозмін, добору попередників і раціонального чергування культур відображено у роботах І. Д. Примака, В. О. Єщенка, Ю. П. Манька, Д. В. Літвінова, Л. В. Центиля та ін. [123; 134; 152]. Сучасні підходи до формування й оцінювання різноротаційних сівозмін у Лівобережному Лісостепу розвинено в дослідженнях І. В. Мартинюка, Я. С. Цимбала та ін. [13; 166]. Водночас поширення спеціалізованих сівозмін із короткою ротацією та нестабільність вологозабезпечення зумовлюють необхідність подальшого вдосконалення добору й чергування культур, структури систем органічного удобрення та використання побічної продукції й сидеральної біомаси [13; 134; 152; 166].

Скорочення ротації відповідає потребам спеціалізованих господарств, однак підвищує вимоги до добору культур і системи удобрення. Продуктивність короткоротаційних сівозмін істотно залежить від біологічних особливостей культур, їх чергування та характеру надходження органічної речовини в ґрунт [75; 97].

Включення до короткоротаційної сівозміни сої, пшениці ярої та проса забезпечує чергування культур різних біологічних груп, неоднакових за

вимогами до вологозабезпечення й мінерального живлення, розвитком кореневої системи та фітоценотичною стійкістю. За обмеженого використання традиційних органічних добрив особливого значення набувають побічна продукція попередників, післяжнивні сидерати та біологічні препарати [109–110]. Повернення рослинних решток сприяє поповненню запасів органічного вуглецю й елементів живлення та підтриманню гумусного стану [122], а біопрепарати можуть активізувати мікробіологічні процеси й трансформацію органічної речовини [40]. Перспективним є комплексне поєднання цих складових у єдиній системі органічного удобрення.

Ефективність системи органічного удобрення доцільно оцінювати комплексно – за змінами показників родючості ґрунту, рівнем забур'яненості посівів, продуктивністю сівозмін та якістю отриманої продукції, а також економічною й енергетичною доцільністю застосування добрив [75; 109; 142]. Водночас більшість досліджень стосується окремих елементів удобрення, культур або показників ґрунтового стану [40; 75; 97; 122; 142]. Тому недостатньо з'ясованим залишається комплексний вплив побічної продукції, післяжнивного сидерату та біопрепарату на родючість чорнозему типового і продуктивність короткоротаційної сівозміни соя – пшениця яра – просо. Це зумовлює актуальність наукового обґрунтування таких систем для умов Лівобережного Лісостепу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертаційної роботи проводили у 2023–2025 рр. у відділі землеробства і меліорації на осушених землях Національного наукового центру «Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України» у межах Програми наукових досліджень НААН 2 «Системи землеробства за оптимізації землекористування в агроландшафтах» («Системи землеробства і землекористування») на 2021–2025 рр., підпрограми 4 «Системи землеробства для виробництва органічної сільськогосподарської продукції» за завданням 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 досліджень. *Мета досліджень* – встановити закономірності формування показників родючості чорнозему типового малогумусного та продуктивності агроценозів залежно від застосування різних видів органічних добрив та на їх основі розробити ефективну систему органічного удобрення культур короткоротаційної сівозміни в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України.

Для досягнення поставленої мети вирішували наступні *завдання*:

- визначити особливості формування запасів продуктивної вологи в посівах сої, пшениці ярої та проса залежно від системи органічного удобрення;
- дослідити зміни гумусного та поживного режимів ґрунту під культурами короткоротаційної сівозміни залежно від рівня застосування органічних добрив;
- встановити вплив органічного удобрення на вміст у ґрунті мікроелементів і важких металів;
- визначити вплив системи органічного удобрення на формування біометричних показників рослин сої, пшениці ярої та проса, а також на забур'яненість органічних агроценозів та рівень конкурентоздатності культур сівозміни до сегетальної рослинності;
- оцінити вплив системи органічного удобрення на врожайність і якість зерна та насіння досліджуваних культур та продуктивність сівозміни в цілому;
- провести економічну й енергетичну оцінку ефективності застосування різних систем органічного удобрення за вирощування сої, пшениці ярої та проса в короткоротаційній сівозміні.

Об'єкт досліджень – закономірності зміни водного, гумусного і поживного режимів чорнозему типового та формування продуктивності культур трипільної сівозміни за різних систем органічного удобрення.

Предмет досліджень – показники родючості чорнозему типового, побічна продукція попередника, сидерат, біопрепарат на основі гуматів і комплексу

корисної ґрунтової мікрофлори, культури короткоротаційної сівозміни: соя, пшениця яра, просо.

Методи дослідження. У процесі досліджень застосовували комплекс загальнонаукових і спеціальних методів: польовий – для встановлення впливу системи органічного удобрення на показники родючості чорнозему типового, забур'яненість посівів, ріст, розвиток і продуктивність культур короткоротаційної сівозміни; вимірювально-ваговий – для визначення біометричних показників рослин, структури врожаю, урожайності основної й побічної продукції та накопичення сухої біомаси; кількісний і кількісно-ваговий – для визначення чисельності, видового складу та сухої маси сегетальної рослинності в посівах досліджуваних культур; лабораторний – для визначення запасів продуктивної вологи, вмісту гумусу, лужногідролізного азоту, рухомих сполук фосфору й калію, кислотності ґрунту, вмісту мікроелементів і важких металів, а також показників якості зерна та насіння; аплікаційний – для оцінювання мікробіологічної та целюлозоруйнівної активності ґрунту за інтенсивністю розкладання лляного полотна; розрахунково-порівняльний – для визначення сумарного водоспоживання, коефіцієнта водоспоживання та порівняльного оцінювання продуктивності культур і сівозміни, визначення виробничих витрат, вартості валової продукції, умовно чистого прибутку, собівартості, рівня рентабельності та показників енергетичної ефективності; математико-статистичний – для проведення дисперсійного аналізу, оцінювання достовірності одержаних результатів і визначення найменшої істотної різниці на 5 % рівні значущості.

Наукова новизна одержаних результатів. Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, у якому на основі комплексного аналізу експериментальних даних обґрунтовано ефективність застосування різних видів органічних добрив під культури короткоротаційної сівозміни: *соя – пшениця яра – просо* в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України.

Вперше:

- для умов Лівобережного Лісостепу України розроблено шляхи підвищення продуктивності агроценозів сої, пшениці ярої та проса в короткоротаційній органічній сівозміні залежно від застосування побічної продукції попередника, поживного сидерату та біологічного препарату на основі гуматів і комплексу корисної ґрунтової мікрофлори;

- визначено вплив системи органічного удобрення на водний, гумусний та поживний режими чорнозему типового малогумусного за вирощування культур короткоротаційної сівозміни;

- встановлено вплив органічних систем удобрення на забур'яненість агрофітоценозів, конкурентну здатність культур, ріст і розвиток рослин, формування урожайності та якості рослинницької продукції;

- визначено економічну й енергетичну ефективність короткоротаційної органічної сівозміни та обґрунтовано доцільність комплексного застосування побічної продукції попередника, поживного сидерату й біопрепарату як найбільш результативної органічної системи удобрення.

Удосконалено:

- підходи щодо оцінювання ефективності органічних систем удобрення за комплексом фітосанітарних, продуктивних, економічних та енергетичних показників;

- комплексну систему удобрення культур короткоротаційної сівозміни за ведення органічного землеробства в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України.

Одержали подальший розвиток:

- наукові положення щодо оптимізації системи удобрення культур короткоротаційних сівозмін за органічного землеробства шляхом поєднання побічної продукції попередників, сидеральних культур і біопрепаратів;

- наукове обґрунтування ролі короткоротаційних сівозмін у збереженні та відтворенні родючості ґрунту, зниженні рівня забур'яненості агроценозів і стабілізації продуктивності органічного виробництва.

Практичне значення отриманих результатів полягає в обґрунтуванні ефективності комплексного застосування побічної продукції попередника, післяжнивного сидерату редьки олійної та дворазового позакореневого внесення біологічного препарату на основі гуматів і комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у дозі по 1,5 л/га у фазах повних сходів і цвітіння культур. Застосування розробленої системи в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу сприяло поліпшенню гумусного та поживного режимів ґрунту, зниженню забур'яненості посівів, підвищенню продуктивності культур і економічної ефективності сівозміни.

Розроблену систему комплексного органічного удобрення культур короткоротаційної сівозміни впроваджено у 2024–2025 рр. у ТОВ «Лист-Ручки» Полтавської області та ФГ «Русь» Київської області на загальній площі 90 га. У ТОВ «Лист-Ручки» урожайність сої, пшениці ярої та проса становила відповідно 2,65; 4,68 і 4,72 т/га, умовно чистий прибуток – 8,94; 12,39 і 12,62 тис. грн/га, а рівень рентабельності – 108 %, 190 і 185 %. У ФГ «Русь» комплексне удобрення забезпечило приріст урожайності цих культур порівняно до базової технології господарства відповідно на 0,5; 0,9 і 0,7 т/га, умовно чистого прибутку на 5,05; 7,00 і 5,45 тис. грн/га за рівня рентабельності 77; 170 і 70 % відповідно. Одержані результати підтвердили виробничу та економічну доцільність застосування розробленої системи органічного удобрення в короткоротаційній сівозміні.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційне дослідження є самостійною завершеною науковою працею. Основні ідеї, постановка проблеми, теоретичні й практичні положення розроблено сумісно з науковим керівником, самостійно одержано результати наукових досліджень, які викладено у дисертації, здійснено аналіз і узагальнення результатів із використанням сучасних методів та методик, сформульовано висновки, а також здійснено 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, здобувачу належить фактичний матеріал і

основний творчий доробок. У спільних публікаціях права співавторів не порушено.

Апробація результатів дисертації. Матеріали досліджень, викладені в дисертаційній роботі, доповідалися здобувачем особисто на засіданнях методичної комісії ННЦ «ІЗ НААН», представлено на 5 наукових конференціях, зокрема: Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених і спеціалістів *«Інноваційні напрями розвитку технологій управління землями сільськогосподарського призначення: теорія та практика»* (с-ще Чабани, 27 листопада 2023 р.); XVI Міжнародній науково-практичній конференції: *«Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції»* (м. Іллінці, 17 червня 2025 р.); Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених з нагоди Дня науки в Україні *«Інновації для сталого розвитку агросфери: наукові та технічні рішення»* (м. Одеса, 15 травня 2026 року); II Міжнародній науково-практичній конференції *«Ресурсозберігаючі технології вирощування культурних рослин»* (м. Біла-Церква, 04 червня 2026 року); Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції *«Інноваційний розвиток землеробства на засадах еколого-економічної збалансованості»* (м. Рівне, 11 червня 2026 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 11 наукових праць, із яких 4 – статті у наукових фахових виданнях України, 1 – науково-методичні рекомендації і 6 – матеріали наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота у вигляді рукопису викладена на 257 сторінках комп'ютерного набору, містить анотації, вступ, 6 розділів, висновки, рекомендації виробництву, список використаних джерел та додатки. Обсяг основного тексту дисертації складає 170 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 26 таблицями та 20 рисунками. Список використаних джерел містить 254 найменувань, з них 173 кирилицею та 81 латиницею.

РОЗДІЛ 1. РОЛЬ РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ У ФОРМУВАННІ ПОКАЗНИКІВ РОДІЮЧОСТІ ҐРУНТУ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ КУЛЬТУР СІВОЗМІНИ ЗА ОРГАНІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА (Огляд літератури)

Органічне удобрення в польових агроценозах доцільно розглядати як систему регулювання внутрішнього колообігу органічної речовини та елементів живлення, а не лише як заміну мінеральних добрив окремими видами органічних добрив. Її функціонування охоплює надходження рослинної біомаси, трансформацію органічної речовини за участю ґрунтових мікроорганізмів, вивільнення та повторне залучення елементів живлення, а також формування сприятливих умов для росту і розвитку культурних рослин. За такого підходу ефективність удобрення визначається науково обґрунтованим чергуванням культур у сівозміні, кількості та якості органічних компонентів удобрення, строків їх надходження до ґрунту й рівня його біологічної активності [8; 49; 109–110].

У короткочасних сівозмінах особливого значення набуває узгодження чергування культур із системою надходження органічної речовини до ґрунту. Обмежений набір культур і частіше їх повернення на попереднє місце зумовлює незбалансоване використання ресурсного потенціалу ґрунту, зменшення різноманіття рослинних решток і посилення залежності продуктивності сівозміни від науково обґрунтованого чергування культур. Тому сівозміна в органічному землеробстві виконує не допоміжну, а визначальну роль у функціонуванні агроєкосистеми, поєднуючи регулювання поживного режиму, використання вологи, надходження фітомаси та підтримання належного фітосанітарного стану агроценозів [11; 13; 70; 95].

Важливим є не лише загальний обсяг органічної речовини, що надходить у ґрунт, а й співвідношення її складових та швидкість трансформації. Побічна продукція культур забезпечує триваліше надходження органічного вуглецю до ґрунту, сидеральна біомаса поповнює ґрунт свіжою органічною речовиною і біогенними елементами, а біологічні препарати можуть впливати на

інтенсивність мікробіологічних процесів і доступність поживних сполук. Їх сумісне застосування створює передумови для реалізації комплементарної дії, однак її прояв залежить від хімічного складу рослинної маси, співвідношення вуглецю й азоту, строків заробки, гідротермічних умов і потреб наступної культури [4; 36; 122; 145].

Оцінювання систем органічного удобрення ґрунтується на встановленні причинно-наслідкових зв'язків між надходженням органічної фітомаси, змінами функціонального стану ґрунту та реакцією культур. Окремий показник родючості або рівень урожайності не дає вичерпної характеристики системи, оскільки її ефективність визначається сукупністю гумусних, поживних, водно-фізичних, фізико-хімічних і біологічних процесів, а також здатністю культур перетворювати доступні ресурси на господарсько цінну продукцію [81; 183; 235].

1.1 Наукові принципи органічного удобрення в короткоротаційних сівозмінах

Органічне удобрення є складовою системи управління родючістю ґрунту, у якій живлення культур забезпечується біологічним колообігом речовин, поверненням рослинної біомаси, мінералізацією та трансформацією органічної речовини. На відміну від безпосереднього внесення легкодоступних елементів живлення, органічна система передбачає накопичення їх запасів у ґрунті та відповідність строків та інтенсивності надходження поживних речовин потребам культур. Її ефективність залежить від науково обґрунтованого добору та чергування культур у сівозміні, надходження органічної речовини, біологічних особливостей культур і гідротермічних умов [8; 49; 109–110].

Науковою основою функціонування таких систем є забезпечення максимального повернення органічної речовини й елементів живлення у ґрунт, залученні різноманітних джерел органічного удобрення, біологічному відновленні винесених із урожаєм поживних речовин та збереженні родючості ґрунту. П. І. Бойко та Н. П. Коваленко обґрунтували, що екологічна

врівноваженість сівозміни залежить від співвідношення культур різних біологічних груп, їхнього впливу на ґрунтові процеси та можливості усунення негативних наслідків спеціалізації землеробства [12]. Численними дослідженнями доведено, що сівозміна є основним просторово-часовим механізмом узгодження систем удобрення, обробітку ґрунту та технологій вирощування культур [13; 147; 152].

У системі органічного землеробства сівозміна виконує значно ширше коло функцій, ніж просте чергування культур. Через зміну видів рослин, глибини проникнення кореневих систем, тривалості вегетації та хімічного складу рослинних решток вона регулює інтенсивність використання ґрунтових ресурсів і характер повернення органічної речовини. М. Новохацьким, В. Таргоней, О. Бондаренком та О. Мельник запропоновано розглядати біологізовану сівозміну як систему, що поряд із науково обґрунтованим чергуванням культур передбачає використання сидератів, нетоварної частини врожаю та мікробіологічних препаратів [112].

Досвід тривалого органічного землеробства на Полтавщині підтверджує, що стає функціонування агроценозів забезпечується поєднанням сівозміни, мінімальної обробітки ґрунту, органічного удобрення та систематичного вирощування сидератів. В. М. Писаренком, А. С. Антонцем, Г. В. Лук'яненком і П. В. Писаренком доведено, що відтворення родючості за обмеження хімізації потребує максимального залучення органічної маси та підтримання рослинного покриву [116]. За таких умов система удобрення формується в межах сівозміни, де кожна культура є споживачем ресурсів і джерелом органічних решток.

Особливого значення сівозмінний чинник набуває за короткої ротації. Такі сівозміни полегшують спеціалізацію господарств, зміну структури посівів і концентрацію ресурсів, однак підвищують ризик частого повернення споріднених культур, одноманітного використання елементів живлення та звуження різноманіття рослинних решток. Тому коротка ротація має передбачати добір культур, різних за типом кореневої системи, тривалістю вегетації,

потребою в поживних речовинах і складом післяжнивної органічної маси [95; 110; 152].

Біологічна та агроекологічна збалансованість сівозміни визначається передусім функціональною різноманітністю культур, а не кількістю полів. До короткої ротації доцільно включати зернобобові як джерело біологічного азоту, зернові як продуценти соломи та культури з різними строками сівби й збирання, що дає змогу вирощувати проміжні сидерати. Це частково компенсує обмежену тривалість ротації та забезпечує надходження різноякісної органічної речовини [12–13; 147].

Я. Г. Цицюра, М. М. Неїлик, І. М. Дідур і М. І. Поліщук визначають сидерацію як складову біологізації землеробства, ефективність якої залежить від виду культури, строку сівби, тривалості вегетації та способу використання біомаси [168]. У короткоротаційних сівозмінах сидерати мають заповнювати післязбиральні періоди без порушення технологічних строків, тому їх розміщення слід узгоджувати зі структурою всієї ротації сівозміни.

Дослідження О. І. Савчука зі співавторами, проведені у 2021–2023 рр. на осушуваному дерново-підзолистому ґрунті Полісся, підтвердили ефективність поєднання короткоротаційної сівозміни, побічної продукції, сидератів і біологічних препаратів. За насичення сівозміни однорічними бобовими основними джерелами органічної речовини й азоту були солома, кореневі рештки, сидеральна біомаса та азотфіксація [143].

Залежно від походження та складу залучених органічних компонентів системи органічного удобрення ґрунтуються на використанні традиційних органічних добрив, рослинних решток, сидератів, біологічно фіксованого азоту, компостів, мікробіологічних препаратів або їх поєднанні. У господарствах без тваринництва основою внутрішнього колообігу стає рослинна органічна речовина. Побічна продукція попередника є стабільним джерелом вуглецю, тоді як сидерати й біопрепарати доповнюють її дію компонентами з різною швидкістю трансформації [4; 36; 49].

В. Ф. Сайко одним із пріоритетних напрямів біологізації систем удобрення визначав використання нетоварної частини врожаю, що дає змогу повернути до ґрунту значну частину засвоєних культурними рослинами поживних елементів і скоротити втрати органічної речовини за межами агроценозу [144]. Подібні положення наведено у рекомендаціях щодо використання соломи, поживних решток і сидеральних культур, де наголошено на необхідності рівномірного розподілу рослинної маси, якісного подрібнення й своєчасного загортання [135].

Солома зернових культур має високий уміст вуглецю та широке співвідношення С, тому її розкладання може спричиняти тимчасову іммобілізацію доступного азоту. Ефективність її використання залежить від вологості ґрунту, ступеня подрібнення, глибини загортання та азотного забезпечення мікроорганізмів [18]. Тому соломі доцільно поєднувати з азотовмісною біомасою бобових, сидератами або засобами активізації біологічної трансформації [4; 122].

Сидеральна біомаса має вужче співвідношення С, містить більше легкорозчинних сполук, сприяє акумуляції залишкових елементів живлення, їх залученню з глибших шарів ґрунту та поверненню у верхні горизонти. Водночас сидерати, крім бобових, не збільшують загального запасу елементів живлення, а забезпечують їх перерозподіл у ґрунтовому профілі та повторне залучення до біологічного колообігу. Їх ефективність залежить від обсягу біомаси, строків припинення вегетації та відповідності темпів розкладання потребам наступної культури [145; 168].

О. І. Зінченко, О. С. Алексєєва та П. М. Приходько довели, що біологічне рослинництво ґрунтується на використанні біологічних властивостей культур, сівозмінного чинника й природних механізмів відновлення родючості ґрунту [9]. У короткоротаційних сівозмінах добір культур із різними кореневими системами та хімічним складом рослинних решток забезпечує надходження органічної речовини із неоднаковою швидкістю розкладання.

В. Ф. Камінський і В. Ф. Сайко пов'язували розвиток адаптивних систем землеробства з добором технологічних заходів відповідно до природного

потенціалу території та здатності агроценозів протистояти несприятливим чинникам [72]. У цьому аспекті система органічного удобрення не може бути однаковою для різних ґрунтово-кліматичних зон. Співвідношення побічної продукції, сидератів і біологічних препаратів має враховувати тривалість післяжнивного періоду, забезпеченість вологою, температурний режим, гранулометричний склад ґрунту та біологічні потреби культур.

Системний підхід представлено й у зарубіжних дослідженнях. С. А. Watson зі співавторами визначили сівозміну основним засобом управління родючістю в органічному землеробстві, оскільки вона поєднує надходження азоту, використання органічних добрив, обмеження втрат поживних речовин і добір культур із різними потребами [251]. Ключовим завданням є узгодження мінералізації органічних сполук із періодами максимального споживання елементів живлення: передчасне вивільнення посилює їх втрати, а запізніле – обмежує живлення рослин.

У 15-річному досліді з кукурудзяно-соевими агроценозами L. E. Drinkwater та ін. встановили, що системи, засновані на використанні бобових культур і органічних джерел живлення, відрізнялися меншими втратами вуглецю й азоту порівняно із системою, залежною від мінерального удобрення, а ефективність біологічних систем визначається не лише кількістю азоту, який надходить, а й формою його включення в органічний колообіг та хімічним складом рослинних решток [192].

У 21-річному стаціонарному досліді P. Mäder зі співавторами встановили, що органічні системи за нижчих витрат зовнішніх ресурсів підтримували вищу біологічну активність і різноманітність ґрунтової біоти, хоча поступалися інтенсивним технологіям за врожайністю [220]. Це обґрунтовує оцінювання їх ефективності не лише за продуктивністю, а й за здатністю забезпечувати тривале функціонування агроценозу [237].

Важливим принципом органічного удобрення є урізноманітнення рослинних джерел вуглецю. За результатами аналізу 122 досліджень M. D. McDaniel та ін. [226] встановили, що ускладнення сівозмін підвищує

мікробну біомасу та змінює вміст лабільних форм вуглецю й азоту. Ефективність цього підходу визначається не кількістю видів, а біологічними особливостями культур і біохімічним складом залишеної ними органічної речовини.

Дослідженнями L. K. Tiemann зі співавторами в агроценозі з поступовим збільшенням кількості культур від одного до п'яти видів встановлено, що урізноманітнення сівозміни змінює структуру мікробних угруповань і посилює взаємодію рослин із ґрунтовою біотою [248]. Подібну закономірність підтвердили дослідження Z. S. Venter зі співавторами [249] які відмічають, що чергування культур переважно збільшувало мікробне різноманіття, причому ефект був виразнішим у триваліших дослідках.

В органічному землеробстві диверсифікація сприяє скороченню розриву в продуктивності порівняно з інтенсивними системами. За даними L. C. Ponisio зі співавторами, сівозміни та сумісне вирощування культур зменшують відмінності між органічними й традиційними агроценозами [235]. G. Tamburini зі співавторами довели, що диверсифікація сівозмін сприяє збереженню продуктивності та посиленню їх екосистемних функцій [246].

Ефективність сидерального компонента удобрення залежить від обсягу біомаси та її хімічного складу. D. M. Finney та ін. [195] встановили, що сформована маса визначає ефективність реалізації екосистемних функцій покривних культур, а співвідношення C – доступність азоту для наступної культури.

M. Abdalla зі співавторами встановили, що покривні культури зменшують вимивання азоту та сприяють накопиченню органічного вуглецю, однак за неналежного добору строків припинення вегетації можуть знижувати продуктивність наступної культури [174].

За результатами глобального метааналізу 171 наукової праці L. Schütz зі співавторами встановлено, що біологічні препарати здатні підвищувати врожайність і ефективність використання азоту та фосфору, однак реакція залежить від клімату, типу культури, властивостей ґрунту й функціональної спрямованості мікроорганізмів [242].

R. Backer зі співавторами узагальнили механізми дії ризосферних бактерій, що стимулюють ріст рослин, і наголосили, що польова ефективність мікробних препаратів визначається здатністю внесених штамів колонізувати кореневу зону, взаємодіяти з аборигенною мікробіотою та зберігати активність за стресових умов [176]. Поряд із цим, біопрепарат не є самодостатнім джерелом живлення, а його ефективність залежить від наявності органічного субстрату, вологості та ґрунтових умов. Тому його доцільно застосовувати в поєднанні з рослинними рештками й сидеральною біомасою [36].

Таким чином, окремі складові органічного удобрення мають різні переваги й обмеження: побічна продукція забезпечує тривале надходження вуглецю, сидерати формують біомасу, здатну до швидкої мінералізації, а біопрепарати посилюють мікробіологічні процеси її розкладання та перетворення. Тому основою комплексної системи органічного удобрення є взаємодоповнюваність цих компонентів.

1.2 Вплив систем органічного удобрення на показники родючості чорнозему типового

Результативність органічного удобрення у формуванні родючості ґрунту визначається не лише кількістю внесеної біомаси, а й систематичністю її надходження до ґрунту, співвідношенням надземної та кореневої частин, хімічним складом, а також інтенсивністю процесів мінералізації й гуміфікації органічної речовини. Тому за однакової кількості рослинних решток зміни властивостей ґрунту можуть бути неоднаковими, оскільки накопичення органічного вуглецю залежить від перетворення біомаси мікроорганізмами та подальшого закріплення утворених сполук у ґрунтових агрегатах і на поверхні мінеральних частинок [183; 203; 213]. За даними багаторічних досліджень, систематичне повернення побічної продукції культур підтримує бездефіцитний баланс органічної речовини, проте найбільш виражений ефект формується за поєднання надземних решток із кореневою масою та проміжними посівами [122].

Кількісний внесок побічної продукції визначається врожайністю культур і співвідношенням основної та нетоварної частин урожаю. За заробляння 4–6 т/га соломи пшениці озимої до ґрунту повертається 18–27 кг/га азоту, 3,0–4,5 кг/га фосфору та 26–39 кг/га калію [68]. Водночас поживні речовини із соломи вивільняються поступово, а швидкість цього процесу залежить від забезпеченості ґрунту азотом і вологою. Т. Kätterer зі співавторами встановили, що кореневі рештки ефективніше, ніж надземна біомаса, залучаються до формування стійкої органічної речовини завдяки безпосередньому контакту з мінеральною частиною ґрунту та інтенсивним перетворенням у ризосфері [205].

На чорноземі типовому Правобережного Лісостепу А. Д. Балаєвим, Р. П. Богдановичем і В. С. Олійником встановлено, що внесення 1,2 т/га соломи, N_{12} , сидерату та $N_{78}P_{68}K_{68}$ посилювало сезонні коливання вмісту органічної речовини, гумусу й рухомих гумусових сполук. Водночас надходження свіжої біомаси сприяло відновленню цих показників наприкінці вегетації, що свідчить не про дегуміфікацію, а про активне залучення органічної речовини до процесів її трансформації у ґрунті [3]. О. В. Піковська та О. І. Вітвіцька також підтвердили, що систематичне використання соломи впливає не лише на загальний уміст гумусу, а й на його лабільну частину, чутливішу до агротехнічних заходів [117].

Тривалі стаціонарні дослідження засвідчують, що реакція гумусного стану залежить від співвідношення між надходженням вуглецю та інтенсивністю його мінералізації. У 45-річному досліді в центральній частині Лісостепу О. В. Демиденко встановив, що в 0–20 см шарі ґрунту вплив сівозмінного чинника забезпечував збільшення вмісту гумусу на 0,17 % без внесення добрив. За удобрення приріст на фоні оранки та безполицевого обробітку становив 0,14–0,15 %, а застосування низьковуглецевих ґрунтозахисних технологій підвищувало секвестраційну здатність чорнозему типового на 15–20 % порівняно з оранкою [41]. Дослідження групового і фракційного складу гумусу в різноротаційних сівозмінах підтвердили, що системи удобрення змінюють не

тільки його кількість, а й співвідношення гумінових і фульвокислот та частку кальцій-зв'язаних сполук [160].

Систематичне повернення рослинної біомаси до ґрунту не завжди забезпечує накопичення гумусу. У 26-річному досліді Є. В. Скрильник зі співавторами встановили зменшення його вмісту в орному шарі чорнозему типового на 0,05–0,62 % залежно від системи удобрення [148]. Отже, вирішальними є фактичний баланс органічної речовини, інтенсивність її мінералізації, а також хімічний склад і здатність рослинних решток до розкладання.

Подібні закономірності встановлено у тривалих зарубіжних дослідях. У середземноморському стаціонарному досліді М. Mazzoncini зі співавторами після завершення першої п'ятирічної ротації вміст органічного вуглецю за органічного землеробства становив 9,5 г/кг, тоді як за традиційного – 7,8 г/кг. Уміст потенційно мінералізованого вуглецю дорівнював відповідно 277 і 254 мг/кг [225]. За результатами досліджень Е. Е. Marriott і М. М. Wander органічні системи характеризувалися більшим умістом лабільних азотовмісних фракцій та органічної речовини, фізично захищеної всередині ґрунтових агрегатів [223].

У швейцарському ДОК-досліді після 21 року в системах із внесенням гною ВРХ втрати органічної речовини були меншими, ніж у варіантах без його застосування [196]. Подальше спостереження протягом 42 років показало, що збільшення вмісту органічного вуглецю відбулося за біодинамічної системи з навантаженням органічними добривами, еквівалентним 1,4 умовної голови худоби на гектар, а менш виражене зростання – за біоорганічної системи з такою самою інтенсивністю. За внесення гною на рівні 0,7 умовної голови на гектар, мінерального удобрення та без добрив запаси вуглецю зменшувалися. Відмінності між системами стали чітко виявлятися лише після двох десятиліть безперервного застосування [210]. Отже, короткострокові досліді можуть характеризувати напрям трансформації лабільних фракцій, але не завжди дають підстави для остаточної оцінки гумусонакопичення.

Поліпшення структурного стану за систематичного надходження органічної речовини пов'язане з утворенням корневих каналів, розвитком грибного міцелію та формуванням водостійких агрегатів [128; 169; 181]. Вираженість змін залежить від тривалості удобрення, гранулометричного складу ґрунту й способу заробляння решток. Узагальнення 89 польових дослідів показало, що покривні культури підвищували швидкість інфільтрації в середньому на 34,8 %, а багаторічні рослини – на 59,2 % [179]. Отже, поліпшення вологозабезпечення відбувається переважно через зміну порового простору й агрегатного складу ґрунту.

Поживний режим за використання рослинних решток визначається співвідношенням процесів мінералізації та мікробної іммобілізації елементів живлення. На чорноземі типовому слабосолонцюватому Я. П. Цвей зі співавторами встановили, що за внесення соломи з $N_{140}P_{120}K_{90}$ у фазі сходів буряків цукрових уміст мінерального азоту становив 18,3–20,8 мг/кг, рухомого фосфору – 43,0–50,7 та калію – 125–135 мг/кг, що відповідало рівню варіанта з 25 т/га гною та $N_{90}P_{120}K_{90}$ [162]. Отже, побічна продукція за компенсації азоту може частково замінювати традиційні органічні добрива, тоді як без неї розкладання рослинних решток тимчасово знижує доступність азотних сполук [165].

Рослинні рештки та інші органічні добрива неоднаково впливають на фосфорний і калійний режими ґрунту. Калій із рослинних решток вивільняється порівняно швидко, тоді як доступність фосфору більше залежить від мікробної активності, реакції середовища та його взаємодії з кальцієм, залізом і алюмінієм. За використання компостів і органічних систем удобрення поліпшення поживного режиму супроводжувалося зростанням умісту рухомої та водорозчинної органічної речовини [65]. Тривале внесення органічних добрив також змінювало запаси доступних мікроелементів і посилювало їх зв'язування гумусовими сполуками [214; 222].

Фізико-хімічний стан ґрунту залежить від складу органічної речовини. На сірому лісовому ґрунті використання соломи гороху в органічних системах

удобрення підвищувало $pH_{(KCl)}$ на 0,25–0,29 одиниці, а вміст обмінних кальцію і магнію – на 12–32 % порівняно з контролем [65]. У тривалому досліді на чорноземі опідзоленому коефіцієнт детермінації між умістом гумусу, кислотністю та сумою увібраних основ за органічної системи становив 56–72 %, а за інтенсивної – 48–55 %. Лінія закипання карбонатів розміщувалася відповідно на глибині 55–60 і 65–70 см, що пов'язано з посиленням процесів відновлення родючості ґрунту [42].

Систематичне використання рослинних решток потребує контролю кислотності, оскільки під час їх розкладання утворюються органічні кислоти, а нітрифікація азоту може посилювати підкислення. А. С. Заришняк зі співавторами встановили, що внесення 7,5 т/га дефекату на чорноземі типовому вилугуваному підвищувало pH сольової витяжки до 6,9, знижувало гідролітичну кислотність до 1,50 смоль/кг і збільшувало суму увібраних основ до 28,5 смоль/кг. Уміст рухомих сполук кальцію і магнію становив відповідно 175 і 24 смоль/кг [68]. Отже, на слабокислих чорноземах біологізацію удобрення слід поєднувати з контролем кислотно-основного стану та, за потреби, внесенням меліорантів.

Органічна речовина впливає на рухомість мікроелементів, утворюючи як розчинні комплекси, що полегшують їх надходження до коренів, так і стійкі органо-мінеральні сполуки, які знижують доступність. У п'ятирічному досліді С. Maqueda зі співавторами компостування рослинних решток підвищувало уміст доступних форм Fe, Cu, Mn і Zn порівняно з мінеральною системою [222]. Після 19 років удобрення найвищий уміст доступних форм мікроелементів також встановлено у варіантах з органічними добривами, хоча реакція окремих елементів відрізнялася через неоднакову здатність до комплексоутворення та сорбції [214].

Дія органічних добрив на рухомість важких металів має неоднозначний характер. Зростання вмісту гумусових речовин і підвищення pH зазвичай посилюють сорбцію металів та зменшують частку їх рухомих форм [78; 149], тоді як низькомолекулярні органічні сполуки можуть тимчасово підвищувати

мобільність окремих елементів. L. Wang зі співавторами встановили, що за середнього рівня забруднення кадмієм органічні добрива знижували його доступний уміст на 10,86–27,15 %, а за внесення одного з матеріалів у нормі 8 г/кг – на 47,27 %. За низького рівня забруднення рухомість кадмію, навпаки, зростала на 1,79–21,38 %, а стабілізація показників відбувалася приблизно через 60 діб [250].

Біологічні показники швидше реагують на системи удобрення, ніж загальний уміст гумусу. У чорноземі типовому способи повернення органічної речовини змінювали чисельність еколого-трофічних груп мікроорганізмів та інтенсивність мінералізаційних процесів [40; 108; 125]. На сірому лісовому ґрунті системи на основі соломи, гумусного добрива й біостимулятора підвищували інтенсивність розкладання лляної тканини на 37–49 % порівняно з контролем [65]. Це свідчить про активізацію целюлозоруйнівної мікробіоти, однак за недостатнього надходження свіжої біомаси може посилюватися мінералізація раніше накопиченої органічної речовини.

У 21-річному ДОК-досліді мікробна біомаса за традиційної системи з гноєм була на 25 % меншою, ніж за біодинамічної, а без гною – на 34 %. Активність дегідрогенази знижувалася відповідно на 39–42 і 62 %, тоді як питомі витрати вуглецю на підтримання мікробної біомаси зростали, що свідчило про нижчу ефективність мікробного угруповання [196]. Метааналіз також підтвердив підвищення чисельності й активності мікроорганізмів в органічних системах, хоча величина ефекту залежала від клімату, властивостей ґрунту та тривалості дослідів [216].

У десятирічному досліді L. B. Martínez-García зі співавторами органічна система підвищувала мікробну біомасу, чисельність бактерій, сапротрофних і арбускулярно-мікоризних грибів та інтенсивність розкладання органічних рештків мікроорганізмами. Загальний уміст органічної речовини істотно не змінювався, проте концентрація розчинного органічного вуглецю була вищою, а його ароматичність – нижчою [224]. У 42-річному ДОК-досліді поліпшення біологічних показників поєднувалося зі стабілізацією або накопиченням

органічного вуглецю лише за достатнього надходження органічної речовини [210].

Надходження органічної речовини до ґрунту впливає на мікробіологічні процеси азотного циклу. А. Bhowmik зі співавторами встановили, що тривале застосування змішаного компосту сприяло накопиченню вуглецю та іммобілізації надлишкових нітратів. У модельних ґрунтових системах за умов перезволоження за внесення рослинних решток емісія N_2O внаслідок денітрифікації становила 4287–6138 мг/кг ґрунту [180]. Отже, за несприятливого повітряного режиму активізація мікроорганізмів може посилювати газоподібні втрати азоту.

Отже, зміни родючості за органічного удобрення відбуваються послідовно. Спочатку реагують рухомі органічні сполуки, мікробна біомаса та ферментативна активність, згодом – поживний режим, структура й фізико-хімічні властивості ґрунту. Збільшення вмісту гумусу потребує тривалого надходження збалансованої органічної речовини. Найстійкіший ефект забезпечує поєднання побічної продукції, корневих решток і сидератів, а його вираженість залежить від стану ґрунту, властивостей субстрату та тривалості застосування системи органічного удобрення.

1.3 Формування продуктивності культур і короткоротаційної сівозміни за органічного удобрення

Ефективність органічного удобрення у формуванні врожайності культур залежить від відповідності темпів вивільнення поживних речовин потребам рослин упродовж вегетації. Мікробіологічні препарати можуть посилювати засвоєння азоту й фосфору, розвиток кореневої системи та стійкість до стресів, однак їх ефективність визначається культурою, властивостями ґрунту й гідротермічними умовами. За результатами системного аналізу 171 польового дослідження приріст урожайності становив у посушливому кліматі 20,0 %, тропічному – 14,9, океанічному – 10,0, континентальному – 8,5 % [17; 242]. В

Україні передпосівна бактеризація підвищувала врожайність пшениці ярої на 3,3–12,4 %, ячменю ярого – на 2,8–13,1 %, але ефект зменшувався за високих фонів удобрення [22; 27].

Світові дослідження свідчать, що розрив у продуктивності між органічними та інтенсивними системами залежить від культур, ґрунтових умов і технологічних рішень. За даними V. Seufert зі співавторами, урожайність культур за органічної системи була в середньому на 25 % нижчою, проте за вдосконалених практик різниця скорочувалася до 13 %, а для окремих культур – до 5 % [243]. Інші дослідження засвідчили середній розрив на рівні 19,2 %, тоді як змішані посіви й сівозміни зменшували його до 9 і 8 % відповідно [235]. Таким чином, продуктивність органічних систем значною мірою залежить від узгодження удобрення з чергуванням і функціональним урізноманітненням культур [190]. Водночас у 20 тривалих європейських дослідках за достатнього забезпечення макроелементами додатковий приріст урожаю від органічних добрив становив лише 1,4 % [200].

Розбіжності між результатами дрібноділянкових і виробничих дослідів зумовлені різними можливостями своєчасного виконання технологічних операцій і контролювання забур'яненості. А. N. Kravchenko зі співавторами встановили, що на дослідних ділянках урожайність за зниженого ресурсного забезпечення часто наближалася до традиційної системи, тоді як у виробничих умовах розрив зберігався через складність узгодження операцій у просторі й часі [211]. У тривалих дослідках із кукурудзою та соєю органічні системи формували близькі до традиційних урожаї, а в посушливі роки інколи перевищували їх завдяки кращому збереженню ґрунтової вологи [217; 231]. Дослідженнями не встановлено істотних відмінностей за абсолютною величиною коливань урожайності за роками, однак їх відносна стабільність в органічних системах була нижчою через меншу середню врожайність [184; 209; 246; 253].

Використання проміжних і сидеральних культур не завжди забезпечували однаковий приріст урожайності. За результатами узагальнення літературних джерел, що охоплювало 1027 порівнянь, Yu Peng зі співавторами встановили, що

покровні культури підвищували врожайність наступних культур у середньому на 2,6 %, а бобові види – на 9,8 % [230]. Найбільшу ефективність бобових покривних культур встановлено за відсутності мінерального азотного удобрення, а також на легких ґрунтах і в посушливих регіонах. За результатами досліджень, проведених у Північному Китаї з'ясовано, що сидерація збільшувала врожайність кукурудзи в середньому на 11 %, тоді як реакція пшениці й картоплі була нестійкою. Одночасно щільність ґрунту знижувалася на 5,6%, мікробна біомаса зростала на 28 %, а активність ґрунтових ферментів – на 14–39 % [218]. Таким чином, вплив сидерації на врожайність залежить не лише від кількості біомаси, що надходить до ґрунту, а й від виду сидеральної культури, забезпеченості азотом і вологою та тривалості періоду між зароблянням сидерату і сівбою наступної культури.

Вплив органічного удобрення на складові структури врожаю проявляється переважно через збереження рослин, активніше формування генеративних органів і збільшення маси продуктивної частини. У дослідях Р. А. Гутянського встановлено, що використання комплексу препаратів збільшувало кількість азотофіксувальних бульбочок сої до 97,9 шт. на рослину, їхню масу до 1,18 г, а найбільший приріст урожайності становив 0,28 т/га, або 20,7 % [33]. За застосування ендofітно-ризобіального комплексу врожайність сортів сої Діона й Аратта підвищувалася відповідно на 0,61 та 0,80 т/га, або на 29,8 і 38,1 % [69]. За результатами досліджень сумісного застосування мікробних інокулянтів у посівах сої встановлено збільшення маси коренів на 11,0 %, кількості бульбочок на 5,4, їхньої маси на 10,6 та врожайності на 3,2 % [178]. В умовах Правобережного Лісостепу поєднання інокуляції та позакореневого підживлення забезпечувало збереження 93,2 % рослин сої за врожайності насіння 3,31 т/га проти 2,47 т/га на контролі [48].

Ефективність біологізованого живлення зернових культур підтверджена дослідженнями в різних ґрунтово-кліматичних зонах України. У західній частині Лісостепу обробка насіння пшениці ярої Поліміксобактерином із наступним застосуванням Біокомплексу-БТУ забезпечувала приріст 0,42–0,64 т/га, а

аналогічне використання Біокомплексу-БТУ на ячмені ярого – 0,25–0,51 т/га [22]. У Північному Степу поєднання біогумусу з біопрепаратом Айдар підвищувало врожайність ячменю ярого з 3,21 до 3,80 т/га, а пшениці ярої – з 2,16 до 2,48 т/га; відносний приріст становив відповідно 18,4 і 14,8 % [21]. За використання соломи гороху в органічних системах удобрення врожайність пшениці озимої становила 4,18–4,41 т/га проти 2,69 т/га без добрив. Поєднання гумусного або мікробного добрива з біостимулятором забезпечувало також збільшення білковості й поліпшення технологічних властивостей зерна [64].

Ефект бобового компонента може проявлятися не тільки в урожайності самої культури, а й у продуктивності наступної ланки сівозміни. У трирічному досліді органічних змішаних посівів пшениці з бобовими врожай зерна пшениці істотно не зменшувався, тоді як уміст білка підвищувався на 4 %, а найвищі показники якості сформувалися у варіантах із горохом [201]. У тривалому досліді без застосування добрив розміщення пшениці після сої збільшувало її врожайність у різні роки на 43–301 %, що супроводжувалося майже триразовим підвищенням умісту мінерального азоту в ґрунті та зростанням концентрації білка, цинку й міді в зерні [241]. Водночас за посушливих умов ефект бобового попередника може обмежуватися використанням ним запасів ґрунтової вологи. У тривалому дослідженні сівозміни з чергуванням сої та пшениці встановлено, що стійке підвищення продуктивності формувалося передусім за поєднання органічних добрив із збалансованим забезпеченням елементами живлення [186].

Серед зернобобових культур соя характеризується найбільш вираженою реакцією на біологізацію живлення, але величина приросту врожайності залежить від сорту й погодних умов. Зокрема, за інокуляції насіння Біокомплексом-БТУ врожайність насіння сої у середньому за три роки підвищувалася з 1,35 до 1,45 т/га, а в окремих комплексних варіантах досягала 1,63 т/га [33]. У зрошуваних умовах Південного Степу використання ефективних симбіотичних комплексів забезпечувало формування 2,66–2,90 т/га врожаю насіння та приріст в межах 29,8–38,1 % залежно від сорту [69]. В умовах Правобережного Лісостепу найрезультативніше виявилось поєднання

біоінокулянту й органо-мінерального позакореневого підживлення, що забезпечило підвищення врожайності на 0,84 т/га або 34,0 % [48]. За даними L. Schütz та співавторів, порівняно невисокий середній ефект поєднаного застосування кількох мікробних штамів свідчить, що його переваги реалізуються лише за сумісності штамів із сортом та їх відповідності ґрунтовим умовам і рівню вологозабезпечення [242].

Ефективність біопрепаратів у формуванні врожайності проса значною мірою залежить від умов росту й розвитку рослин. О. В. Квашуком і О. Д. Пастухом встановлено, що застосування препарату Агат-25К у сумісних посівах проса з гречкою забезпечувало одержання 3,29–3,69 т/га зерна, перевищуючи необроблений варіант на 0,33–0,50 т/га. За результатами дисперсійного аналізу частка погодних умов у мінливості рівня продуктивності становила 52 %, дія біопрепаратів – 34 та сортових особливостей на рівні 14 % [74]. В умовах короткоротаційних органічних сівозмін Лівобережного Лісостепу круп'яні культури неоднаково реагували на попередники та систему удобрення. Це підтверджує необхідність оцінювати їхню продуктивність з урахуванням гідротермічних умов, забезпеченості рослин поживними речовинами та місця культури в сівозміні. [97].

Підвищення врожайності за біологізації удобрення не завжди супроводжується пропорційним поліпшенням якості продукції. У зернових культур інтенсивніше накопичення вуглеводів може спричиняти зменшення вмісту білка, якщо надходження азоту не узгоджується з потребами рослин у період формування зерна. За екологізованих систем удобрення пшениці озимої вміст білка становив 12,4–13,0 %, сирогої клейковини – 27,2–29,3 %, тоді як у варіантах із соломою гороху вміст азоту в зерні перебував у межах 1,83–1,92 % [64]. У змішаних органічних посівах із бобовими поліпшення білковості відбувалося без істотного зниження врожайності пшениці [201]. Сумісна інокуляція насіння сої кількома мікробними штамми поряд із збільшенням урожайності на 3,2 % підвищувала концентрацію азоту в насінні на 3,6 % [178]. За результатами досліджень М. Barański та співавторів в органічній продукції

встановлено вищий уміст біологічно активних речовин з антиоксидантними властивостями та приблизно на 48 % нижчу концентрацію кадмію [177].

Варіювання продуктивності залежно від умов року часто є більшим, ніж вплив окремого компонента системи удобрення. У дослідженнях сої середня врожайність за сприятливих умов зволоження становила 2,45 т/га, а в посушливі роки знижувалася до 0,82–1,34 т/га, тоді як різниця між препаратами була значно меншою [33]. У дослідах із сумісними посівами проса й гречки погодний чинник визначав понад половину варіабельності врожайності культур [74]. У тривалому досліді органічні системи в роки середнього зволоження забезпечували врожаї кукурудзи й сої, близькі до традиційної системи, а в окремі посушливі роки мали перевагу завдяки підвищенню водоутримуючої здатності ґрунту [217; 231]. Проте ці результати не дають підстав вважати органічні системи стійкішими, оскільки згідно аналізу 193 досліджень, проведеного S.Knapp та ін. [209], встановлено однакову абсолютну мінливість рівня врожайності культур, але нижчу її стабільність у розрахунку на одиницю одержаної продукції.

У тривалому досліді на чорноземі типовому встановлено, що система удобрення визначала не лише врожайність окремої культури, а й загальну продуктивність сівозміни. Урожайність ячменю ярого становила 4,18–5,54 т/га, тоді як у чотиріпільній сівозміні вихід зерна змінювався від 5,50 до 7,69 т/га сівозмінної площі, кормових одиниць – від 7,48 до 10,47, перетравного протеїну – від 0,60 до 0,84 т/га [90]. Таким чином, ефективність системи удобрення доцільно оцінювати за сукупним виходом зернової та кормової продукції з одиниці сівозмінної площі. Дослідження короткоротаційних сівозмін насичених бобовими культурами підтвердили, що найбільша врожайність окремої ланки не завжди забезпечує найвищий вихід перетравного протеїну або кормових одиниць [84]. Тому порівняльне оцінювання сівозмін доцільно здійснювати за кількома уніфікованими показниками продуктивності [166].

На дерново-підзолистих ґрунтах Полісся поєднання побічної продукції, сидерату, помірного мінерального фону й позакореневого живлення забезпечувало одержання 6,01–6,11 т/га зернових одиниць, 10,18–10,33 т/га

кормових одиниць і 0,76 т/га перетравного протеїну [103]. В іншому досліді врожайність зерна кукурудзи в короткоротаційних сівозмінах становила 6,04–7,67 т/га, а в трипільній сівозміні соя – кукурудза – кукурудза вихід зернових одиниць збільшувався з 3,14 до 6,05 т/га, кормових від 3,41 до 6,59 т/га [137]. Заміна гною ВРХ побічною продукцією культур за одночасного застосування рекомендованих норм елементів живлення знижувала загальну продуктивність лише на 2,0–9,2 %.

Загальна продуктивність сівозмінної площі істотно залежить від співвідношення зернових, бобових, технічних і кормових культур. У п'ятипільних сівозмінах Правобережного Лісостепу вихід зернових одиниць змінювався від 5,89 до 9,10 т/га залежно від структури сівозміни та удобрення з найвищими значеннями в плодозмінній сівозміні з 20 % багаторічних бобових трав, 60 % зернових і 20 % буряків цукрових за органо-мінерального удобрення [73]. За оптимізації водного режиму та живлення продуктивність осушуваних агроценозів зростає від 4,0 до 11,0 т кормових одиниць з 1 га сівозмінної площі [136]. Аналогічно Л. В. Центилю встановлено, що продуктивність сівозміни формується взаємодією її структури, удобрення й обробітку ґрунту, тому загальна продуктивність сівозміни може відрізнятися від результатів найбільш урожайної культури [164].

Урізноманітнення агроценозів може підвищувати ефективність використання світла, вологи та елементів живлення, однак приріст урожайності залежить від взаємодії та сумісності застосованих компонентів. У дослідженнях, проведених в органічних агроценозах, одновидові та сумісні посіви істотно різнилися за накопиченням біомаси й урожайністю внаслідок різного співвідношення між взаємодоповненням культур і міжвидовою конкуренцією [133]. Узагальнення наукової літератури свідчить, що диверсифіковані системи здатні підтримувати врожайність одночасно з поліпшенням інших функцій агроєкосистеми, проте позитивний результат визначається не кількістю культур як такою, а їх функціональною відмінністю та науково обґрунтованим розміщенням у часі й просторі [246; 253].

Таким чином, продуктивність культур за органічного удобрення формується внаслідок взаємодії кількості й хімічного складу рослинної біомаси, швидкості її трансформації, ефективності мікробних препаратів, біологічних властивостей культури та умов зволоження. Побічна продукція підтримує триваліше надходження поживних речовин, сидерати здатні посилювати живлення наступних культур, а інокулянти й поліфункціональні біопрепарати підвищують реалізацію продуктивного потенціалу культур.

Висновки до розділу 1

1. Аналіз наукових праць засвідчив, що органічне удобрення в короткоротаційній сівозміні є цілісною системою керування колообігом органічної речовини та елементів живлення, ефективність якої визначається не окремим компонентом, а узгодженим поєднанням сівозміни, побічної продукції культур, сидератів і біопрепаратів;

2. Побічна продукція, сидеральна біомаса й біопрепарати мають різний характер дії. Післяжнивні рештки забезпечують основне надходження вуглецю, але через повільне розкладання можуть тимчасово знижувати доступність азоту; сидерати швидше залучаються до біологічного колообігу та сприяють перерозподілу елементів живлення, тоді як біопрепарати активізують трансформацію органічних сполук, азотфіксацію і мобілізацію малодоступних елементів. Найстійкіший ефект формується за їх сумісного застосування з урахуванням властивостей ґрунту, вологозабезпечення та біологічних потреб наступної культури;

3. За органічного удобрення першими реагують лабільні фракції органічної речовини, мікробна біомаса, ферментативна та целюлозоруйнівна активність, тоді як зміни загального вмісту гумусу й запасів органічного вуглецю виявляються лише за тривалого систематичного надходження біомаси. Поліпшення агрегатного стану, водопроникності, поживного та кислотно-основного режимів визначається балансом між надходженням органічної речовини та інтенсивністю її мінералізації. Тому короткочасне посилення

біологічної активності не завжди супроводжується накопиченням гумусу, а за недостатнього надходження свіжої органічної речовини може посилювати мінералізацію раніше сформованих органічних сполук у ґрунті;

4. Продуктивність культур за органічного удобрення визначається узгодженістю вивільнення елементів живлення з потребами рослин, активністю кореневої системи, симбіотичною азотфіксацією та гідротермічними умовами. Позитивна дія сидератів і біопрепаратів істотно змінюється залежно від культури й року досліджень, тому оцінювання системи лише за врожайністю однієї культури є недостатнім. Необхідно враховувати стабільність урожайності, якість продукції, післядію попередника та вихід зернових, кормових одиниць і перетравного протеїну з одиниці сівозмінної площі;

5. У науковій літературі переважно висвітлено дію окремих органічних компонентів органічного удобрення, сидератів або мікробних препаратів, тоді як їх комплексний вплив у межах однієї короткоротаційної сівозміни досліджено недостатньо. Потребують уточнення закономірності одночасного формування гумусного, водного й поживного режимів, біологічної активності ґрунту, забур'яненості, конкурентної здатності та продуктивності культур. Це обумовило необхідність оцінювання ефективності повернення до ґрунту побічної продукції попередньої культури, її поєднання із післяжнивним сидератом редьки олійної, біопрепаратом і комплексним застосуванням цих складових у короткоротаційній сівозміні соя – пшениця яра – просо на чорноземі типовому в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу.

Основні результати досліджень за даним розділом опубліковано в наукових працях [97–98].

РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика ґрунтово-кліматичних умов зони проведення досліджень

Полеві дослідження проводили на Панфільській дослідній станції ННЦ «Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України», розташованій у зоні нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України. Природні умови території характеризуються поєднанням високої потенційної родючості чорноземних ґрунтів із нерівномірним надходженням атмосферних опадів, значним варіюванням температурного режиму та періодичним виникненням посух.

У фізико-географічному відношенні район досліджень належить до Лівобережно-Дніпровського лісостепоного краю, більша частина якого приурочена до Придніпровської низовини та Полтавської рівнини. У східному напрямі поверхня поступово підвищується до західних відрогів Середньоруської височини. Територія має переважно рівнинний або слабохвилястий рельєф, у межах якого вододільні території чергуються з річковими долинами, балками, улоговинами та надзаплавними терасами [89; 111].

Незначна розчленованість поверхні сприяє сільськогосподарському освоєнню земель, однак на схилах і ділянках із недостатнім рослинним покривом створюються передумови для поверхневого стоку та водної ерозії. У зниженнях рельєфу формуються умови періодичного перезволоження, тоді як підвищені вододільні ділянки характеризуються автоморфним режимом ґрунтоутворення. Рельєф безпосередньо впливає на перерозподіл атмосферних опадів, глибину залягання ґрунтових вод і структуру ґрунтового покриву [89; 111].

Основними ґрунтоутворюючими породами є леси та лесоподібні суглинки. Вони відзначаються значною пористістю, карбонатністю, переважно пилювато-суглинковим гранулометричним складом і сприятливими умовами для розвитку

гумусово-акумулятивного процесу. У межах давніх річкових терас лесоподібні породи поєднуються з алювіальними, водно-льодовиковими та піщаними відкладами, що зумовлює просторову неоднорідність ґрунтів і їхніх водно-фізичних властивостей [89; 111; 118].

Клімат Лівобережного Лісостепу помірно континентальний, із теплим, а в окремі роки спекотним літом і помірно холодною зимою. Його континентальність посилюється в напрямі із заходу на схід, що проявляється у збільшенні річної амплітуди температур, зростанні повторюваності високих літніх температур і поступовому зменшенні кількості атмосферних опадів. Погодні умови формуються під впливом атлантичних, арктичних і континентальних повітряних мас, зміна яких спричиняє значну мінливість температури, вологості повітря та опадів упродовж року. Зокрема, характеризується помірно холодною зимою з нестійким сніговим покривом і відлигами, короткою весною з швидким підсиханням верхнього шару ґрунту, теплим, періодично спекотним і посушливим літом та тривалою теплою осінню. Нерівномірність опадів і високі літні температури зумовлюють дефіцит продуктивної вологи, тоді як умови осіннього періоду загалом сприяють досягненню пізніх культур і вирощуванню післяжнивних сидератів [1–2; 76].

Тривалість вегетаційного періоду в Лівобережному Лісостепу становить близько 200–210 діб, а періоду вегетації із середньодобовою температурою понад 10 °C – 155–175 діб. Сума активних температур вище 10 °C становить 2500–2900 °C і збільшується у південному та східному напрямках [1–2; 76].

Характерною особливістю Лівобережного Лісостепу є нестійке зволоження. Середня багаторічна кількість опадів становить 480–500 мм, проте їх розподіл за роками й упродовж вегетації нерівномірний. Тривалі бездощові періоди часто змінюються зливами, частина води яких втрачається з поверхневим стоком і випаровуванням. Тому забезпеченість культур вологою визначається не стільки річною сумою опадів, скільки строками їх випадання відносно критичних фаз розвитку. У вологі роки водний режим чорноземів наближається до періодично промивного, а в посушливі – до непромивного; основне

поповнення запасів продуктивної вологи відбувається в осінньо-зимовий і ранньовесняний періоди [1–2].

Сучасні кліматичні зміни проявляються у підвищенні температури повітря, подовженні періоду активної вегетації та зміщенні його початку на більш ранні, а завершення – на пізніші строки [20; 82–83]. Збільшення суми активних температур розширює можливості вирощування теплолюбних і післяжнивних культур, однак водночас посилює випаровуваність і ризик дефіциту вологи. Тому оцінювання умов вирощування сільськогосподарських культур має враховувати не лише середні багаторічні показники, а й мінливість погодних умов за роками та частоту виникнення екстремальних явищ [20; 43; 114].

Ґрунтовий покрив Лівобережного Лісостепу представлений чорноземами типовими, опідзоленими й вилугуваними, темно-сірими та сірими лісовими ґрунтами. У центральній частині Лівобережно-Дніпровського краю переважають чорноземи типові, сформовані на лесах і лесоподібних суглинках під лучно-степовою рослинністю, тоді як на північних і підвищених ділянках поширені сірі лісові та опідзолені ґрунти [111; 115; 118–120].

У зниженнях рельєфу та нижніх частинах схилів трапляються лучно-чорноземні й чорноземно-лучні ґрунти, у заплавах – лучні, алювіальні та болотні, а на піщаних і супіщаних терасах – дернові та дерново-підзолисті. Їх просторове поширення визначається ґрунотвірними породами, рельєфом, рівнем ґрунтових вод і характером рослинності [89; 111; 115].

Чорноземи типові мають потужний гумусово-аккумулятивний профіль, високе насичення основами та сприятливі водно-фізичні властивості. Потужність гумусованого профілю становить переважно 120–150 см, уміст гумусу в орному шарі – від 2,5–3,5 % у легкосуглинкових до 5,9–6,0 % у важкосуглинкових і глинистих відмінах. Реакція ґрунтового розчину переважно нейтральна або близька до нейтральної [115; 118–120].

Зерниста структура забезпечує водопроникність і накопичення продуктивної вологи, однак стан орного шару залежить від систем удобрення, обробітку та повернення органічної речовини. Інтенсивне використання без

достатнього надходження рослинної фітомаси спричиняє дегуміфікацію, ущільнення, руйнування структури й погіршення водопроникності. Винос і вимивання кальцію та магнію посилюють підкислення, а на схилах ці процеси супроводжуються ерозійними втратами гумусу й елементів живлення [15].

Таким чином, за нестійкого зволоження особливого значення набувають заходи, спрямовані на підтримання вмісту органічної речовини та структурного стану ґрунту. Залишення побічної продукції, вирощування сидератів і застосування біопрепаратів сприяють збільшенню надходження органічного субстрату, активізації мікробіологічних процесів і поліпшенню умов накопичення й використання продуктивної вологи. Їх ефективність визначається як властивостями чорнозему типового, так і гідротермічними умовами відповідного року.

Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений чорноземом типовим малогумусним. Його вихідний агрохімічний стан характеризувався закономірною диференціацією основних показників за глибиною ґрунтового профілю (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Вихідні агрохімічні показники чорнозему типового малогумусного дослідної ділянки на час закладання дослідів

Шар ґрунту, см	Уміст гумусу, %	Уміст лужногідролізного азоту (за Корнфілдом), мг/кг ґрунту	Уміст рухомих сполук фосфору, (P ₂ O ₅ , за Чириковим), мг/кг ґрунту	Уміст рухомих сполук калію, (K ₂ O, за Чириковим), мг/кг ґрунту	рН сольовий
0–20	3,08–3,15	121–134	241–282	215–230	6,0
20–40	2,72–2,90	91–111	201–235	155–182	5,6

Уміст гумусу в 0–20 см шарі становив 3,08–3,15 %, тоді як у 20–40 см шарі зменшувався до 2,72–2,90 %. Таке співвідношення свідчить про переважне накопичення органічної речовини у верхній частині ґрунтового профілю, що пов'язано з надходженням рослинних решток, розвитком кореневих систем і більшою інтенсивністю процесів гумусоутворення в орному шарі.

Уміст лужногідролізного азоту у верхньому 0–20 см шарі становив 121–134 мг/кг ґрунту та 91–111 мг/кг в 20–40 см шарі ґрунту. Зменшення цього показника з глибиною зумовлене нижчим умістом органічної речовини та меншою інтенсивністю її мінералізації.

Ґрунт характеризувався високою забезпеченістю рухомими сполуками фосфору, уміст яких становив 241–282 мг/кг у шарі 0–20 см та 201–235 мг/кг у шарі 20–40 см. Уміст рухомих сполук калію також був високим і становив відповідно 215–230 та 155–182 мг/кг ґрунту. Наведені показники свідчать про достатню забезпеченість дослідної ділянки доступними для рослин формами фосфору і калію на час закладання дослідів.

Реакція ґрунтового розчину була слабокислою та близькою до нейтральної. Значення рН сольової витяжки становило 6,0 у шарі 0–20 см і 5,6 у шарі 20–40 см. Така реакція є загалом сприятливою для росту більшості польових культур, активності ґрунтової мікробіоти та доступності основних елементів живлення. Зниження рН у нижньому шарі вказує на певне посилення кислотності з глибиною.

Отже, на час закладання дослідів чорнозем типовий малогумусний характеризувався середнім умістом гумусу, високою забезпеченістю рухомими сполуками фосфору й калію та невисоким умістом лужногідролізного азоту.

2.2. Метеорологічні умови в роки проведення досліджень

Метеорологічні умови є одним із визначальних чинників формування продуктивності польових культур, оскільки впливають на польову схожість насіння, інтенсивність ростових процесів, тривалість міжфазних періодів,

водний режим ґрунту та реалізацію конкурентної здатності рослин щодо сегетальної рослинності в агроценозах. Для культур короткоротаційної сівозміни соя – пшениця яра – просо особливе значення має не лише загальна кількість опадів, а й їх розподіл упродовж вегетації та поєднання із температурним режимом.

Погодні умови 2023 р. характеризувалися підвищеним температурним фоном, надмірним річним зволоженням і нерівномірним розподілом атмосферних опадів упродовж вегетаційного періоду. За рік випало 714 мм опадів, що на 272 мм, або на 61,5 %, перевищувало середньобогаторічну норму. Середньорічна температура повітря становила 10,1 °С і була на 2,8 °С вищою за нормативний показник (додаток А.1; рис. 2.1).

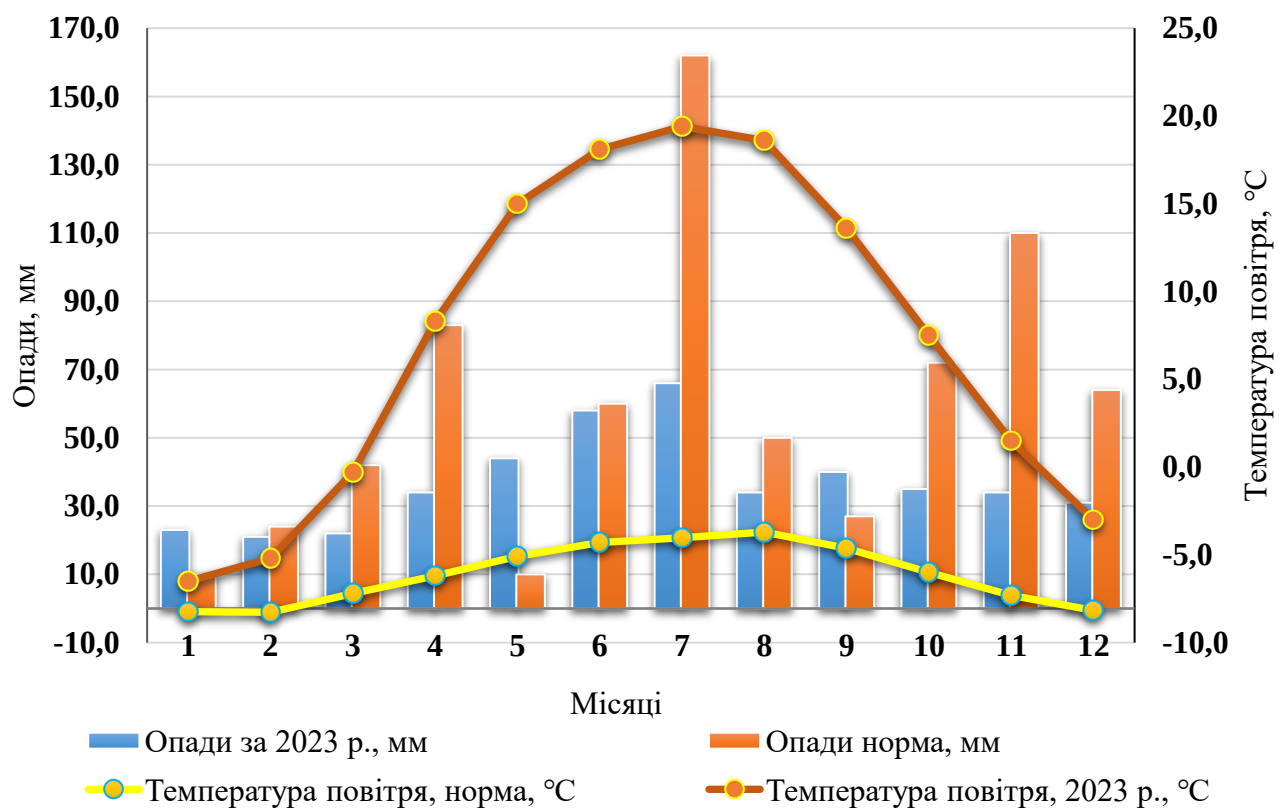


Рис. 2.1 Характеристика агрокліматичних умов за 2023 р. (за даними метеорологічної станції Яготин, м. Яготин, Бориспільський р-н Київської області)

У березні середня температура повітря досягала 4,4 °С, перевищуючи норму на 4,7 °С, що сприяло ранньому прогріванню ґрунту та активізації

весняних біологічних процесів. Водночас за місяць випало 42 мм опадів, або 190,9 % норми, унаслідок чого запаси вологи у верхньому 0–20 см шарі ґрунту суттєво поповнилися.

У квітні гідротермічні умови формувалися за поєднання підвищеної температури повітря та надмірного зволоження. Середньомісячна температура становила 9,6 °С, що на 1,3 °С перевищувало норму, тоді як сума опадів досягала 83 мм, або 244,1 % від норми. Значна кількість опадів зумовила перезволоження посівного шару ґрунту, затримала настання його фізичної стиглості та ускладнила своєчасне проведення весняно-польових робіт, насамперед сівби пшениці ярої.

У травні гідротермічні умови істотно змінилися: за температури, близької до багаторічної норми, випало лише 10 мм опадів, або 22,7 % норми. Гострий дефіцит вологи атмосферних опадів в період появи сходів і початкового росту сої та проса, а також ранніх етапів вегетації пшениці ярої спричиняв пересихання посівного шару ґрунту, погіршував умови формування дружних сходів та початкову конкурентоспроможність культур щодо бур'янів. У червні кількість опадів наближалася до норми й становила 60 мм за середньої температури 19,3 °С, тоді як у липні вона зросла до 162 мм, або 245 % норми. Надмірне зволоження поліпшувало водозабезпечення сої та проса в період інтенсивного росту, проте під час досягання пшениці ярої створювало ризик перезволоження посівів і ускладнення збиральних робіт. Підвищений температурний фон серпня і вересня, відповідно на 3,8 і 4,0 °С вище норми, прискорював завершення вегетації пізніх культур, однак недостатня кількість опадів у вересні обумовила скорочення тривалості фази наливу насіння сої (додаток А.1; рис. 2.1).

Таким чином, метеорологічні умови 2023 р. характеризувалися підвищеним загальним вологозабезпеченням, однак нерівномірний розподіл атмосферних опадів обумовив чергування перезвожених і посушливих періодів. Такий гідротермічний режим загалом сприяв інтенсивному накопиченню біомаси культур, проте створював передумови для появи кількох

хвиль сходів бур'янів і посилював залежність росту та продуктивності посівів від адаптивної здатності рослин до короточасного дефіциту або надлишку вологи.

Погодні умови 2024 р. вирізнялися найвищим температурним фоном за період досліджень. Середньорічна температура повітря становила 11,0 °С, що на 3,7 °С перевищувало середньобогаторічну норму. За рік випало 534 мм опадів, що на 92 мм, або на 20,8 % більше норми. Перевищення річної норми опадів було обумовлене їх значною кількістю у січні–квітні та жовтні–грудні, тоді як у травні–вересні, у період активної вегетації сої, пшениці ярої та проса, відмічено дефіцит вологи. У квітні випало 83 мм опадів, або 244,1 % норми, а середня температура повітря досягала 12,4 °С, перевищуючи норму на 4,1 °С (рис. 2.2; додаток А.2).

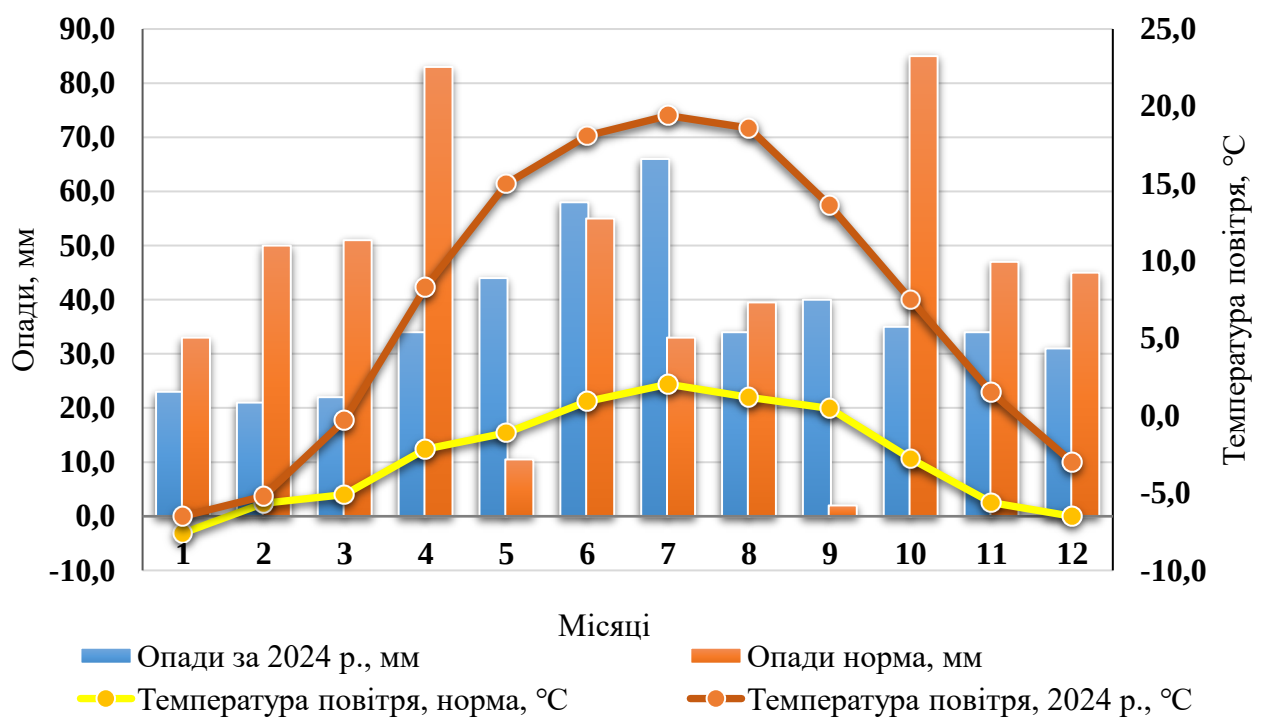


Рис. 2.2 Характеристика агрокліматичних умов за 2024 р. (за даними метеорологічної станції Яготин, м. Яготин, Бориспільський р-н Київської області)

Поєднання інтенсивного прогрівання з надмірним зволоженням сприяло поповненню запасів ґрунтової вологи, проте затримувало настання фізичної стиглості ґрунту та ускладнювало своєчасне проведення весняно-польових робіт.

У травні випало лише 10,5 мм опадів, або 23,9 % норми, що погіршувало зволоження посівного шару ґрунту та обмежувало набухання насіння, польову схожість і рівномірність появи сходів сої та проса. У червні кількість опадів наближалася до норми й становила 55 мм, проте підвищення середньої температури до 21,2 °С, або на 3,1 °С відносно норми, посилювало випаровування та знижувало ефективність використання ґрунтової вологи.

Найбільш несприятливі гідротермічні умови сформувалися у липні та вересні: у липні випало 33 мм опадів, або 50,0 % норми, за температури 24,4 °С, а у вересні лише 2 мм, або 5,0 % норми, за перевищення температурного показника на 6,3 °С. Загалом упродовж травня–вересня кількість опадів становила 140 мм, що на 102 мм, або на 42,1 %, менше норми, тоді як середня температура повітря досягала 20,6 °С і перевищувала норму на 3,6 °С. Таке поєднання дефіциту атмосферних опадів і підвищеного температурного фону посилювало водний стрес рослин, особливо у критичні періоди росту та формування генеративних органів сої й проса (рис. 2.2; додаток А.2).

Для пшениці ярої високі температури й дефіцит вологи у період формування та наливу зерна зумовили прискорення проходження фенологічних фаз і скорочення періоду активної фотосинтетичної діяльності рослин. У сої посуха під час цвітіння, утворення бобів і наливу насіння обмежувала реалізацію продуктивного потенціалу. Просо, завдяки вищій посухостійкості, вирізнялося вищою з пристосованістю до посушливих умов, хоча тривалий дефіцит вологи також стримував кущення та формування зерна.

Таким чином, 2024 р. був найбільш посушливим і характеризувався найвищим температурним фоном за період досліджень, що дало змогу оцінити стійкість культур і ефективність систем органічного удобрення за обмеженого вологозабезпечення. Суха й спекотна погода у вересні сприяла підсиханню посівів і збиранню врожаю, але прискорювала завершення наливу насіння сої (рис. 2.2; додаток А.2).

Метеорологічні умови 2025 р. характеризувалися помірним температурним фоном і порівняно рівномірнішим розподілом атмосферних опадів, ніж у

попередні роки досліджень. За рік випало 488 мм опадів, що на 46 мм, або на 10,4 %, перевищувало норму. Середньорічна температура повітря становила 9,9 °С і була на 2,6 °С вищою за норму (рис. 2.3; додаток А.3).

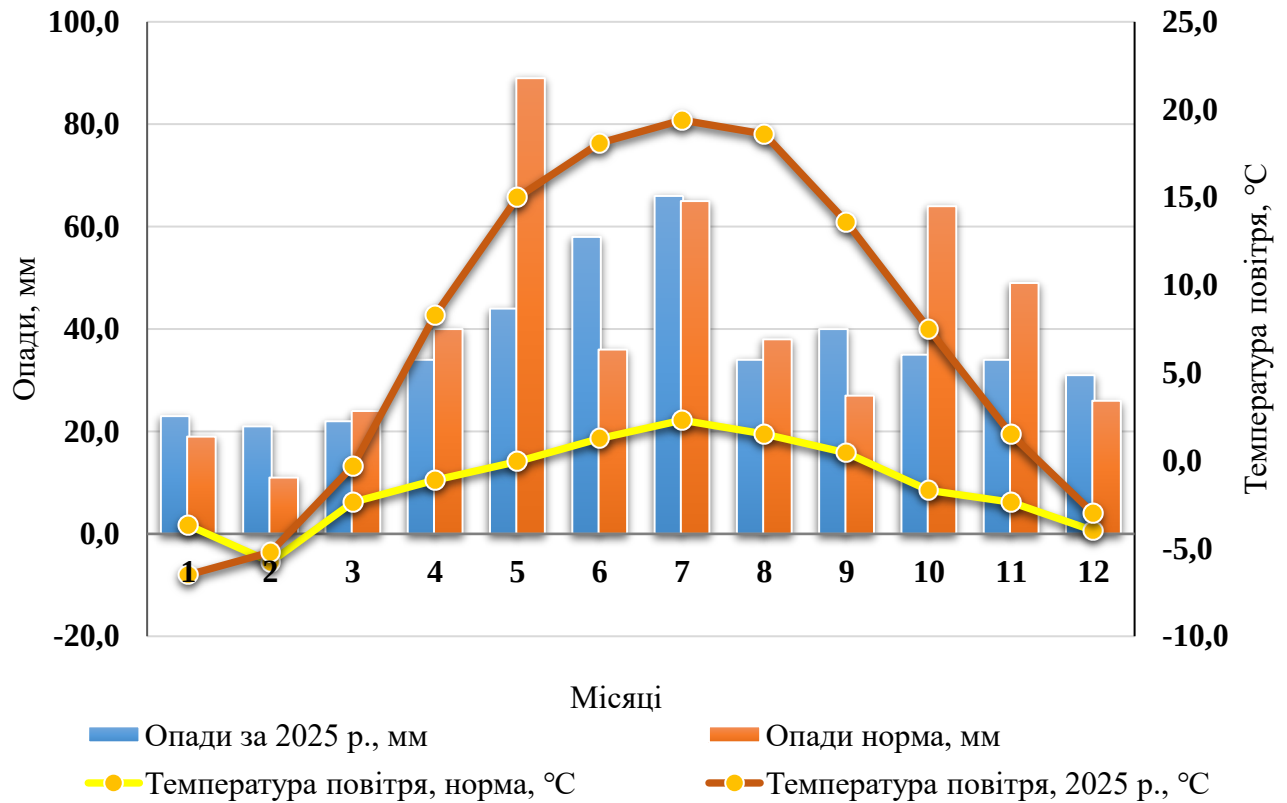


Рис. 2.3 Характеристика агрокліматичних умов за 2025 р. (за даними метеорологічної станції Яготин, м. Яготин, Бориспільський р-н Київської області)

У березні середня температура повітря досягала 6,2 °С, перевищуючи норму на 6,5 °С, що сприяло ранньому прогріванню ґрунту й активізації мікробіологічних процесів. У квітні за температури 10,5 °С випало 40 мм опадів, тому гідротермічні умови загалом були сприятливими для проведення весняно-польових робіт і початкового росту пшениці ярої.

У травні температура повітря була на 0,9 °С нижчою за норму, тоді як кількість опадів становила 89 мм, або 202,3 % норми. Достатнє зволоження посівного шару сприяло проростанню насіння та формуванню дружних сходів рослин сої та проса. Водночас поєднання значної кількості опадів із помірним температурним фоном обумовили уповільнення початкового росту теплолюбних

культур (соя, просо), сприяли утворенню ґрунтової кірки та масовій появі сходів бур'янів.

У червні випало 36 мм опадів, що на 22 мм, або на 37,9 %, менше норми, за середньої температури 18,6 °С. Тимчасове погіршення вологозабезпечення стримувало наростання вегетативної маси сої та проса, а також вплинуло на формування генеративних органів пшениці ярої. У липні кількість опадів становила 65 мм і практично відповідала нормі, тоді як температура перевищувала її на 2,8 °С. Такі умови забезпечили надходження вологи в період наливу зерна пшениці ярої та формування репродуктивних органів сої і проса, хоча підвищений температурний фон посилював витрати запасів продуктивної вологи в ґрунті на транспірацію.

У серпні гідротермічні показники були близькими до багаторічних значень: випало 38 мм опадів за середньої температури 19,5 °С. У вересні температура перевищувала норму на 2,2 °С, а кількість опадів становила 27 мм, або 67,5 % норми. Тепла й помірно суха погода сприяла досягання сої та проса і зниженню вологості насіння перед збиранням, проте за пізнього розвитку сої обумовила скорочення тривалості період наливу насіння.

Загалом упродовж травня–вересня випало 255 мм опадів, що на 13 мм, або на 5,4 %, перевищувало норму, а середня температура повітря була вищою за неї на 1,1 °С. Таким чином, 2025 р. був відносно найбільш збалансованим за співвідношенням тепла і вологи. Незважаючи на локальний дефіцит атмосферних опадів у червні та вересні, гідротермічні умови загалом сприяли формуванню щільного культурного агрофітоценозу, накопиченню біомаси та реалізації продуктивного потенціалу культур сівозміни (див. рис. 2.3; додаток А.3).

Загалом, метеорологічні умови 2023–2025 рр. істотно різнилися за температурним режимом, кількістю та розподілом атмосферних опадів. У 2023 р. сформувалися теплі й надмірно зволожені, проте контрастні гідротермічні умови; 2024 р. характеризувався найвищим температурним фоном і найбільшим дефіцитом вологи, тоді як 2025 р. був порівняно найбільш збалансованим за

співвідношенням тепла та зволоження. Встановлена мінливість погодних умов за роками істотно впливала на інтенсивність росту сої, пшениці ярої та проса, накопичення сухої біомаси, тривалість проходження фенологічних фаз і конкурентні взаємовідносини культур із бур'яноюю синусією.

2.3. Схема досліду та методика проведення досліджень

Дослідження щодо вивчення впливу систем органічного удобрення на формування продуктивності сої, пшениці ярої та проса у короткоротаційній сівозміні проводилися на дослідному полі Панфільської дослідної станції ННЦ «Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України» в зоні нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України на чорноземі типовому малогумусному. Стаціонарний польовий дослід закладено у 2021 році. Схему та зміст варіантів стаціонарного польового дослідження наведено на рисунку 2.4.



Рис. 2.4 Схема стаціонарного дослідження з дослідження впливу систем органічного удобрення на формування продуктивності культур короткоротаційної і сівозміни в умовах Лівобережного Лісостепу – Панфільська ДС ННЦ «ІЗ НААН»

Дослід закладено систематичним методом у триразовій повторності. Площа посівної ділянки – 81 м², облікової – 60 м².

Досліджувані культури короткоротаційної органічної сівозміни впродовж 2023–2025 рр. розміщались після попередників по роках згідно ротаційної таблиці (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Ротаційна таблиця 3-пільної органічної сівозміни

Рік ротації	Поля сівозміни		
	I	II	III
2023	Просо	Соя	Пшениця яра
2024	Соя	Пшениця яра	Просо
2025	Пшениця яра	Просо	Соя

У досліді висівали сорти селекції ННЦ «ІЗ НААН»: пшениці ярої – Рання 93, сої – Муза та проса – Омріяне (рис. 2.5), внесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні [45].

Характеристика сорту сої Муза – сорт створено методом індивідуального добору з гібридної популяції Еванс × Устя. Сорт характеризується високою якістю зерна, стабільною врожайністю, стійкістю до розтріскування бобів та осипання. Належить до маньчжурського підвиду, апробаційної групи *Sordida*. Маса 1000 насінин становить 160–235 г. Рекомендована норма висіву за широкорядного способу сівби – 600–650 тис. схожих насінин на 1 га, за звичайного рядкового – 650–700 тис. схожих насінин на 1 га.

Характеристика сорту пшениці ярої Рання 93 – сорт належить до різновиду *Erythrospermum*. До Державного реєстру сортів рослин України його внесено у 1996 р. Висота рослин становить 70–90 см; кущ прямостоячий, стебло міцне. Зернівка велика, яйцеподібної форми; маса 1000 зерен – 40–43 г. Вміст білка в зерні становить 12,3–13,2 %, сирої клейковини – 20–30 %.



Пшениця яра, сорт Рання 93



Соя, сорт Муза



Просо, сорт Омріяне

Рис. 2.5 Культури короткоротаційної органічної сівозміни

Сорт посухостійкий, стійкий до вилягання, осипання, проростання зерна в колосі та ураження найпоширенішими збудниками хвороб. Потенційна врожайність – 6,0–7,0 т/га. Рекомендований для вирощування в зонах Лісостепу і Полісся.

Характеристика сорту проса Омріяне – сорт належить до різновиду *Aureum*. Висота рослин становить 95–115 см. Сорт середньоранній, тривалість вегетаційного періоду – 90–98 діб. Характеризується стійкістю до вилягання, осипання, посухи та ураження збудниками хвороб. Середня врожайність – 3,0–3,2 т/га, вміст білка – 12,2–13,0 %. Рекомендований для вирощування в усіх зонах України. Норма висіву – 4,0–4,5 млн схожих насінин на 1 га.

З метою формування щільнішого культурного агрофітоценозу та посилення його конкурентного впливу на сегетальну рослинність норми висіву насіння всіх досліджуваних культур збільшували порівняно з рекомендованими для досліджуваної зони на 10–15 %.

Після збирання основної продукції досліджуваних культур органічної сівозміни, на варіантах 2 і 4 післяжнивно висівали редьку олійну як сидеральну культуру з нормою висіву 20 кг/га схожого насіння.

У системі органічного удобрення, на варіантах 3 і 4 застосовували біологічний препарат БІОГЕЛЬ-плюс, ГВ (свідоцтво серії А №09337), який містить комплекс корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів. Зокрема до складу препарату входять гумінові та фульвові кислоти, вітаміни, амінокислоти, макро- та мікроелементи, корисна флора. Основна діюча речовина: штам корисної ґрунтової бактерії виду *Bacillus subtilis* БГ у розрахунку не менше ніж 6×10^4 КУО/мл [10; 44]. Біопрепарат вносили позакоренево в розрахунку по 1,5 л/га у фазі повних сходів і цвітіння, загальна норма за вегетацію культур сівозміни становила 3,0 л/га.

Біологічний препарат БІОГЕЛЬ-плюс, дозволений для використання в органічному виробництві сільськогосподарської продукції [44].

Технологію вирощування досліджуваних культур розроблено відповідно до зональних рекомендацій для умов Лівобережного Лісостепу України; усі

застосовані агротехнічні заходи та засоби відповідали вимогам органічного виробництва [19; 100; 109; 113; 173].

Усі агротехнічні заходи виконували в оптимальні агротехнічні строки, крім окремо зазначених відхилень, зумовлених погодними умовами. Після збирання врожаю пшениці ярої, сої та проса побічну продукцію попередника подрібнювали й заробляли у ґрунт важкою дисковою бороною на глибину 10–12 см. На варіантах 2 і 4 висівали пожнивну сидеральну культуру – редьку олійну. Наприкінці осіннього періоду її надземну масу заробляли у ґрунт дисковою бороною на глибину 10–12 см, після чого проводили зяблеву оранку на 25–27 см. Весняний обробіток ґрунту розпочинали з ранньовесняного боронування легкими зубовими боронами. Передпосівну культивуацію проводили безпосередньо перед сівбою агрегатом на глибину 5–6 см.

Пшеницю яру у 2023 та 2025 рр. висівали у першій декаді квітня. У 2024 р. через затяжні опади сівбу провели 21 квітня, тобто приблизно на 14 діб пізніше від оптимального для Лівобережного Лісостепу строку. Сою та просо висівали в оптимальні для зони строки: у 2024 р. – відповідно 7 і 8 травня. Сівбу всіх культур проводили сівалкою зерною сівалкою СЗ-5,4.

Програма та методика супутніх спостережень, обліків та аналізів. Під час закладання стаціонарного польового дослідження та впродовж його проведення супутні спостереження, обліки й лабораторні дослідження здійснювали відповідно до чинних методичних рекомендацій і стандартів, прийнятих у галузі агрономічних досліджень [47; 67; 107; 138].

Визначення польової схожості висіяного насіння, виживаність культурних рослин визначали та супутні фенологічні спостереження за посівами проводили відповідно до «Методики державного сортовипробування сільськогосподарських культур» [104].

Ґрунтові проби відбирали відповідно до вимог ДСТУ 4287:2004 [167] з визначених схемою дослідження шарів ґрунту. Відібрані зразки формували в об'єднані проби, маркували та готували до подальших лабораторних досліджень

Уміст води в 0–100 см шарі ґрунту визначали гравіметричним (термостатно-ваговим) методом згідно ДСТУ ISO 11465-2001 [63] шляхом висушування відібраних зразків у сушильній шафі за температури 105 °С до сталої маси з подальшим розрахунком вологості (W , %) за різницею маси зразка до і після висушування за формулою:

$$W = 100 \times \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m}, \quad (2.1)$$

де: m_1 – маса ґрунту до висушування зі стаканчиком і кришкою, г; m_0 – маса висушеного ґрунту зі стаканчиком і кришкою, г; m – маса порожнього стаканчика із кришкою, г.

Загальні запаси продуктивної води в ґрунті W в мм визначали за формулою:

$$W = \frac{u \times \gamma \times h}{10}, \quad (2.2)$$

де: u – вода абсолютно сухого ґрунту, %; γ – щільність ґрунту, г/см³; h – глибина шару ґрунту, см; 10 – коефіцієнт співвідношення для виразу кількості води, мм.

Показники вологості та запасів продуктивної води в 0–100 см шарі ґрунту визначали впродовж вегетаційного періоду досліджуваних культур – на час сівби та перед збиранням урожаю.

Ефективність використання запасів продуктивної води в ґрунті посівами досліджуваних культур оцінювали за сумарним водоспоживанням і коефіцієнтом водоспоживання. Сумарне водоспоживання за вегетаційний період визначали розрахунковим методом як суму використаних запасів продуктивної води з метрового шару ґрунту, розрахованих за різницею між її запасами на час сівби та збирання врожаю, і кількості атмосферних опадів, що випали протягом цього періоду.

Коефіцієнт водоспоживання, який характеризує витрати води на формування 1 т основної продукції, розраховували за формулою:

$$K_{\text{в}} = \frac{\Sigma W \times 10}{y} \quad (2.3)$$

де $K_{\text{в}}$ – коефіцієнт водоспоживання, $\text{м}^3/\text{т}$; ΣW – сумарне водоспоживання за вегетаційний період, мм; 10 – коефіцієнт переведення шару води завтовшки 1 мм у $10 \text{ м}^3/\text{га}$; y – урожайність основної продукції, $\text{т}/\text{га}$.

Агрохімічні властивості ґрунту визначали із застосуванням стандартизованих лабораторних методів відповідно до чинних на час проведення досліджень нормативних документів ДСТУ та ISO:

- уміст гумусу встановлювали методом Тюріна згідно з ДСТУ 4289:2004 [55];
- реакцію ґрунтового розчину (pH) визначали потенціометричним методом відповідно до ДСТУ ISO 10390:2007 «Якість ґрунту. Визначення pH» [62];
- уміст легкогідролізного азоту методом Корнфілда відповідно до ДСТУ 7863:2015 [60];
- уміст рухомих сполук фосфору та калію визначали модифікованим методом Чирикова згідно з ДСТУ 4115:2002 «ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова» [51];
- Концентрацію рухомих форм важких металів і мікроелементів у ґрунті встановлювали відповідно до вимог ДСТУ 4770:2007 [58];
- Загальну оцінку якісного стану та рівня родючості ґрунту здійснювали з урахуванням положень ДСТУ 4362:2004 [56].

Запаси гумусу в досліджуваному шарі ґрунту визначали розрахунковим методом за фактичним умістом гумусу, щільністю складення ґрунту та потужністю шару. Розрахунок здійснювали за формулою:

$$Z_{\text{г}} = V_{\text{г}} \times \rho \times h \quad (2.4)$$

де $Z_{\text{г}}$ – запас гумусу в досліджуваному шарі ґрунту, $\text{т}/\text{га}$; $V_{\text{г}}$ – уміст гумусу в ґрунті, %; ρ – щільність складення ґрунту, $\text{г}/\text{см}^3$; h – потужність досліджуваного шару ґрунту, см.

Аналіз одержаних аналітичних даних проводили за загальноприйнятими методиками агрохімічного оцінювання ґрунтів [77; 105].

Мікробіологічну активність ґрунту визначали аплікаційним методом або методом лляного полотна. Попередньо висушені до сталої маси та зважені зразки лляної тканини закріплювали на скляних пластинах і розміщували в орному 0–30 см шарі ґрунту, в зоні інтенсивного розвитку кореневих систем рослин та активного перебігу мікробіологічних процесів. Тривалість експозиції становила 30 діб. Після вилучення з ґрунту тканину висушували до сталої маси та повторно зважували. Целюлозоруйнівну (мікробіологічну) активність оцінювали за відносною втратою сухої маси лляного полотна протягом періоду експозиції за формулою:

$$A = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (2.5)$$

де А – целюлозоруйнівна активність ґрунту, або інтенсивність розкладання лляного полотна, %; m_1 – початкова суха маса лляної тканини до закладання в ґрунт, г; m_2 – суха маса лляної тканини після 30-добової експозиції в ґрунті, г.

Рівень забур'яненості посівів під впливом досліджуваних чинників проводили у основні фази росту та розвитку культур органічної сівозміни: повні сходи – кількісним методом та в фазу дозрівання кількісно-ваговим методом [16; 67; 79; 124; 129].

За кількісного методу обліки проводили в чотирьох місцях кожної ділянки, розміщених по діагоналі, за допомогою рамки площею 0,25 м². У межах рамки встановлювали видовий склад, чисельність однодольних і дводольних бур'янів та їх загальну кількість. Під час кількісно-вагового обліку бур'яни зрізували на рівні поверхні ґрунту, визначали їх сиру та повітряно-суху масу, а отримані показники перераховували у г/м².

З метою оцінювання конкурентної здатності досліджуваних культур щодо бур'янового компонента агрофітоценозу розраховували коефіцієнт конкурентної здатності культур сівозміни щодо сегетальної рослинності. Показник визначали як відношення загальної сухої маси рослин культури до сухої маси бур'янів, облікованої перед збиранням урожаю на відповідному варіанті досліду за формулою:

$$K_k = \frac{M_k}{M_b} \quad (2.6)$$

де K_k – коефіцієнт конкурентної здатності культури, безрозмірна величина; M_k – загальна суха маса рослин культури, г/м²; M_b – суха маса бур'янів перед збиранням урожаю, г/м².

Кількість побічної продукції, отриманої після збирання врожаю та заробленої в ґрунт, визначали методом пробного снопа, відібраного для аналізу структури врожаю. Масу соломи розраховували за співвідношенням основної та побічної продукції з подальшим перерахунком на одиницю площі.

Урожайність досліджуваних культур обліковували поділяночно методом прямого комбайнування із суцільним обмолотом усієї площі облікової ділянки. Одержане зерно пшениці ярої, проса та насіння сої з кожної ділянки окремо зважували, після чого відбирали середні проби для визначення вологості та показників хімічного складу продукції [28; 53].

Якісні показники зерна та насіння визначали методом інфрачервоної спектроскопії на аналізаторі NIR Systems 4500 у лабораторії відділу агроєкології та аналітичних досліджень ННЦ «ІЗ НААН» відповідно до ДСТУ 4117:2007 «Зерно та продукти його переробки. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії» [52]. Залежно від біологічних особливостей культури встановлювали масову частку білка, сирі клейковини (клітковини), жиру, крохмалю та золи, а також уміст фосфору і калію. Оцінювання одержаних показників якості зерна здійснювали відповідно до вимог чинних стандартів на продукцію досліджуваних культур [50; 57; 59].

Структуру врожаю досліджуваних культур визначали перед збиранням врожаю методом індивідуального біометричного аналізу рослин. В межах кожного варіанта дослідів відбирали по 20–25 типових рослин, підраховували висоту, кількість генеративних органів та визначали масу надземної частини, коренів і зерна чи насіння.

Для коректного порівняння продуктивності культур урожай основної продукції переводили в зернові одиниці із застосуванням відповідних

коефіцієнтів [30]. Вихід кормових одиниць і перетравного протеїну розраховували на основі фактичної врожайності основної та побічної продукції кожної культури з урахуванням нормативних показників її поживної цінності [7; 46; 80]. Розрахунки здійснювали відповідно до вимог ДСТУ 8066:2015 [61], а отримані результати перераховували на 1 га сівозмінної площі.

Математичний аналіз результатів польових досліджень, зокрема даних обліку врожаю та показників продуктивності культур, здійснювали методом дисперсійного аналізу [159]. Математичні розрахунки виконували із застосуванням комп'ютерної техніки та спеціалізованих програмних пакетів статистичного аналізу [71].

Для узагальнення експериментальних даних застосовували методи варіаційної статистики. Визначали середнє арифметичне (M), стандартне відхилення (S), стандартну похибку середнього арифметичного (Sx) та коефіцієнт варіації (V).

Коефіцієнт варіації, що характеризує відносну мінливість досліджуваної ознаки, розраховували за формулою:

$$V = \frac{S}{M} \times 100 \% \quad (2.7)$$

де V – коефіцієнт варіації, %; S – стандартне відхилення; M – середнє арифметичне значення досліджуваної ознаки.

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

Економічну ефективність застосування різних систем органічного удобрення досліджуваних культур та короткоротаційної органічної сівозміни загалом оцінювали розрахунковим методом на основі технологічних карт. Під час розрахунків ураховували фактичні витрати матеріально-технічних ресурсів, оплату праці, вартість виконання технологічних операцій і ціни на сільськогосподарську продукцію, що склалися в період проведення досліджень. Визначали виробничі витрати, собівартість одиниці продукції, вартість валової продукції, умовно чистий прибуток і рівень рентабельності [101; 157].

Показники енергетичної ефективності застосування досліджуваних факторів визначали за методикою енергетичного аналізу сільськогосподарського виробництва О. К. Медведовського та П. І. Іваненка [102] з урахуванням відповідних методичних рекомендацій [155–156]. Сукупні витрати антропогенної енергії визначали за енергетичними еквівалентами використаних ресурсів і виконаних технологічних операцій, а енергомісткість врожаю, за виходом основної та побічної продукції і показниками її енергетичної цінності. За результатами розраховували коефіцієнт енергетичної ефективності (K_{ee}) як відношення одержаної енергії врожаю до витрат сукупної.

РОЗДІЛ 3. ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ РОДЮЧОСТІ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ ОРГАНІЧНОГО УДОБРЕННЯ

Родючість ґрунту є комплексною характеристикою функціонального стану ґрунту, що характеризує його здатність забезпечувати рослини водою, елементами живлення, повітрям і сприятливими фізико-хімічними умовами впродовж вегетації. В агроєкосистемах вона формується внаслідок взаємодії водного, поживного, гумусного, кислотного-основного та біологічного режимів, тому зміни окремих показників позначаються на загальному функціональному стані ґрунту. Незважаючи на значні природні запаси органічної речовини та високу буферність чорноземів, їх тривале сільськогосподарське використання супроводжується ризиком поступового зниження родючості. Відчуження врожаю, недостатнє повернення органічної речовини, ущільнення орного шару, посилення мінералізації гумусу та порушення балансу елементів живлення посилюють нестабільність ґрунтових процесів за контрастних гідротермічних умов [5; 81; 128].

Сучасне оцінювання родючості передбачає визначення не лише запасів поживних речовин, а й структурного стану, водоутримуючої здатності, буферної ємності, біологічної активності та екологічної безпечності ґрунту. Особливого значення такий підхід набуває в органічному землеробстві, де живлення культур і відтворення родючості ґрунту ґрунтуються переважно на сівозмінному чиннику, систематичному надходженні органічної речовини та біологічній мобілізації елементів. За обмеженого використання легкокорозчинних добрив доступність поживних сполук визначається інтенсивністю розкладання рослинних решток, співвідношенням процесів мінералізації та іммобілізації, активністю ґрунтової мікробіоти й розвитком корневих систем культур [26; 35; 183].

Основними джерелами органічної речовини є побічна продукція культур, кореневі рештки та біомаса сидератів. Їх повернення частково компенсує винесення вуглецю й елементів живлення з урожаєм, забезпечує мікроорганізми субстратом і створює передумови для поліпшення структури ґрунту. Ефективність рослинної біомаси залежить від її кількості та хімічного складу, співвідношення вуглецю й азоту, вмісту важкодоступних сполук, строків заробки та гідротермічних умов. Легкодоступні компоненти швидко залучаються до мікробного метаболізму й забезпечують вивільнення елементів живлення, тоді як стійкіші сполуки повільніше трансформуються та можуть брати участь у формуванні органо-мінеральних асоціацій [203; 213].

За сучасними уявленнями, органічна речовина ґрунту є сукупністю сполук різного походження та стабільності у ґрунтовому середовищі. Їх стійкість у ґрунті визначається взаємодією з мінеральними компонентами, включенням до складу ґрунтових агрегатів і характером мікробіологічного розкладання рослинної біомаси. Тому надходження фітомаси впливає на гумусний стан через поповнення запасів органічного вуглецю, активізацію мікробного синтезу та оструктурування ґрунту [203; 213]. Використання покривних і сидеральних культур може збільшувати вміст органічного вуглецю залежно від умов вирощування, тривалості застосування та обсягу біомаси [202; 233].

Рослинні рештки та сидерати поліпшують водно-фізичні властивості ґрунту, зменшуючи непродуктивне випаровування і руйнування структурних агрегатів. Їх кореневі системи формують біопори та підвищують проникність верхнього шару, а продукти трансформації органічної речовини сприяють поліпшенню агрегатного стану ґрунту. На чорноземах типових встановлено зв'язок систем удобрення з фізичною будовою, гумусованістю та водним режимом [5; 128; 169]. Ефект залежить від виду біомаси, способу її загортання, обробітку ґрунту й погодних умов.

Важливою складовою біологізації землеробства є застосування мікробіологічних препаратів, дія яких може бути пов'язана з активізацією розкладання рослинних решток, мобілізацією малодоступних сполук фосфору,

біологічною фіксацією азоту та стимулюванням розвитку кореневої системи. Ефективність таких препаратів залежить від життєздатності мікроорганізмів, наявності органічного субстрату, вологості, температури, реакції ґрунтового середовища та їх взаємодії з аборигенною мікробіотою. Тому біопрепарати доцільно розглядати як компонент системи органічного удобрення, дія якого може посилюватися за достатнього надходження рослинної фітомаси [87; 125; 216].

Органічні компоненти удобрення впливають і на кислотно-основний стан ґрунту. Разом із біомасою до нього надходять кальцій, магній, калій та інші катіони, а під час її мікробної трансформації утворюються органічні кислоти, гумусові сполуки й вуглекислий газ. Напрям змін залежить від складу субстрату, інтенсивності нітрифікації, вилугування основ і буферності ґрунту. Реакція ґрунтового розчину, гідролітична кислотність, сума увібраних основ і ступінь насичення основами визначають доступність елементів живлення, активність мікроорганізмів і рухомість потенційно токсичних металів [5; 35; 198].

Комплексне оцінювання родючості має передбачати також контроль вмісту рухомих форм мікроелементів і важких металів. Мідь, цинк, марганець і залізо необхідні для життєдіяльності рослин, однак за надмірної доступності можуть виявляти токсичну дію. Свинець, кадмій і нікель становлять небезпеку через стійкість у ґрунті та здатність включатися до трофічних ланцюгів. Їх рухомість регулюється реакцією ґрунтового середовища, вмістом органічної речовини, гранулометричним складом, оксидами заліза й марганцю, окисно-відновними умовами та біологічною активністю [78; 149; 182]. Органічні сполуки можуть сприяти як закріпленню металів унаслідок поглинання та утворення комплексних сполук, так і тимчасовому підвищенню їх рухомості через формування розчинних комплексів.

Отже, оцінювання систем органічного удобрення має охоплювати не лише продуктивність культур, а й зміни основних ґрунтових процесів. У короткочасній сівозміні поєднання побічної продукції, пожнивного сидерату та біопрепарату може сприяти поповненню запасів вуглецю й елементів

живлення, поліпшенню водно-фізичних властивостей та активізації біологічних процесів.

У розділі досліджено формування показників родючості чорнозему типового за вирощування сої, пшениці ярої та проса. Оцінено водний, гумусний і поживний режими, реакцію ґрунтового середовища, вміст мікроелементів і важких металів та біологічну активність ґрунту.

3.1. Водний режим чорнозему типового та водоспоживання культур короткоротаційної сівозміни

Водний режим ґрунту визначає перебіг фізіологічних і біогеохімічних процесів в агроценозі, впливаючи на надходження елементів живлення до коренів, фотосинтез, транспірацію, активність мікроорганізмів і мінералізацію органічної речовини. Недостатнє або нерівномірне зволоження обмежує реалізацію продуктивного потенціалу культур, а надмірна вологість погіршує повітряний режим ґрунту. Тому важливими є не лише кількість опадів, а й здатність ґрунту приймати, накопичувати та продуктивно використовувати вологу.

Запаси продуктивної вологи залежать від гранулометричного складу, щільності будови, пористості, структури та вмісту органічної речовини. Система удобрення впливає на ці властивості через надходження рослинних решток, активність мікроорганізмів і формування водостійких агрегатів. Біологізація удобрення та повернення органічної маси сприяють поліпшенню фізичної будови чорнозему типового й створюють передумови для кращого накопичення вологи [128; 169].

Побічна продукція зменшує руйнування ґрунтової структури, утворення кірки та непродуктивне випаровування. Сидеральні культури формують біопори, поліпшують інфільтрацію й водостійкість агрегатів, причому вираженість цих змін зростає за тривалого їх використання [179; 181]. Водночас сидеральні культури додатково споживають вологу, тому за недостатнього осіннього

зволоження можуть зменшувати її запаси для наступної культури. Позитивний ефект формується тоді, коли ці витрати компенсуються кращим накопиченням зимово-весняних опадів і зменшенням випаровування.

Мікробіологічний препарат впливає на водний режим опосередковано – через активізацію розкладання рослинних решток, розвиток кореневої системи та формування більшої біомаси. Продуктивніший посів може використовувати більше вологи, однак за зростання врожайності її витрати на одиницю продукції зменшуються. Тому залишкова вологість ґрунту не повністю характеризує ефективність системи удобрення.

Соя, пшениця яра та просо відрізняються потребою у волозі й характером її використання. Соя особливо чутлива до дефіциту вологи під час цвітіння і формування бобів, пшениця яра – у період виходу в трубку, колосіння та наливу зерна, а просо, попри вищу посухостійкість, потребує достатнього зволоження на початку росту та під час формування генеративних органів. Тому реакція запасів вологи залежить від біологічних особливостей культури, системи удобрення, обробітку ґрунту та погодних умов [32; 163].

Отже, оцінювання водного режиму короткоротаційної сівозміни має охоплювати початкові й залишкові запаси продуктивної вологи, її розподіл за профілем ґрунту, сумарне водоспоживання та витрати води на одиницю продукції. У підрозділі ці показники визначено у шарах 0–20, 0–50 і 0–100 см на час сівби та збирання сої, пшениці ярої й проса, що дає змогу оцінити вплив побічної продукції, сидерату та біопрепарату на ефективність використання водних ресурсів.

У середньому за 2023–2025 рр. системи органічного удобрення неоднаково впливали на запаси продуктивної вологи залежно від культури та шару ґрунту. Найбільш послідовне їх збільшення на час сівби встановлено за комплексного застосування побічної продукції попередника, сидерату редьки олійної та біопрепарату (табл. 3.1).

Зокрема, на час сівби сої на контрольному варіанті запаси продуктивної вологи становили 27,3 мм у 0–20 см шарі, 76,3 мм у 0–50 см шарі та 148,5 мм у

0–100 см шарі. За окремого використання сидерату та біопрепарату вони помітно підвищувалися лише у верхньому шарі – відповідно до 30,8 і 30,6 мм, тоді як у 0–50 см шарі залишалися близькими до контролю.

Таблиця 3.1

**Запаси продуктивної вологи в ґрунті на час сівби культур
короткоротаційної сівозміни, мм, середнє за 2023–2025 рр.**

Культура сівозміни	Система органічного удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	0–50	0–100
Соя	п.п.п (контроль)*	27,3	76,3	148,5
	п.п.п + сидерат**	30,8	76,9	148,7
	п.п.п + біопрепарат***	30,6	75,8	151,0
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	32,9	77,0	154,9
	<i>S</i>	2,3	0,6	3,0
	<i>V, %</i>	7,6	0,8	2,0
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	31,9	68,1	155,3
	п.п.п + сидерат	32,8	72,3	163,4
	п.п.п + біопрепарат	32,3	73,9	164,3
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	37,4	79,3	169,3
	<i>S</i>	2,6	4,6	5,8
	<i>V, %</i>	7,6	6,3	3,5
Просо	п.п.п (контроль)	26,4	70,7	145,0
	п.п.п + сидерат	28,0	67,5	145,1
	п.п.п + біопрепарат	28,2	66,7	146,8
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	29,5	71,8	150,7
	<i>S</i>	1,3	2,4	2,7
	<i>V, %</i>	4,5	3,5	1,8

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

За комплексного органічного удобрення запаси продуктивної вологи у 0–20 см шарі ґрунту зростали до 32,9 мм, перевищуючи контроль на 5,6 мм, або 20,5 %. У метровому шарі вони становили 154,9 мм, що на 6,4 мм, або 4,3 %, більше від контрольного показника. Отже, за вирощування сої вплив застосування комплексної системи органічного удобрення характеризувався

найбільшим збільшенням запасів продуктивної вологи у верхньому шарі та загальному запасі метрового профілю.

На час сівби пшениці ярої на контролі у шарах 0–20, 0–50 і 0–100 см містилося відповідно 31,9; 68,1 і 155,3 мм продуктивної вологи. За застосування сидерату запаси в метровому шарі підвищувалися до 163,4 мм, біопрепарату – до 164,3 мм. Найвищі показники забезпечувало комплексне удобрення – 37,4; 79,3 і 169,3 мм залежно від шару. Приріст до контролю становив відповідно 5,5; 11,2 і 14,0 мм, або 17,2; 16,4 і 9,0 %. Серед досліджуваних культур саме перед сівбою пшениці ярої встановлено найбільше абсолютне збільшення запасів у метровому шарі.

Перед сівбою проса на контрольному варіанті запаси продуктивної вологи становили 26,4; 70,7 і 145,0 мм. За окремого застосування сидерату й біопрепарату показники у верхньому шарі підвищувалися до 28,0–28,2 мм, однак у шарі 0–50 см були нижчими від контролю. Лише за комплексного органічного удобрення середні запаси перевищували контрольні значення в усіх досліджуваних шарах і становили відповідно 29,5; 71,8 і 150,7 мм.

Найвищі запаси продуктивної вологи переважно встановлено на час сівби пшениці ярої. Відмінності між культурами визначалися строками проведення обліків, погодними умовами відповідних періодів і особливостями використання ґрунтової вологи.

Мінливість показників між системами удобрення переважно зменшувалася з глибиною. Коефіцієнт варіації у шарі 0–20 см становив 7,6 % на час сівби сої та пшениці ярої та 4,5 % – проса, тоді як у метровому шарі знижувався до 1,8–3,5 %, що характеризує вищу мінливість запасів продуктивної вологи у верхньому шарі ґрунту порівняно з глибшими шарами.

Аналіз даних за роками засвідчив істотну мінливість запасів продуктивної вологи залежно від погодних умов (додаток Б.1). Перед сівбою на час сівби сої у 2023 р. комплексне удобрення забезпечувало формування 156,9 мм продуктивної вологи у метровому шарі проти 142,4 мм на контролі. У 2024 р. його позитивний вплив простежувався майже в усіх шарах, тоді як у 2025 р. перевага зберігалася

лише у шарі 0–20 см – 33,6 проти 27,3 мм. Отже, дія комплексної системи органічного удобрення перед сівбою сої найпослідовніше проявлялася у верхньому шарі, а розподіл вологи в метровому профілі змінювався залежно від умов року.

На час сівби пшениці ярої комплексне удобрення забезпечувало формування найвищих запасів. У метровому шарі вони становили 161,5 мм у 2023 р., 174,5 мм у 2024 р. та 171,9 мм у 2025 р., перевищуючи контроль відповідно на 11,4; 17,1 і 13,4 мм, що вказує на найбільш стійку позитивну реакцію запасів продуктивної вологи саме на час сівби пшениці ярої.

За вирощування проса запаси продуктивної вологи змінювалися за роками без чітко вираженої тенденції. У метровому шарі на контролі вони зменшувалися зі 160,1 мм у 2023 р. до 128,5 мм у 2025 р., а за комплексного удобрення – зі 161,5 до 132,2 мм. Отже, запаси на час сівби проса визначалися насамперед погодними умовами, хоча за комплексного органічного удобрення переважно перевищували контрольні показники.

Узагальнення середньозважених даних по сівозміні підтвердило перевагу комплексної системи удобрення щодо формування запасів продуктивної вологи в ґрунті на початку вегетації культур (рис. 3.1).

На контролі запаси продуктивної вологи становили 28,6 мм у шарі 0–20 см, 71,7 мм у шарі 0–50 см і 149,6 мм у шарі 0–100 см. За використання сидерату й біопрепарату показники у верхній частині ґрунтового профілю були близькими, тоді як у метровому шарі біопрепарат забезпечував 154,0 мм проти 152,4 мм за сидерального удобрення.

За комплексного органічного удобрення середньозважені запаси підвищувалися до 33,3; 76,0 і 158,3 мм. Порівняно з контролем приріст становив відповідно 4,7; 4,3 і 8,7 мм, або 16,4; 6,0 і 5,8 %. Отже, поєднання сидерату та біопрепарату з побічною продукцією попередника забезпечувало більш послідовне збільшення запасів вологи порівняно з окремим застосуванням компонентів органічного удобрення.

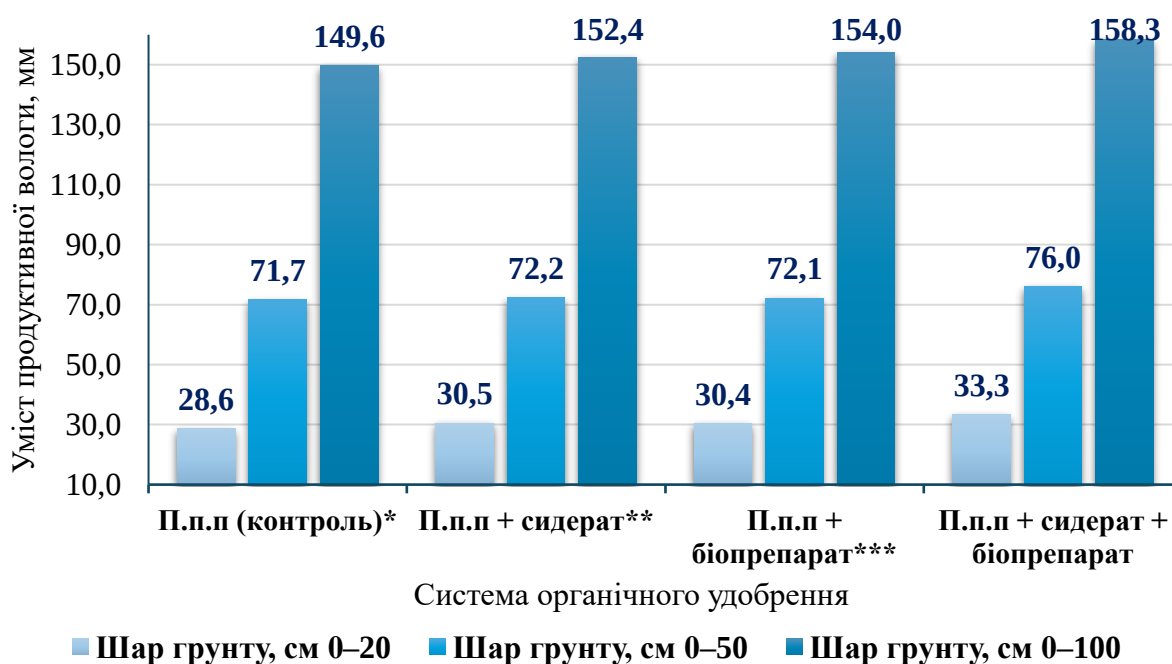


Рис. 3.1 Середньозважений по сівозміні вміст продуктивної вологи на час сівби культур, мм, за 2023–2025 рр.

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

На час збирання врожаю запаси продуктивної вологи істотно зменшувалися внаслідок використання води рослинами, фізичного випаровування та перерозподілу її у ґрунтовому профілі. Рівень залишкових запасів залежав від культури, початкового рівня зволоження, кількості опадів, тривалості вегетації та сформованої продуктивності (табл. 3.2).

На час збирання врожаю сої на контролі у шарах 0–20, 0–50 і 0–100 см залишалося відповідно 8,6; 17,4 і 43,6 мм продуктивної вологи. За окремого застосування сидерату та біопрепарату запаси у верхньому шарі підвищувалися до 9,8–10,0 мм, тоді як у метровому профілі залишалися близькими до контролю. За комплексного удобрення вони зростали до 13,4; 22,8 і 47,3 мм. Приріст до контролю становив відповідно 4,8; 5,4 і 3,7 мм, або 55,8; 31,0 і 8,5 %. Найбільші відносні відмінності між системами встановлено у 0–20 см шарі ґрунту.

На час збирання пшениці ярої на контрольному варіанті запаси продуктивної вологи становили 20,9; 36,1 і 58,4 мм відповідно у шарах ґрунту 0–20, 0–50 і 0–100 см.

Запаси продуктивної вологи в ґрунті на збирання врожаю, мм, середнє за 2023–2025 рр.

Культура сівозміни	Система органічного удобрення	Шар ґрунту, см		
		0–20	0–50	0–100
Соя	п.п.п (контроль)*	8,6	17,4	43,6
	п.п.п + сидерат**	9,8	19,9	43,9
	п.п.п + біопрепарат***	10,0	17,9	44,2
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	13,4	22,8	47,3
	<i>S</i>	2,0	2,4	1,7
	<i>V, %</i>	19,5	12,5	3,9
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	20,9	36,1	58,4
	п.п.п + сидерат	20,8	35,8	57,1
	п.п.п + біопрепарат	20,5	34,9	56,4
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	21,8	36,8	60,3
	<i>S</i>	0,5	0,8	1,7
	<i>V, %</i>	2,5	2,3	2,9
Просо	п.п.п (контроль)	11,4	25,7	47,0
	п.п.п + сидерат	10,9	22,7	47,9
	п.п.п + біопрепарат	10,6	25,3	45,5
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	14,8	30,6	50,7
	<i>S</i>	1,9	3,3	2,2
	<i>V, %</i>	16,2	12,5	4,5

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

За окремого використання сидерату або біопрепарату вони були дещо нижчими, а за комплексного удобрення підвищувалися до 21,8; 36,8 і 60,3 мм. Різниця з контролем не перевищувала 1,9 мм, а коефіцієнти варіації становили лише 2,3–2,9 %, що вказує на близький середній рівень залишкових запасів продуктивної вологи в ґрунті.

На час збирання проса на контрольному варіанті запаси продуктивної вологи становили 11,4; 25,7 і 47,0 мм відповідно у шарах ґрунту 0–20, 0–50 і 0–100 см. Окреме застосування сидерату й біопрепарату не сприяло збільшенню запасів продуктивної вологи на даний період, тоді як найвищі показники сформувалися за комплексного органічного удобрення – 14,8; 30,6 і 50,7 мм.

Приріст до контролю становив 3,4; 4,9 і 3,7 мм, або 29,8; 19,1 і 7,9 %, причому найбільше відносне збільшення встановлено у 0–20 см шарі ґрунту.

Аналіз річних даних засвідчив значну мінливість залишкових запасів продуктивної вологи в ґрунті (додаток Б.2). Після збирання сої у 2023 і 2024 рр. комплексна система забезпечувала в метровому шарі відповідно 71,0 і 29,3 мм продуктивної вологи проти 58,6 і 23,1 мм на контролі. У 2025 р. вона перевищувала контроль лише у верхньому шарі, тоді як у метровому профілі залишалося 41,7 мм проти 49,1 мм.

На час збирання пшениці ярої найвищі запаси продуктивної вологи у шарі ґрунту 0–100 см встановлено у 2023 р. – 121,5–128,7 мм залежно від системи удобрення. У 2024 р. вони знижувалися до 10,1–11,9 мм, а відмінності між системами удобрення були мінімальними. У 2025 р. комплексне удобрення забезпечувало 43,6 мм проти 34,7 мм на контролі.

Після збирання проса у 2023–2024 рр. чіткої переваги комплексного варіанта органічного удобрення в метровому шарі не встановлено. Найвиразніші відмінності сформувалися у 2025 р., коли за комплексного удобрення залишалося 44,7 мм продуктивної вологи проти 27,3 мм на контролі. Сидеральний і біологічний варіанти займали проміжне положення – відповідно 33,9 і 30,6 мм.

Середньозважені по сівозміні дані на час збирання також підтвердили перевагу комплексного удобрення (рис. 3.2). На контролі запаси продуктивної вологи становили 13,6; 26,4 і 49,7 мм залежно від шару. За окремого використання сидерату та біопрепарату вони практично не відрізнялися від контролю. За комплексного удобрення запаси підвищувалися до 16,6; 30,1 і 52,8 мм, що відповідало приросту 22,1; 14,0 і 6,2 %. Найбільше відносне перевищення контрольного показника встановлено у 0–20 см шарі ґрунту, тоді як у глибших шарах воно поступово зменшувалося.

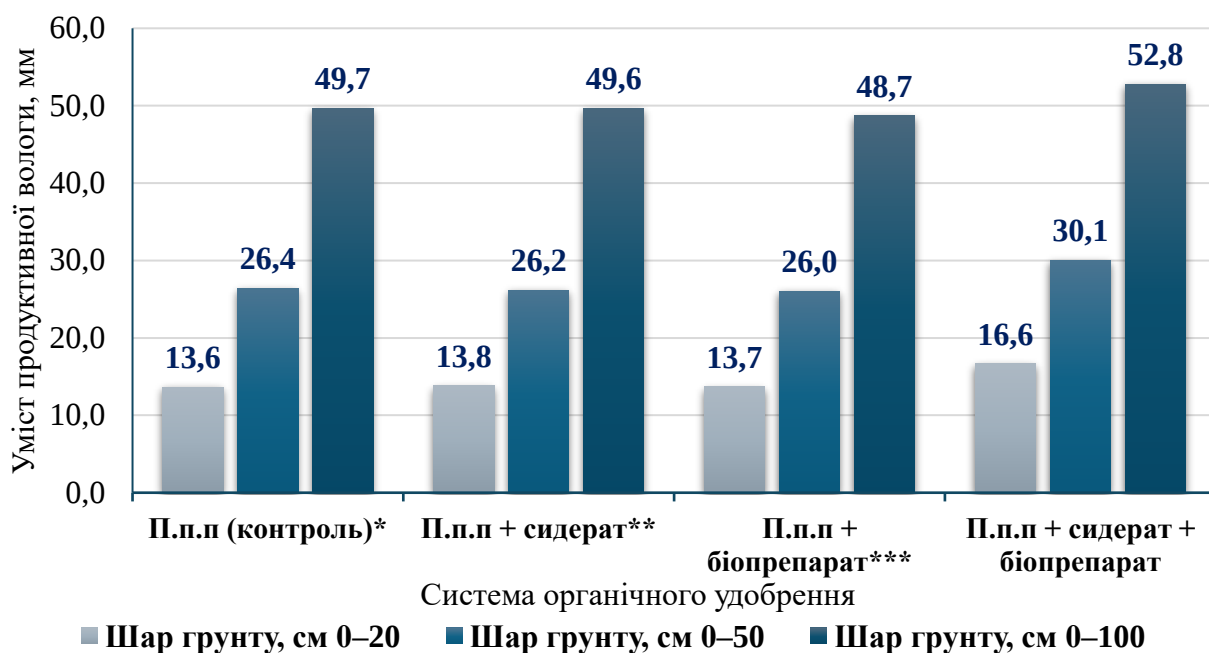


Рис. 3.2 Середньозважений по сівозміні вміст продуктивної вологи на час збирання врожаю, мм, за 2023–2025 рр.

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Оцінювання лише початкових (на час сівби) і залишкових (на час збирання) запасів продуктивної вологи в ґрунті не дає повної характеристики використання вологи культурами сівозміни, оскільки впродовж вегетаційного періоду водний баланс посівів поповнювався атмосферними опадами. Тому подальший аналіз проведено за показниками використаної ґрунтової вологи та витрат вологи на формування 1 т продукції (табл. 3.3).

У середньому за 2023–2025 рр. сумарні витрати вологи за вирощування сої на контролі становили 323,2 мм. За сидеральної системи удобрення вони не змінювалися, за внесення біопрепарату підвищувалися до 325,2 мм та до 325,9 мм за комплексної системи. Отже, різниця між контролем і комплексним варіантом становила лише 2,7 мм, або 0,8 %.

Водночас витрати вологи на формування 1 т насіння сої знижувалися з 2506 м³/т на контролі до 2020 м³/т за використання сидерату, 2007 м³/т – біопрепарату та 1743 м³/т – їх комплексного поєднання.

Вологозабезпеченість і водоспоживання культур сівозміни залежно від системи органічного удобрення, у середньому за 2023–2025 рр.

Система органічного удобрення	Витрати вологи з ґрунту, мм	Загальні витрати вологи, мм	Витрати вологи на формування 1 т ³ зерна/насіння, м
Соя			
п.п.п (контроль)*	104,9	323,2	2506
п.п.п + сидерат**	104,8	323,2	2020
п.п.п + біопрепарат***	106,8	325,2	2007
п.п.п + сидерат + біопрепарат	107,5	325,9	1743
<i>S</i>	1,4	1,4	318
<i>V, %</i>	1,3	0,4	15,4
Пшениця яра			
п.п.п (контроль)	96,9	313,4	1144
п.п.п + сидерат	106,2	322,8	972
п.п.п + біопрепарат	107,9	324,4	932
п.п.п + сидерат + біопрепарат	109,0	325,5	818
<i>S</i>	5,5	5,5	135
<i>V, %</i>	5,3	1,7	14,0
Просо			
п.п.п (контроль)	97,9	326,1	1279
п.п.п + сидерат	97,1	325,3	1056
п.п.п + біопрепарат	101,3	329,4	1033
п.п.п + сидерат + біопрепарат	100,0	328,2	932
<i>S</i>	1,9	1,9	146
<i>V, %</i>	1,9	0,6	13,6

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Зменшення відносно контролю за комплексної системи становило 763 м³/т, або 30,4 %. Отже, підвищення врожайності насіння відбувалося без істотного збільшення сумарного використання запасів ґрунтової вологи.

За вирощування пшениці ярої сумарні витрати вологи змінювалися від 313,4 мм на контролі до 325,5 мм за комплексного органічного удобрення. Водночас витрати вологи на формування 1 т зерна знижувалися з 1144 до 818 м³/т, або на 28,5 %. За сидерального та біологічного (внесення біопрепарату) варіантів удобрення він становив відповідно 972 і 932 м³/т. Отже, приріст

урожайності зерна пшениці ярої значно перевищував відносно збільшення витрат вологи з ґрунту.

За вирощування проса загальні витрати вологи становили 326,1 мм на контрольному варіанті та 328,2 мм за комплексного органічного удобрення, перевищуючи контроль лише на 2,1 мм, або 0,6 %. Витрати вологи на формування 1 т зерна водночас знижувалися з 1279 до 932 м³/т, або на 27,1 %. За сидерального й біологічного варіантів вони становили відповідно 1056 і 1033 м³/т.

Отже, для всіх культур зміни загальних витрат вологи між системами удобрення були порівняно невеликими, тоді як витрати вологи на формування одиниці вирощеної рослинницької продукції знижувалися істотно. Коефіцієнти варіації загальних витрат вологи з ґрунту становили лише 0,4–1,7 %, а витрат вологи на формування одиниці продукції – 13,6–15,4 %. Основний ефект удобрення проявлявся не у скороченні абсолютних витрат вологи, а в підвищенні продуктивності її використання.

Порівняння культур сівозміни показало, що найвищі витрати вологи на формування одиниці продукції характерні за вирощування сої – 1743–2506 м³/т залежно від системи удобрення. За вирощування пшениці ярої вони становили 818–1144 м³/т, проса – 932–1279 м³/т. Найменші витрати вологи на формування одиниці зерна встановлено у пшениці ярої, тоді як нижча врожайність насіння сої зумовлювала більші витрати вологи на формування 1 т насіння.

Відмінності сумарних витрат вологи за роками обумовлені різною кількістю атмосферних опадів і використанням ґрунтової вологи, тоді як зміни витрат вологи на формування одиницю продукції залежали також від урожайності досліджуваних культур сівозміни. (додатки В.1–В.3). У 2023 р. за період вегетації сої та проса випало понад 308 мм опадів, унаслідок чого їх сумарне водоспоживання досягало відповідно 389,2–397,4 і 378,5–388,5 мм. За вирощування пшениці ярої воно становило лише 277,4–291,1 мм. Комплексне удобрення сприяло зниженню витрат вологи на формування 1 т насіння сої на

21,7 %, зерна пшениці ярої та проса відповідно на 34,7 % і 12,4 % порівняно з контролем.

У 2024 р. за вегетаційний період сої та проса випало 134,5 мм опадів, пшениці ярої – 147,3 мм. За комплексного удобрення витрати вологи на формування 1 т насіння сої становили 1580 м³/т проти 2634 м³/т на контролі, пшениці ярої – 836 проти 983 м³/т, проса – 805 проти 1059 м³/т. Найбільше відносне підвищення продуктивності використання запасів ґрунтової вологи у цей рік встановлено за вирощування сої.

У 2025 р. найвищі сумарні витрати ґрунтової вологи відмічено за вирощування пшениці ярої – 370,1–377,5 мм. У посівах сої вони становили 317,6–322,5 мм та 329,5–343,2 мм у посівах проса. За комплексного удобрення витрати вологи на формування 1 т основної продукції знижувалися порівняно з контролем на 29,9 % за вирощування сої, 34,2 % – пшениці ярої та 45,7 % – проса. Найнижчий показник за весь період досліджень встановлено за вирощування пшениці ярої – 714 м³/т.

Особливо виразною була реакція рослин проса у 2025 р. За комплексного удобрення сумарні витрати запасів продуктивної вологи становили 329,5 мм і були на 13,7 мм меншими, ніж на контролі, тоді як витрати вологи на формування 1 т зерна культури знижувалися з 1845 до 1002 м³/т.

Узагальнення середньозважених показників по сівозміні підтвердило, що системи органічного удобрення значно сильніше впливали на продуктивність використання ґрунтової вологи, ніж на її сумарні витрати (рис. 3.3). На контролі було використано 99,9 мм ґрунтової вологи, сумарне водоспоживання становило 320,9 мм, а витрати вологи на формування 1 т основної продукції – 1643 м³/т.

За використання сидерату сумарні витрати вологи підвищувалися до 323,7 мм, біопрепарату – до 326,3 мм, а за комплексної системи – до 326,5 мм. Порівняно з контролем приріст за комплексного удобрення становив лише 5,6 мм, або 1,7 %. Водночас витрати вологи на формування 1 т основної продукції знижувалися до 1349 м³/т за використання сидерату, 1324 м³/т – біопрепарату та до 1164 м³/т за комплексної системи органічного удобрення.

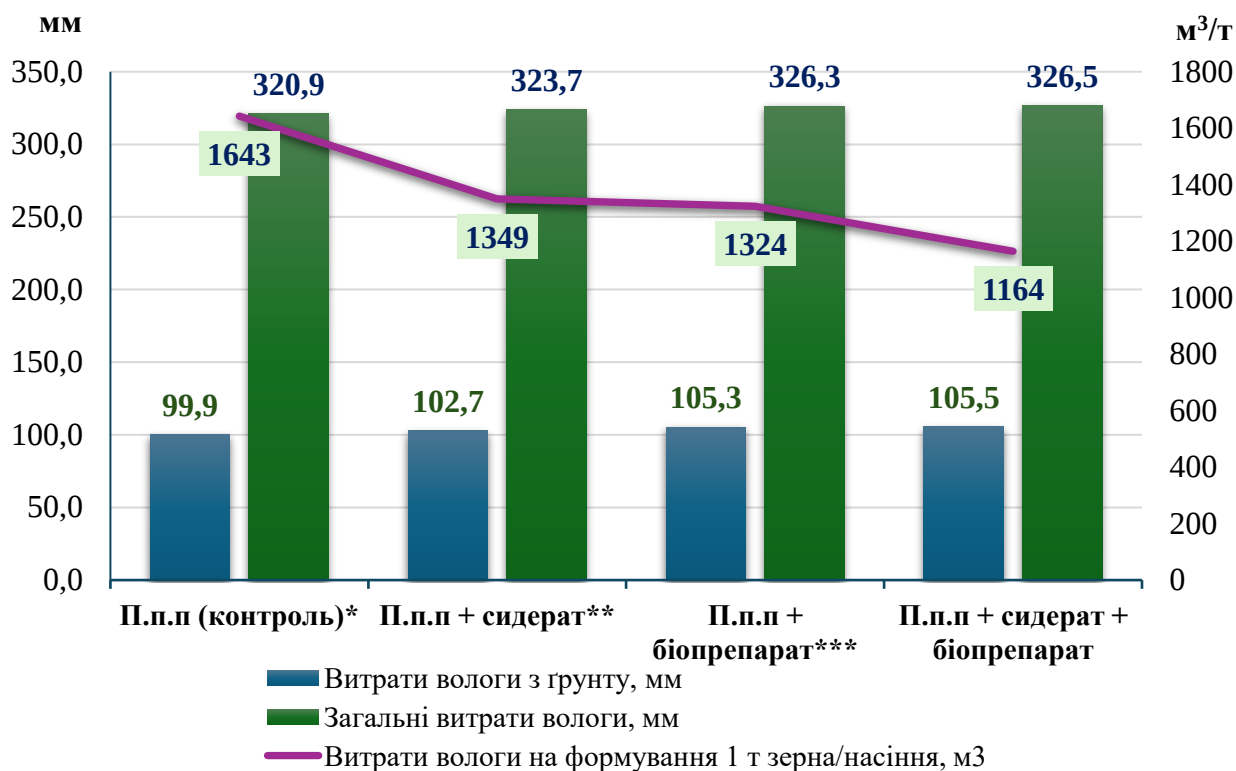


Рис. 3.3 Середньозважений рівень вологозабезпеченості і водоспоживання культур сівозміни, за 2023–2025 рр.

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Отже, за комплексного органічного удобрення середньозважені витрати вологи на формування 1 т основної продукції зменшувалися на 479 м³/т, або 29,2 %, порівняно з контролем. Зростання врожайності культур було істотнішим, ніж збільшення сумарного водоспоживання, унаслідок чого знижувалися витрати вологи на формування одиниці продукції.

Таким чином, водний режим чорнозему типового визначався насамперед гідротермічними умовами року та біологічними особливостями культур. Системи органічного удобрення меншою мірою впливали на сумарне водоспоживання, проте комплексне поєднання побічної продукції попередника, сидерату та біопрепарату забезпечувало найбільш стійке збільшення запасів продуктивної вологи та зниження витрат вологи на формування одиниці врожаю.

У середньому по сівозміні за комплексного удобрення запаси продуктивної вологи у метровому шарі перевищували контроль на 8,7 мм на час

сівби та на 3,1 мм на час збирання. Сумарні витрати води збільшувалися лише на 1,7 %, тоді як витрати води на формування одиниці врожаю зменшувалися на 29,2 %. Отже, основною перевагою комплексної системи органічного удобрення було підвищення ефективності використання запасів продуктивної води в ґрунті культурами короткоротаційної органічної сівозміни.

3.2. Поживний режим чорнозему типового залежно від систем органічного удобрення

Поживний режим ґрунту формується внаслідок надходження, трансформації, закріплення, вивільнення, поглинання рослинами та втрат елементів живлення. У чорноземі типовому значна частина азоту, фосфору й сірки пов'язана з органічною речовиною, а доступність поживних сполук залежить від інтенсивності мінералізації, реакції ґрунтового середовища, вологості, температури та потреби культур у елементах мінерального живлення. Тому значні загальні запаси елементів не завжди забезпечують їх достатнє надходження до рослин у критичні періоди вегетації.

В органічних системах землеробства основою регулювання поживного режиму є повернення рослинної фітомаси. Побічна продукція, кореневі рештки та сидеральна біомаса містять акумульовані рослинами елементи, які після розкладання частково повертаються до ґрунтового кругообігу. Швидкість їх вивільнення залежить від хімічного складу рослинної фітомаси: рештки з вузьким співвідношенням вуглецю й азоту розкладаються швидше, тоді як високий вміст целюлози та лігніну може спричиняти тимчасове зв'язування азоту мікроорганізмами.

Надходження органічної маси впливає також на гумусний стан ґрунту. У короткоротаційних сівозмінах баланс гумусу значною мірою визначається кількістю рослинних решток і системою удобрення [126]. Частина органічної речовини мінералізується з утворенням доступних форм елементів, а частина перетворюється на мікробні продукти, які можуть закріплюватися мінеральною

частиною ґрунту або у складі агрегатів [203; 213]. Біопрепарати здатні активізувати розкладання фітомаси та мобілізацію поживних сполук, проте їх дія залежить від наявності органічного субстрату, гідротермічних умов і взаємодії внесених мікроорганізмів з аборигенною мікробіотою.

Найбільш мінливим є азотний режим, оскільки мінеральні форми азоту швидко утворюються, поглинаються рослинами, іммобілізуються або втрачаються. За використання побічної продукції та сидератів важливим є співвідношення між мінералізацією органічних сполук, біологічною фіксацією і тимчасовим зв'язуванням азоту. Удобрення та обробіток можуть істотно змінювати його вміст і розподіл у ґрунтовому профілі [165].

Доступність фосфору залежить від його закріплення мінеральною частиною ґрунту, утворення малорозчинних сполук і мікробної мобілізації. Калій міститься у водорозчинній, обмінній та необмінній формах, співвідношення між якими визначається вологістю, гранулометричним складом, ємністю катіонного обміну та винесенням урожаєм. Тривале застосування добрив змінює не лише вміст доступних форм азоту, фосфору й калію, а й гумусованість та кислотно-основний стан ґрунту [5; 26; 88].

Сидеральні культури є додатковим джерелом органічної речовини та акумулятором елементів живлення. Вони поглинають поживні елементи з різних шарів ґрунту, зменшують їх втрати у міжвегетаційний період і після заробки і розкладання біомаси забезпечують повернення елементів живлення до ґрунту. Результативність сидерації залежить від виду культури, кількості біомаси та ґрунтово-кліматичних умов [202; 233].

У підрозділі проаналізовано надходження до ґрунту побічної продукції культур і сидеральної біомаси поживних посівів редьки олійної та їхню роль у формуванні вмісту та запасів гумусу, а також зміни забезпеченості чорнозему типового лужногідролізним азотом, рухомими сполуками фосфору та калію залежно від окремого та комплексного застосування компонентів системи органічного удобрення культур короткоротаційної сівозміни.

3.2.1 Особливості надходження рослинної фітомаси у ґрунт

У середньому за 2023–2025 рр. маса побічної продукції залежала від культури та системи органічного удобрення (табл. 3.4). За вирощування сої на контролі вона становила 2,27 т/га, за використання сидерату – 2,73 т/га, біопрепарату – 2,76 т/га, що перевищувало контроль відповідно на 20,2 і 21,5 %.

Таблиця 3.4

Маса побічної продукції культур короткоротаційної сівозміни залежно від системи органічного удобрення, т/га, за 2023–2025 рр.

Система удобрення*	Роки досліджень			Середнє за 2023-2025 рр.	Приріст до контролю	
	2023	2024	2025		т/га	%
Соя						
П.п.п* (контроль)	2,11	1,80	2,91	2,27	-	-
П.п.п. + сидерат (редька олійна)	2,91	2,11	3,18	2,73	0,46	20,2
П.п.п. + біопрепарат**	2,94	2,13	3,22	2,76	0,49	21,5
П.п.п + сидерат + біопрепарат	3,22	2,40	3,71	3,11	0,83	36,7
S	0,48	0,25	0,33	0,34	-	-
V, %	17,1	11,6	10,1	13,0	-	-
Пшениця яра						
П.п.п (контроль)	3,34	4,22	4,37	3,98	-	-
П.п.п. + сидерат (редька олійна)	3,89	4,41	4,78	4,36	0,38	9,7
П.п.п. + біопрепарат	3,95	4,50	4,99	4,48	0,51	12,7
П.п.п + сидерат + біопрепарат	4,15	4,90	5,39	4,81	0,84	21,1
S	0,35	0,29	0,43	0,35	-	-
V, %	9,1	6,4	8,7	8,0	-	-
Просо						
П.п.п (контроль)	4,57	4,49	4,54	4,54	-	-
П.п.п. + сидерат (редька олійна)	4,91	4,76	5,47	5,05	0,51	11,2
П.п.п. + біопрепарат	4,96	5,00	5,62	5,19	0,66	14,5
П.п.п + сидерат + біопрепарат	5,60	5,22	6,01	5,61	1,07	23,7
S	0,43	0,31	0,62	0,44	-	-
V, %	8,6	6,5	11,5	9,0	-	-

Примітка. *– побічна продукція попередника; ** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Встановлено, що за комплексного органічного удобрення показник зростав до 3,11 т/га, або на 0,83 т/га і 36,7 %, що було найбільшим відносним приростом серед культур сівозміни.

За вирощування пшениці ярої маса побічної продукції становила 3,98 т/га на контролі, 4,36 т/га за використання сидерату та 4,48 т/га на фоні застосування біопрепарату. Приріст становив відповідно 9,7 і 12,7 %. Комплексне удобрення забезпечувало вихід 4,81 т/га побічної продукції, перевищуючи контроль на 0,84 т/га, або 21,1 %. Упродовж 2023–2025 рр. показник зростав з 3,34 до 4,37 т/га на контролі та з 4,15 до 5,39 т/га за комплексної системи органічного удобрення.

Найбільший вихід побічної продукції формувало просо. На контролі її маса становила 4,54 т/га, за використання сидерату – 5,05 т/га, біопрепарату – 5,19 т/га, а за комплексного органічного удобрення – 5,61 т/га. Приріст до контролю за комплексної системи досягав 1,07 т/га, або 23,7 %, і був найбільшим в абсолютному вираженні. У 2025 р. за комплексного органічного удобрення маса побічної продукції проса досягала 6,01 т/га.

Отже, маса побічної продукції зростала в послідовності: соя, пшениця яра, просо. За окремого застосування біопрепарату вона дещо перевищувала показники сидеральної системи, тоді як найвищі значення формувалися за комплексного удобрення. Найвищу мінливість маси побічної продукції між системами удобрення встановлено за вирощування сої: коефіцієнт варіації становив 13,0 %, тоді як за вирощування пшениці ярої та проса — відповідно 8,0 і 9,0 %, що характеризує більш виражену диференціацію цього показника залежно від системи органічного удобрення.

Середньозважені у розрахунку на 1 га сівозмінної площі дані також засвідчили зростання маси побічної продукції за посилення системи органічного удобрення шляхом поєднання застосування на фоні побічної продукції попередника сидеральної маси пожнивного посіву редьки олійної та обробки посівів біологічним препаратом (рис. 3.4). У середньому за 2023–2025 рр. маса побічної продукції на контрольному варіанті становила 3,60 т/га. За системи із

сидератом вона збільшувалася до 4,05 т/га, за застосування біопрепарату – до 4,15 т/га.

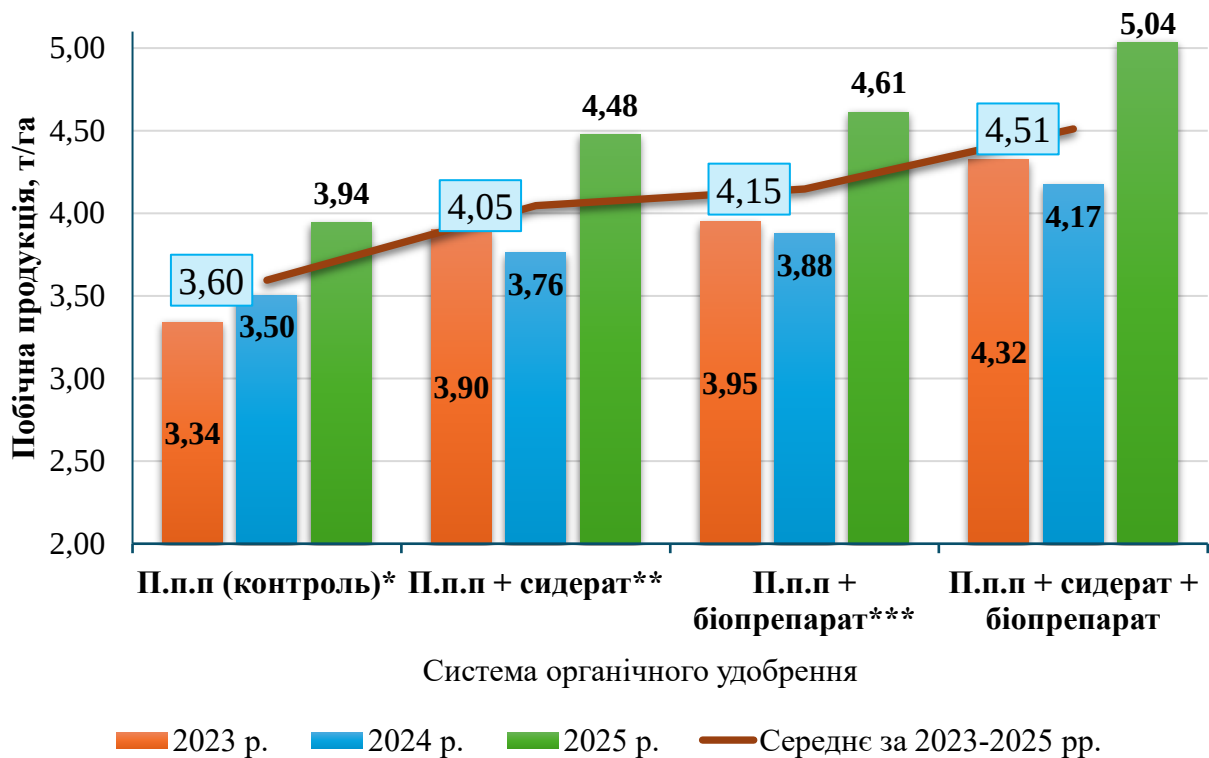


Рис. 3.4 Середньозважена маса побічної продукції культур короткоротаційної сівозміни залежно від системи органічного удобрення, т/га сівозмінної площі, за 2023–2025 рр.

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Порівняно з контролем приріст становив 0,45 т/га, або 12,5 %, за сидеральної системи та 0,55 т/га, або 15,3 % – за використання біопрепарату. За комплексного органічного удобрення середньозважена маса побічної продукції підвищувалася до 4,51 т/га сівозмінної площі, перевищуючи контроль на 0,91 т/га, або 25,3 %.

Найвищі середньозважені показники сформувалися у 2025 р. На контролі маса побічної продукції становила 3,94 т/га, за системи із сидератом – 4,48 т/га, біопрепаратом – 4,61 т/га, а за комплексного удобрення – 5,04 т/га. Комплексна

система органічного удобрення забезпечувала формування найбільшої кількості побічної продукції в кожному році досліджень.

Додатковим джерелом надходження органічної речовини була фітомаса пожнивної редьки олійної (табл. 3.5). Її продуктивність залежала від культури, після якої проводили пожнивний посів, погодних умов року та застосування біопрепарату.

Таблиця 3.5

Урожайність зеленої маси пожнивної редьки олійної залежно від системи органічного удобрення, т/га, за 2023–2025 рр.

Культура сівозміни	Система органічного удобрення	Роки досліджень			Середнє за 2023–2025 рр.
		2023	2023	2023	
Соя	п.п.п (контроль)*	–	–	–	–
	п.п.п + сидерат	5,71	6,92	7,63	6,75
	п.п.п + біопрепарат**	–	–	–	–
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	6,11	7,02	8,12	7,08
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	–	–	–	–
	п.п.п + сидерат	11,21	12,51	13,82	12,51
	п.п.п + біопрепарат	–	–	–	–
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	11,73	12,94	14,52	13,06
Просо	п.п.п (контроль)	–	–	–	–
	п.п.п + сидерат	4,93	7,21	7,93	6,69
	п.п.п + біопрепарат	–	–	–	–
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	5,34	7,82	8,05	7,07

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Найбільшу врожайність сирії маси редьки олійної сформовано після пшениці ярої. У середньому за 2023–2025 рр. за сидеральної системи вона становила 12,51 т/га, а за поєднання сидерату з біопрепаратом – 13,06 т/га. Застосування біопрепарату збільшувало показник на 0,55 т/га, або 4,4 %.

Вища продуктивність пожнивної редьки олійної після пшениці ярої, обумовлена більш ранім звільненням поля та тривалішим періодом осінньої

вегетації культури. За роками врожайність сирової маси підвищувалася з 11,21–11,73 т/га у 2023 р. до 13,82–14,52 т/га у 2025 р.

Після сої середня врожайність сирової маси редьки олійної становила 6,75 т/га за сидеральної системи та 7,08 т/га за її поєднання із біопрепаратом. Приріст від застосування біопрепарату становив 0,33 т/га, або 4,9 %.

Після проса відповідні показники становили 6,69 і 7,07 т/га. Застосування біопрепарату забезпечувало приріст 0,38 т/га, або 5,7 %. Таким чином, продуктивність пожнивної редьки олійної після сої та проса була близькою і майже вдвічі нижчою, ніж після пшениці ярої.

За всіх попередників найвищу врожайність зеленої маси редьки олійної встановлено у 2025 р. Після сої вона становила 7,63–8,12 т/га, після пшениці ярої – 13,82–14,52, після проса – 7,93–8,05 т/га, що свідчить про значний вплив погодних умов періоду пожнивної вегетації на формування сидеральної фітомаси.

Поєднання поживного посіву редьки олійної з біопрепаратом забезпечувало перевищення показників сидеральної системи після всіх культур і в кожному році досліджень. Водночас відмінності між попередниками були значно більшими, ніж приріст від застосування біопрепарату.

Отже, надходження рослинної фітомаси у ґрунт визначалося культурою сівозміни, системою органічного удобрення та погодними умовами року. Комплексне поєднання побічної продукції попередника, сидерату редьки олійної та біопрепарату забезпечувало найбільшу масу побічної продукції всіх культур.

У середньому по сівозміні за комплексного удобрення її кількість перевищувала контроль на 0,91 т/га, або 25,3 %. Найбільшу абсолютну масу побічної продукції формувало просо, тоді як найбільший відносний приріст встановлено за вирощування сої.

Серед поживних посівів найвищу продуктивність редьки олійної отримано після пшениці ярої. Застосування біопрепарату додатково підвищувало врожайність її сирової маси на 4,4–5,7 % залежно від попередника.

Збільшення кількості побічної продукції та сидеральної фітомаси розширювало потенційне надходження органічної речовини у ґрунт і створювало передумови для зміни гумусного стану чорнозему типового.

3.2.2 Гумусний стан чорнозему типового залежно від систем органічного удобрення

Гумусний стан ґрунту є інтегральною характеристикою його родючості, оскільки визначає запаси органічної речовини, пов'язаний із поживним режимом, структурним станом і біологічною активністю. Для його оцінювання визначали вміст гумусу та розраховували його запаси у шарах ґрунту 0–20 і 20–40 см. Уміст гумусу характеризує концентрацію органічної речовини, тоді як запаси відображають її кількість у межах відповідного шару ґрунту.

У середньому за 2023–2025 рр. показники гумусного стану чорнозему типового змінювалися залежно від культури, системи органічного удобрення та глибини відбору зразків (табл. 3.6).

За всіх варіантів уміст і запаси гумусу були вищими у шарі 0–20 см порівняно із шаром 20–40 см, що відображає переважне надходження рослинних решток і більшу інтенсивність біологічних процесів у верхній частині ґрунтового профілю.

Зокрема, за вирощування сої на контрольному варіанті вміст гумусу становив 3,05 % у шарі 0–20 см і 2,62 % у шарі 20–40 см. Застосування сидерату підвищувало ці показники відповідно до 3,11 і 2,69 %, а біопрепарату – до 3,12 і 2,71 %. За комплексного поєднання побічної продукції попередника, сидеральної маси редьки олійної та біопрепарату вміст гумусу підвищувався до 3,16 і 2,77 %.

Порівняно з контролем за комплексного органічного удобрення вміст гумусу збільшувався на 0,11 % у 0–20 см шарі і на 0,15 % у 20–40 см шарі. Запаси гумусу відповідно зростали із 73,2 до 75,9 т/га та із 65,5 до 69,2 т/га, тобто на 2,7 і 3,7 т/га.

**Уміст та запаси гумусу в чорноземі типовому в посівах культур
короткоротаційної сівозміни залежно від системи органічного удобрення, у
середньому за 2023–2025 рр.**

Культура сівозміни	Система органічного удобрення	Уміст гумусу, %		Запаси гумусу, т/га	
		0–20 см	20–40 см	0–20 см	20–40 см
Соя	п.п.п (контроль)*	3,05	2,62	73,2	65,5
	п.п.п + сидерат**	3,11	2,69	74,6	67,3
	п.п.п + біопрепарат***	3,12	2,71	74,8	67,8
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	3,16	2,77	75,9	69,2
	S	0,05	0,06	1,12	1,51
	V, %	1,50	2,24	1,50	2,24
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	3,16	2,69	75,8	67,3
	п.п.п + сидерат	3,20	2,75	76,9	68,8
	п.п.п + біопрепарат	3,24	2,81	77,7	70,3
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	3,27	2,85	78,4	71,3
	S	0,05	0,07	1,10	1,72
	V, %	1,42	2,48	1,42	2,48
Просо	п.п.п (контроль)	3,08	2,65	74,0	66,3
	п.п.п + сидерат	3,13	2,70	75,1	67,5
	п.п.п + біопрепарат	3,15	2,72	75,6	68,1
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	3,21	2,79	77,1	69,8
	S	0,05	0,06	1,29	1,46
	V, %	1,71	2,15	1,71	2,15

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

За вирощування пшениці ярої на контролі вміст гумусу становив 3,16 % у верхньому та 2,69 % у нижньому досліджуваному шарі. За використання сидерату показники підвищувалися до 3,20 і 2,75 %, а за застосування біопрепарату – до 3,24 і 2,81 %. Застосування комплексної системи органічного удобрення забезпечувало підвищенню вмісту ґрунту відповідно до 3,27 і 2,85%.

Запаси гумусу за вирощування пшениці ярої збільшувалися з 75,8 і 67,3 т/га на контролі до 78,4 і 71,3 т/га за комплексної системи органічного удобрення. Приріст становив 2,6 т/га у 0–20 см шарі і 4,0 т/га у 20–40 см шарі.

Саме за вирощування пшениці ярої відмічено формування найвищих показників вмісту й запасів гумусу серед культур короткоротаційної сівозміни.

За вирощування проса на контрольному варіанті вміст гумусу становив 3,08 і 2,65 %, а запаси – 74,0 і 66,3 т/га відповідно у 0–20 та 20–40 см шарі ґрунту. За використання сидерату вміст підвищувався до 3,13 і 2,70 %, біопрепарату – до 3,15 і 2,72 %.

За комплексної системи органічного удобрення вміст гумусу досягав 3,21 % у 0–20 см шарі та 2,79 % у 20–40 см шарі. Його запаси становили відповідно 77,1 і 69,8 т/га, перевищуючи контроль на 3,1 і 3,5 т/га. За вирощування проса встановлено найбільший абсолютний приріст запасів гумусу у верхньому 0–20 см шарі ґрунту.

Отже, комплексна система органічного удобрення забезпечувала формування найвищих показників гумусного стану за вирощування всіх культур. Окреме застосування біопрепарату переважно забезпечувало дещо вищі значення, ніж використання сидерату, особливо за вирощування пшениці ярої. Водночас найбільший ефект формувався за поєднання обох компонентів на фоні використання побічної продукції попередника.

За комплексного органічного удобрення відносний приріст умісту та запасів гумусу порівняно з контролем був більшим у шарі ґрунту 20–40 см. За вирощування сої вміст гумусу зростав на 3,6 % у верхньому 0–20 см і на 5,7 % у нижньому 20–40 см шарі ґрунту, пшениці ярої – відповідно на 3,5 і 5,9 %, проса – на 4,2 і 5,3 %. Подібну закономірність встановлено й за запасами гумусу.

Коефіцієнти варіації вмісту та запасів гумусу перебували в межах 1,42–2,48 % за вирощування пшениці ярої, 1,50–2,24 % – сої та 1,71–2,15 % – проса. Такі значення характеризують низький рівень варіювання показників і високу однорідність отриманих даних. У 20–40 см шарі ґрунту коефіцієнти варіації переважно були вищими, ніж у 0–20 см шарі, що вказує на відносно більшу диференціацію гумусного стану між системами органічного удобрення у нижньому 20–40 см шарі ґрунту.

Аналіз даних засвідчив варіювання вмісту гумусу за роками досліджень, проте загальне співвідношення між системами органічного удобрення зберігалось (додаток Г). У 2024 р. показники у 0–20 см шарі переважно були нижчими, ніж у 2023 та 2025 рр. У середньому по сівоzmіні на контролі вміст гумусу зменшувався з 3,17 % у 2023 р. до 2,95 % у 2024 р., а у 2025 р. становив 3,18 %. За комплексної системи органічного удобрення відповідні значення становили 3,26; 3,07 і 3,31 %.

У 20–40 см шарі ґрунту варіювання вмісту гумусу за роками було менш вираженим. У середньому по сівоzmіні на контрольному варіанті показник змінювався в межах 2,64–2,68 %, тоді як за комплексної системи органічного удобрення зростав із 2,78 % у 2023 р. до 2,81 % у 2024 р. та до 2,82 % у 2025 р. Незалежно від культури сівоzmіні та року досліджень, за комплексної системи органічного удобрення встановлено максимальні значення вмісту гумусу серед досліджуваних варіантів.

Зниження вмісту гумусу у верхньому 0–20 см шарі у 2024 р. характеризує мінливість показника за роками досліджень, і не змінює загальної закономірності впливу систем органічного удобрення. У всі роки досліджень уміст гумусу за використання сидерату, біопрепарату та їх комплексного поєднання перевищував відповідні показники на контрольному варіанті.

Узагальнення даних по сівоzmіні засвідчило підвищення вмісту гумусу в міру включення до системи удобрення сидерату, біопрепарату та їх комплексного поєднання з побічною продукцією попередника (рис. 3.5).

У 0–20 см шарі ґрунту середньозважений уміст гумусу зростав із 3,10 % на контролі до 3,15 % за використання сидерату, 3,17 % – біопрепарату та до 3,21 % – за їх комплексного поєднання з побічною продукцією попередника.

У 20–40 см шарі відповідні значення становили 2,65; 2,71; 2,75 і 2,80 %. За комплексної системи органічного удобрення відмічено збільшення вмісту гумусу порівняно з контролем на 0,11 % у 0–20 см шарі та на 0,15 % у 20–40 см шарі ґрунту.

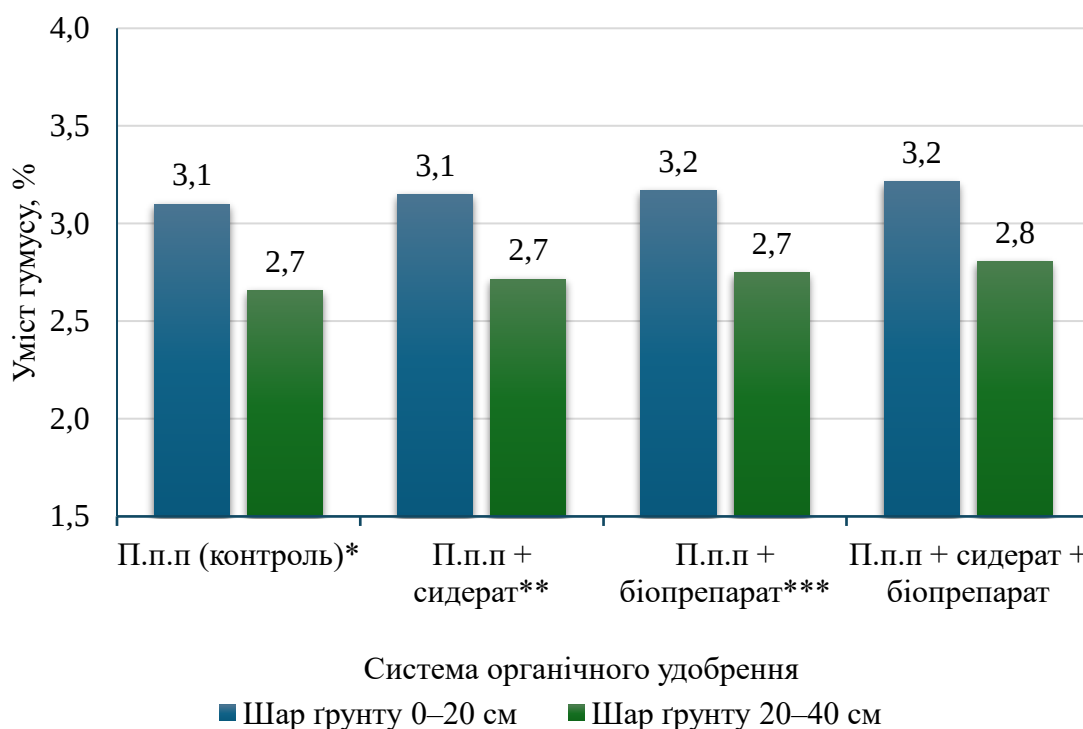


Рис. 3.5 Уміст гумусу в чорноземі типовому залежно від системи органічного удобрення, %, у по сівозміні середньому за 2023–2025 рр.

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Зміни запасів гумусу за роками загалом повторювали динаміку його вмісту (додаток Д). Найнижчі запаси у шарі 0–20 см переважно встановлено у 2024 р., тоді як у 2025 р. вони підвищувалися. Незалежно від року й культури найвищі значення формувалися за комплексної системи органічного удобрення.

У середньому по сівозміні запаси гумусу у шарі 0–20 см становили 74,3 т/га на контролі, 75,5 т/га за використання сидерату, 76,0 т/га за застосування біопрепарату та 77,1 т/га за комплексної системи органічного удобрення (рис. 3.6), приріст за якої становив 2,8 т/га, або 3,8 %.

У 20–40 см шарі запаси гумусу підвищувалися із 66,4 т/га на контрольному варіанті досліду до 67,9 т/га за сидеральної системи, 68,7 т/га за використання біопрепарату та 70,1 т/га за комплексної системи органічного удобрення. Перевищення контрольного показника становило 3,7 т/га, або 5,6 %.

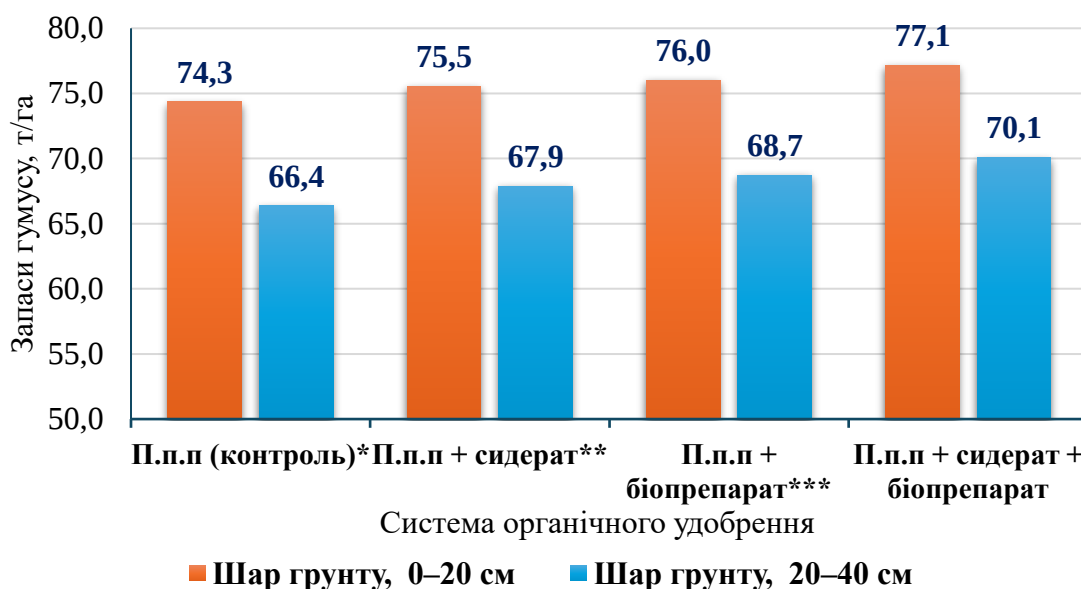


Рис. 3.6 Запаси гумусу в чорноземі типовому залежно від системи органічного удобрення, т/га, у середньому по сівозміні за 2023–2025 рр.

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Отже, комплексна система органічного удобрення культур короткоротаційної сівозміни забезпечувала найвищі показники вмісту та запасів гумусу в обох досліджуваних шарах чорнозему типового. Окреме застосування сидерату та біопрепарату забезпечувало проміжні значення вмісту й запасів гумусу, причому за використання біопрепарату вони були вищими, ніж за сидеральної системи удобрення.

Одержані результати свідчать, що на формування вмісту та запасів гумусу в чорноземі типовому впливала кількість рослинної фітомаси, яка надходила до ґрунту за різних систем органічного удобрення. Комплексна система органічного удобрення забезпечувала найбільшу кількість побічної продукції культур і додаткове надходження фітомаси пожнивної редьки олійної. Збільшення кількості органічної сировини створювало сприятливіші передумови для її гуміфікації та підтримання гумусного стану чорнозему типового.

3.2.3 Уміст основних елементів живлення в ґрунті залежно від застосування органічного удобрення

Поживний режим ґрунту формується внаслідок взаємодії процесів надходження, трансформації, міграції та акумуляції сполук елементів живлення, а також їх поглинання рослинами. За органічних систем удобрення їхня спрямованість залежить не лише від кількості поживних решток, які надходять із рослинною фітомасою, а й від інтенсивності її розкладання, біологічної активності ґрунту та потреб культур у елементах живлення впродовж вегетації. Тому оцінювання азотного, фосфорного й калійного режимів проводили з урахуванням культури сівозміни, системи органічного удобрення, шару ґрунту, року та строку визначення.

За результатами досліджень встановлено чітку залежність умісту лужногідролізного азоту від системи органічного удобрення. У посівах усіх культур уміст лужногідролізного азоту зростав у міру включення до системи органічного удобрення сидерату, біопрепарату та їх комплексного поєднання з побічною продукцією попередника (табл. 3.7). Найвищі значення відмічено у 0–20 см шарі ґрунту, тоді як відносний приріст за органічних систем переважно характерний для 20–40 см шару ґрунту.

За вирощування сої у 0–20 см шарі вміст лужногідролізного азоту зростав зі 114,3 мг/кг на контролі до 121,0 мг/кг за використання сидерату, 123,2 мг/кг на фоні внесення біопрепарату та до 125,5 мг/кг за комплексної системи органічного удобрення. Максимальний приріст становив 11,2 мг/кг, або 9,8 %. У 20–40 см шарі ґрунту за комплексної системи органічного удобрення вміст лужногідролізного азоту становив 106,4 мг/кг, що перевищувало вміст на контрольному варіанті на 21,5 мг/кг, або 25,3 %.

Таблиця 3.7

Уміст лужногідролізного азоту в чорноземі типовому залежно від системи органічного удобрення, мг/кг, за 2023–2025 рр.

Культура сівозміни	Система органічного удобрення	2023 р.		2024 р.		2025 р.		Середнє за 2023– 2025 рр.	
		0–20 см	20–40см	0–20 см	20–40см	0–20 см	20–40см	0–20 см	20–40см
Соя	п.п.п (контроль)*	103,6	91,0	113,4	78,4	126,0	85,4	114,3	84,9
	п.п.п + сидерат**	113,4	100,8	120,4	84,0	129,3	105,0	121,0	96,6
	п.п.п + біопрепарат***	115,6	103,2	122,5	88,1	131,6	110,1	123,2	100,5
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	119,0	106,4	124,6	95,2	133,0	117,6	125,5	106,4
	S	6,6	6,6	4,9	7,1	3,1	13,8	4,8	9,1
	V, %	5,9	6,6	4,0	8,2	2,4	13,2	4,0	9,3
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	116,2	103,6	116,2	89,6	110,1	82,6	114,2	91,9
	п.п.п + сидерат	125,3	110,4	121,8	95,2	114,8	89,6	120,6	98,4
	п.п.п + біопрепарат	127,4	114,1	122,9	96,3	115,4	91,3	121,9	100,6
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	131,6	117,6	124,6	98,0	120,3	98,0	125,5	104,5
	S	6,5	6,0	3,6	3,6	4,2	6,3	4,7	5,3
	V, %	5,2	5,4	3,0	3,8	3,6	7,0	3,9	5,3
Просо	п.п.п (контроль)	107,8	82,6	119,0	82,6	111,3	86,8	112,7	84,0
	п.п.п + сидерат	110,5	88,3	128,8	107,8	116,2	89,6	118,5	95,2
	п.п.п + біопрепарат	113,4	89,6	135,6	114,2	117,3	90,4	122,1	98,1
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	114,8	92,4	149,8	126,0	121,2	95,2	128,6	104,5
	S	3,1	4,1	12,9	18,3	4,1	3,5	6,7	8,6
	V, %	2,8	4,7	9,7	17,0	3,5	3,9	5,5	9,0

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Подібну закономірність відмічено за вирощування пшениці ярої. У 0–20 см шарі вміст азоту зростав зі 114,2 до 125,5 мг/кг, або на 9,9 %, а у 20–40 см шарі – із 91,9 до 104,5 мг/кг, або на 13,7 %. За вирощування пшениці ярої підвищення вмісту лужногідролізного азоту встановлено в обох шарах ґрунту, однак відмінності між системами органічного удобрення були менш істотними, ніж у посівах сої.

За вирощування проса найбільший приріст умісту лужногідролізного азоту у 0–20 см шарі встановлено за комплексної системи органічного удобрення – зі 112,7 до 128,6 мг/кг, або на 15,9 мг/кг і 14,1 %. У 20–40 см шарі показник підвищувався з 84,0 до 104,5 мг/кг, що перевищувало контроль на 20,5 мг/кг, або 24,4 %.

Узагальнення даних по сівозміні засвідчило підвищення вмісту лужногідролізного азоту в міру включення до системи удобрення додаткових органічних компонентів (рис. 3.7).

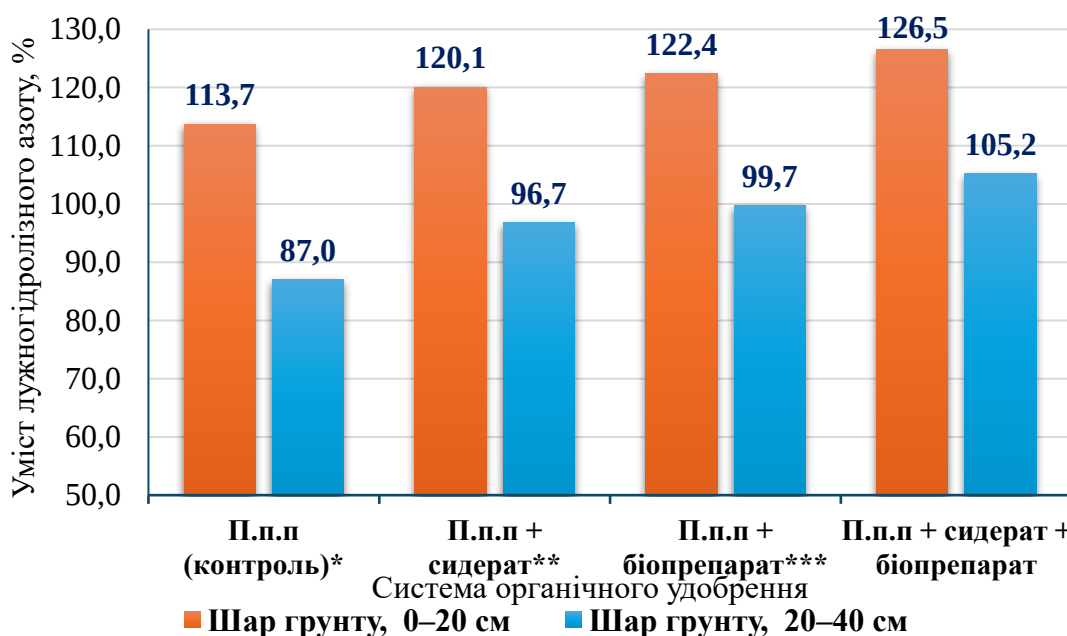


Рис. 3.7 Уміст лужногідролізного азоту в чорноземі типовому залежно від системи органічного удобрення, мг/кг ґрунту, у середньому по сівозміні за 2023–2025 рр. (на час сівби культур сівозміни)

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

У 0–20 см шарі ґрунту середньозважений показник зростав зі 113,7 мг/кг на контролі до 120,1 мг/кг за використання сидерату, 122,4 мг/кг – біопрепарату та до 126,5 мг/кг за їх комплексного поєднання. За комплексної системи органічного удобрення перевищення вмісту азоту порівняно до контрольного варіанту становило 12,8 мг/кг, або 11,3 %. У 20–40 см шарі уміст азоту збільшувався відповідно з 87,0 до 96,7, 99,7 та 105,2 мг/кг за максимального приросту за комплексної системи органічного удобрення – 18,2 мг/кг, або 20,9 %.

Варіювання показника за роками залежало від культури. За вирощування сої у 0–20 см шарі вміст лужногідролізного азоту впродовж 2023–2025 рр. зростав на контролі зі 103,6 до 126,0 мг/кг, а за комплексної систем органічного удобрення з 119,0 до 133,0 мг/кг. У посівах пшениці ярої встановлено його зниження за роками, тоді як за вирощування проса максимальні значення отримано у 2024 р. – 149,8 і 126,0 мг/кг у 0–20 та 20–40 см шарах відповідно. Незалежно від культури й року досліджень найвищі показники формувалися за комплексної системи органічного удобрення.

Коефіцієнти варіації вмісту лужногідролізного азоту становили 4,0–9,3 % за вирощування сої, 3,9–5,3 % – пшениці ярої та 5,5–9,0 % – проса, що характеризує низький рівень варіювання даних. У 20–40 см шарі за вирощування сої та проса значення коефіцієнта варіації були вищими, що свідчить про більшу диференціацію азотного режиму між системами органічного удобрення.

Інший характер змін встановлено для рухомих сполук фосфору (табл. 3.8). На відміну від лужногідролізного азоту, їх уміст не підвищувався закономірно зі збільшенням кількості органічних компонентів у системі удобрення, а залежав від культури сівозміни, шару ґрунту та строку визначення.

За вирощування сої на час сівби у 0–20 см шарі вміст сполук рухомого фосфору варіював у межах 295,2–305,8 мг/кг. Максимальне значення за комплексної системи органічного удобрення перевищувало контроль на 8,0 мг/кг, або 2,7 %. У 20–40 см шарі, навпаки, показник знижувався з 264,9 мг/кг на контролі до 229,8 мг/кг за комплексної системи удобрення.

Уміст сполук рухомого фосфору в чорноземі типовому залежно від системи органічного удобрення, мг/кг, у середньому по сівозміні за 2023–2025 рр.

Культура сівозміни	Система органічного удобрення	На час сівби		На час збирання	
		0–20 см	20–40 см	0–20 см	20–40 см
Соя	п.п.п (контроль)*	297,8	264,9	271,3	224,2
	п.п.п + сидерат**	298,4	254,3	286,3	221,9
	п.п.п + біопрепарат***	295,2	240,6	281,6	223,9
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	305,8	229,8	277,0	217,3
	S	4,6	15,4	6,4	3,2
	V, %	1,5	6,2	2,3	1,4
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	312,5	285,7	271,7	241,5
	п.п.п + сидерат	297,5	275,8	268,4	232,9
	п.п.п + біопрепарат	284,3	267,4	262,2	233,4
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	276,7	263,0	255,6	222,8
	S	15,7	10,0	7,1	7,7
	V, %	5,4	3,7	2,7	3,3
Просо	п.п.п (контроль)	293,1	262,3	260,4	234,0
	п.п.п + сидерат	298,6	257,0	250,8	236,7
	п.п.п + біопрепарат	276,9	249,3	244,3	227,1
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	262,8	240,5	234,9	222,0
	S	16,2	9,5	10,8	6,7
	V, %	5,7	3,8	4,3	2,9

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

На час збирання у 0–20 см шарі ґрунту вміст рухомого фосфору становив 271,3 мг/кг на контролі, 286,3 мг/кг за використання сидерату, 281,6 мг/кг – біопрепарату та 277,0 мг/кг за комплексної системи органічного з максимальними значеннями за сидеральної системи удобрення. У 20–40 см шарі відмінності між варіантами були менш істотними, вміст сполук рухомого фосфору змінювався від 224,2 мг/кг на контролі до 217,3 мг/кг за комплексної системи органічного удобрення.

За вирощування пшениці ярої встановлено тенденцію до зменшення вмісту рухомих сполук фосфору в ряду: контроль, сидеральна система, застосування біопрепарату та комплексне органічне удобрення. На час сівби у 0–20 см шарі показник зменшувався з 312,5 до 276,7 мг/кг, або на 11,5 %, у 20–40 см шарі – з

285,7 до 263,0 мг/кг, або на 7,9 %. На час збирання за комплексної системи органічного удобрення його вміст був нижчим від контролю відповідно на 16,1 і 18,7 мг/кг.

Подібну закономірність відмічено за вирощування проса. На час сівби у 0–20 см шарі вміст сполук рухомого фосфору становив 293,1 мг/кг на контролі, 298,6 мг/кг за сидеральної системи та знижувався до 262,8 мг/кг за комплексної системи органічного удобрення. У 20–40 см шарі показник зменшувався з 262,3 до 240,5 мг/кг. На час збирання за комплексної системи органічного удобрення порівняно з контролем уміст рухомих сполук фосфору знижувався з 260,4 до 234,9 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту та з 234,0 до 222,0 мг/кг у 20–40 см шарі ґрунту.

Аналіз даних за роками засвідчив залежність умісту рухомих сполук фосфору від року досліджень і строку визначення (додаток Е). Водночас упродовж вегетації переважала тенденція до зниження показника. Так, за вирощування пшениці ярої на контрольному варіанті у 0–20 см шарі ґрунту вміст сполук рухомого фосфору від сівби до збирання зменшувався у 2023 р. з 325,0 до 280,0 мг/кг, у 2024 р. – з 300,0 до 280,0 мг/кг та у 2025 р. – з 312,5 до 255,0 мг/кг. За комплексної системи органічного удобрення відповідне зниження становило 285,0–248,8; 275,0–260,0 і 270,0–258,0 мг/кг. Аналогічну тенденцію відмічено за вирощування проса. Зменшення вмісту рухомих сполук фосфору наприкінці вегетації свідчить про їх інтенсивне використання рослинами у процесі формування врожаю.

Коефіцієнти варіації середніх показників умісту сполук рухомого фосфору перебували в межах 1,4–6,2 %, що характеризує низький рівень варіювання та достатню однорідність отриманих даних. Найбільшу варіабельність показника між системами органічного удобрення встановлено у 20–40 см шарі на час сівби сої та у 0–20 см шарі на час сівби пшениці ярої та проса.

Уміст рухомих сполук калію також характеризувався залежністю від культури, шару ґрунту та фази вегетації (табл. 3.9). Сезонна динаміка калійного режиму характеризувалася більшою амплітудою зміни показника порівняно з

вмістом рухомих сполук фосфору, що характеризувався ширшим діапазоном сезонного зменшення вмісту рухомих сполук калію від сівби до збирання культур, що свідчить про інтенсивне використання калію культурами в процесі формування врожаю.

Таблиця 3.9

Уміст сполук рухомого калію в чорноземі типовому залежно від системи органічного удобрення, мг/кг, у середньому по сівоzmіні за 2023–2025 рр.

Культура сівоzmіні	Система органічного удобрення	На час сівби		На час збирання	
		0–20 см	20–40 см	0–20 см	20–40 см
Соя	п.п.п (контроль)*	276,7	224,2	200,9	106,3
	п.п.п + сидерат**	267,9	218,2	196,8	103,8
	п.п.п + біопрепарат***	260,7	210,5	189,9	105,0
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	258,3	203,3	206,3	111,3
	S	8,3	9,1	6,9	3,3
	V, %	3,1	4,2	3,5	3,1
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	252,5	197,7	208,5	138,8
	п.п.п + сидерат	262,5	207,5	202,4	134,8
	п.п.п + біопрепарат	253,6	209,6	197,0	128,2
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	256,2	213,6	195,5	134,4
	S	4,5	6,7	5,9	4,3
	V, %	1,7	3,3	2,9	3,2
Просо	п.п.п (контроль)	267,7	170,0	179,2	123,1
	п.п.п + сидерат	258,4	173,2	168,0	121,1
	п.п.п + біопрепарат	245,4	166,0	165,2	117,6
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	257,9	169,2	159,2	110,5
	S	9,2	3,0	8,4	5,5
	V, %	3,6	1,7	5,0	4,7

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

За вирощування сої на час сівби у 0–20 см шарі вміст сполук рухомого калію знижувався з 276,7 мг/кг на контролі до 258,3 мг/кг за комплексної системи органічного удобрення, а у 20–40 см шарі з 224,2 до 203,3 мг/кг. На час збирання за комплексної системи органічного удобрення встановлено найвищий вміст рухомих сполук калію: 206,3 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту та 111,3 мг/кг у

20–40 см шарі. Відповідні значення перевищували контроль на 5,4 і 5,0 мг/кг, що свідчить про сприятливіший калійний режим ґрунту наприкінці вегетації сої.

За вирощування пшениці ярої на час сівби максимальний вміст калію у 0–20 см шарі відмічено за використання сидерату – 262,5 мг/кг та 213,6 мг/кг у 20–40 см шарі за комплексної системи органічного удобрення. На час збирання спостерігалось зниження показників за всіх варіантів органічного удобрення. У верхньому 0–20 см шарі ґрунту вміст сполук рухомого калію становив 208,5 мг/кг на контролі та 195,5 мг/кг за комплексної системи органічного удобрення та 138,8 і 134,4 мг/кг відповідно у 20–40 см шарі ґрунту.

За вирощування проса на час збирання встановлено чітку тенденцію до зменшення вмісту сполук рухомого калію зі збільшенням кількості компонентів системи органічного удобрення. У 0–20 см шарі показник знижувався зі 179,2 мг/кг на контролі до 168,0 мг/кг за використання сидерату, до 165,2 мг/кг – біопрепарату та до 159,2 мг/кг за комплексної системи органічного удобрення. У 20–40 см шарі відповідні значення становили 123,1; 121,1; 117,6 і 110,5 мг/кг. Зниження вмісту рухомих сполук калію в ґрунті на час збирання за органічних систем удобрення пов'язане з інтенсивнішим поглинанням елемента на формування врожаю основної та побічної продукції.

Аналіз даних за роками засвідчив значне варіювання калійного режиму за роками досліджень (додаток Ж). Найвищі показники на час сівби сої переважно встановлено у 2025 р., тоді як за вирощування пшениці ярої вміст сполук рухомого калію знижувався від 2023 до 2025 р. У посівах проса підвищені показники на час сівби відзначено у 2024 р. Незалежно від характеру річної динаміки на час збирання вміст сполук рухомого калію закономірно знижувався порівняно з вихідними показниками встановленими на час сівби культур короткоротаційної сівозміни, особливо у 20–40 см шарі ґрунту.

Коефіцієнти варіації вмісту сполук рухомого калію перебували в межах 1,7–5,0 %, що свідчить про низький рівень варіювання середніх показників. Найнижчі значення коефіцієнта варіації встановлено у 0–20 см шарі ґрунту на час сівби пшениці ярої та у 20–40 см шарі на час сівби проса.

Отже, вплив системи органічного удобрення характеризувався неоднаковою спрямованістю зміни азотного, фосфорного та калійного режимів чорнозему типового. Для лужногідролізного азоту встановлено стійке підвищення вмісту за використання сидерату, біопрепарату та особливо їх комплексного поєднання з побічною продукцією попередника. Формування фосфорного й калійного режимів не мало чітко вираженої закономірності і визначалося співвідношенням між рівнем мобілізації поживних сполук, їх поглинанням культурами та залишковим умістом у ґрунті на час збирання врожаю культур. Зниження вмісту рухомих сполук фосфору й калію на час збирання за окремими органічними системами удобрення відбувалося на фоні формування більшої рослинної фітомаси, що вказує на активне залучення даних елементів живлення рослин до продукційних процесів.

3.3 Реакція ґрунтового розчину чорнозему типового залежно від систем органічного удобрення

Реакція ґрунтового розчину є важливим показником родючості, оскільки визначає доступність елементів живлення, активність мікроорганізмів, перебіг процесів гумусоутворення та рухомість потенційно токсичних сполук. Для більшості польових культур найсприятливішою є слабнокисла або близька до нейтральної реакція. Відхилення від цього діапазону може обмежувати засвоєння фосфору, кальцію, магнію й молібдену, підвищувати рухомість алюмінію та важких металів, а також послаблювати нітрифікацію і розкладання рослинних решток.

Чорнозем типовий характеризується значною ємністю катіонного обміну та насиченістю основами, однак тривале сільськогосподарське використання може змінювати його кислотно-основний стан. Підкисленню сприяють винесення кальцію і магнію врожаєм, вилуговування основ, нітрифікація та мінералізація азотовмісних сполук. Тому поряд із рН ґрунтового розчину

важливо визначати гідролітичну кислотність, суму увібраних основ і ступінь насичення ними ґрунтового вбирного комплексу [5; 198].

Напря́м впливу органічних речовин на реакцію ґрунту залежить від їх складу та інтенсивності трансформації. Під час їх розкладання утворюються органічні кислоти й вуглекислий газ, що здатні тимчасово знижувати рН. Водночас рослинна біомаса повертає до ґрунту кальцій, магній і калій, а гумусові сполуки підвищують буферність та ємність катіонного обміну. Напря́м змін залежить від складу й кількості рослинної біомаси, інтенсивності її розкладання, вологості та вихідної кислотності ґрунту.

Сидеральна біомаса швидше залучається до мікробної трансформації, ніж побічна продукція (солома зернових колосових та листостебельна маса зернобобових культур), тому може прискорювати вивільнення катіонів-основ і водночас активізувати процеси, що сприяють підвищенню кислотності, пов'язані з мінералізацією та нітрифікацією. Біопрепарати опосередковано впливають на реакцію ґрунтового середовища через зміну інтенсивності розкладання рослинної біомаси. Отже, сукупність показників кислотності та насичення основами за комплексного застосування рослинної біомаси та мікроорганізмів необхідно оцінювати експериментально.

Результати тривалих досліджень у Лісостепу свідчать, що системи удобрення поступово змінюють фізико-хімічні властивості ґрунту, тому найбільш інформативним є одночасне оцінювання рН, кислотності та вмісту обмінних основ [5; 88]. Підтримання сприятливого кислотно-основного режиму є необхідною умовою ефективного використання елементів живлення та відтворення родючості ґрунту [35; 198].

Оцінювання реакції ґрунтового розчину проводили за величиною рН сольової витяжки у шарах ґрунту 0–20 і 20–40 см.

У середньому за 2023–2025 рр. встановлено залежність реакції ґрунтового розчину від культури сівозміни, системи органічного удобрення та глибини відбору зразків (табл. 3.10). За вирощування всіх культур застосування у системі удобрення сидеральної маси пожнивного посіву редьки олійної та біопрепарату

Таблиця 3.10

Реакція ґрунтового розчину в чорноземі типовому залежно від системи органічного удобрення, рН_{KCl}, за 2023–2025 рр.

Культура сівозміни	Система органічного удобрення	2023 р.		2024 р.		2025 р.		Середнє за 2023– 2025 рр.	
		0–20 см	20–40см	0–20 см	20–40см	0–20 см	20–40см	0–20 см	20–40см
Соя	п.п.п (контроль)*	5,4	5,2	5,5	5,4	6,2	6,0	5,7	5,5
	п.п.п + сидерат**	5,7	5,3	5,8	5,5	6,4	6,1	6,0	5,6
	п.п.п + біопрепарат***	5,8	5,5	5,9	5,6	6,6	6,1	6,1	5,7
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	6,1	5,7	6,2	5,7	6,9	6,2	6,4	5,9
	S	0,29	0,22	0,29	0,13	0,30	0,08	0,29	0,14
	V, %	5,0	4,1	4,9	2,3	4,6	1,3	4,8	2,5
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	5,6	5,5	5,5	5,4	5,7	5,6	5,6	5,5
	п.п.п + сидерат	5,7	5,6	5,6	5,4	5,7	5,6	5,7	5,5
	п.п.п + біопрепарат	5,8	5,7	5,7	5,6	6,5	5,9	6,0	5,7
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	6,0	5,9	5,8	5,7	6,5	6,0	6,1	5,9
	S	0,17	0,17	0,13	0,15	0,46	0,21	0,25	0,17
	V, %	3,0	3,0	2,3	2,7	7,6	3,6	4,2	3,1
Просо	п.п.п (контроль)	5,9	5,1	5,6	5,5	5,6	5,5	5,7	5,4
	п.п.п + сидерат	5,9	5,6	6,1	5,6	5,7	5,6	5,9	5,6
	п.п.п + біопрепарат	6,0	5,8	6,2	6,0	5,8	5,6	6,0	5,8
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	6,1	5,9	6,5	6,1	5,8	5,7	6,1	5,9
	S	0,10	0,36	0,37	0,29	0,10	0,08	0,18	0,24
	V, %	1,6	6,4	6,1	5,1	1,7	1,5	3,1	4,2

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

сприяло підвищенню рН, тобто зменшенню рівня кислотності чорнозему типового малогумусного. Найвищі значення показника переважно формувалися за комплексного поєднання побічної продукції попередника, поживного посіву редьки олійної та біопрепарату.

За вирощування сої у 0–20 см шарі ґрунту на контрольному варіанті та за використання сидерату реакція ґрунтового розчину була близькою до нейтральної – рН сольової витяжки становив відповідно 5,7 і 6,0. Застосування біопрепарату та комплексної системи органічного удобрення забезпечувало нейтральну реакцію ґрунтового середовища за значень рН 6,1 і 6,4. У 20–40 см шарі ґрунту на контрольному варіанті реакція була слабокислою – рН 5,5

За використання сидерату, біопрепарату та комплексної системи органічного удобрення показник підвищувався відповідно до 5,6; 5,7 і 5,9, що характеризувало реакцію ґрунтового середовища як близьку до нейтральної.

Подібну закономірність встановлено за вирощування пшениці ярої. У 0–20 см шарі ґрунту реакція ґрунтового розчину була близькою до нейтральної на контролі, за використання сидерату й біопрепарату – рН відповідно становив 5,6; 5,7 і 6,0, а за комплексної системи органічного удобрення відповідала нейтральній реакції – рН 6,1. У 20–40 см шарі на контролі та за сидеральної системи реакція залишалася слабокислою – рН 5,5, тоді як за застосування біопрепарату й комплексного удобрення реакція була близькою до нейтральної – рН 5,7 і 5,9.

За вирощування проса у 0–20 см шарі ґрунту на контрольному варіанті рН сольової витяжки становив 5,7, що відповідало реакції, близькій до нейтральної. За використання сидерату показник підвищувався до 5,9, а біопрепарату до 6,0 та реакція ґрунтового розчину також залишалася близькою до нейтральної. За комплексної системи органічного удобрення встановлено максимальне значення рН – 6,1, що відповідало нейтральній реакції.

У 20–40 см шарі ґрунту на контрольному варіанті реакція була слабокислою – рН 5,4. За використання сидерату, біопрепарату та комплексної системи органічного удобрення показник підвищувався відповідно до 5,6; 5,8 і

5,9, що характеризувало реакцію ґрунтового розчину як близьку до нейтральної. Отже, за вирощування проса найбільшу зміну реакції ґрунтового розчину встановлено у 20–40 см шарі, де органічні системи удобрення забезпечували перехід від слабокислої реакції до близької до нейтральної.

Узагальнення отриманих результатів по сівозміні підтвердило тенденцію до зниження кислотності ґрунту з включенням до системи органічного удобрення додаткових компонентів (рис. 3.8).

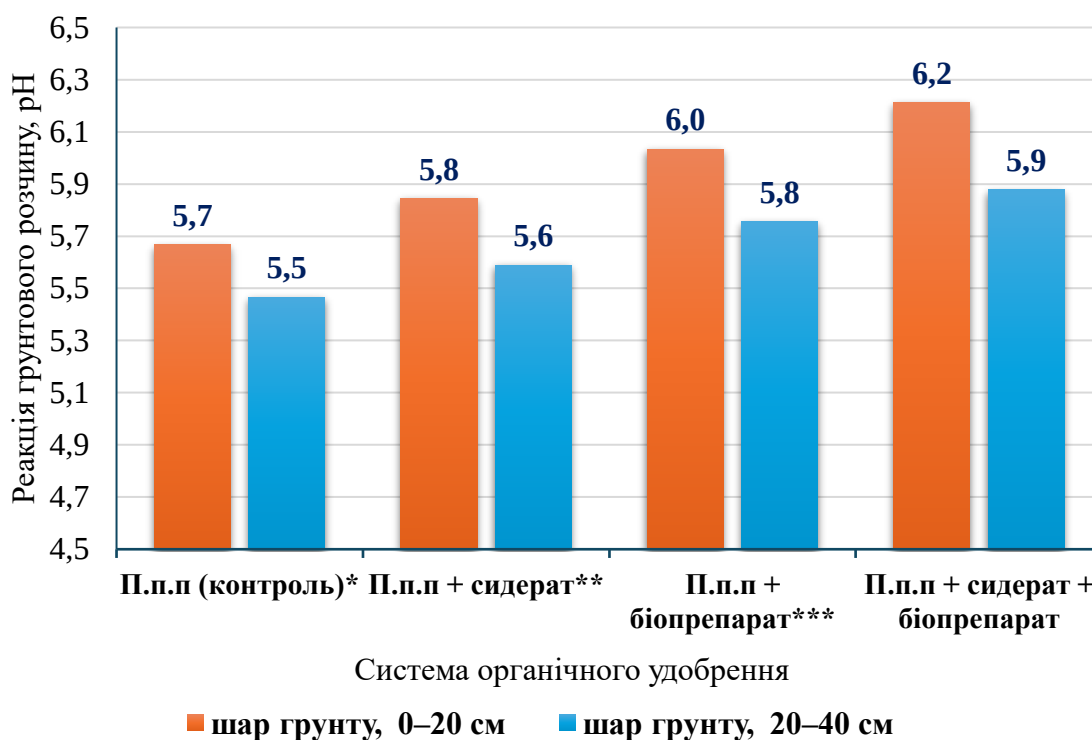


Рис. 3.8 Реакція ґрунтового розчину в чорноземі типовому залежно від системи органічного удобрення, $\text{pH}_{\text{сол.}}$, у середньому по сівозміні за 2023–2025 рр. (на час сівби культур сівозміни)

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

У 0–20 см шарі ґрунту на контролі, за використання сидерату й біопрепарату реакція була близькою до нейтральної – pH відповідно становив 5,7; 5,9 і 6,0, а за комплексної системи органічного удобрення відповідала нейтральній – pH 6,2. У 20–40 см шарі ґрунту на контрольному варіанті реакція

була слабокислою – рН 5,5. За використання сидерату показник підвищувався до 5,6, біопрепарату – до 5,8, а за комплексної системи органічного удобрення до 5,9, що відповідало реакції ґрунтового розчину, близькій до нейтральної.

Отже, застосування біопрепарату забезпечувало вищі значення рН порівняно із сидеральною системою, а найбільше зниження рівня кислотності в обох шарах ґрунту встановлено за комплексного поєднання органічних компонентів удобрення культур короткоротаційної сівозміни.

Аналіз показників за роками засвідчив їх річну динаміку залежно від культури. За вирощування сої у 0–20 см шарі ґрунту на контрольному варіанті реакція ґрунтового розчину у 2023–2024 рр. була слабокислою – рН 5,4–5,5, у 2025 р. відповідала нейтральній – рН 6,2. За комплексної системи органічного удобрення впродовж усіх років реакція була нейтральною, а значення рН становили 6,1, 6,2 і 6,9 відповідно. У 20–40 см шарі за комплексної системи органічного удобрення значення рН щороку перевищували контрольні показники.

За вирощування пшениці ярої на контрольному варіанті реакція ґрунтового розчину була відносно стабільною і становила 5,5–5,7. За комплексної системи удобрення у 0–20 см шарі рН змінювався від 5,8 до 6,5 та від 5,7 до 6,0 у 20–40 см шарі ґрунту. Найвиразніше підвищення показника за використання біопрепарату та комплексної системи органічного удобрення встановлено у 2025 р.

За вирощування проса найвищі значення рН встановлено у 2024 р. За комплексної системи органічного удобрення у 0–20 см шарі ґрунту показник досягав 6,5 та 6,1 у 20–40 см шарі ґрунту, що в обох випадках відповідало нейтральній реакції ґрунтового розчину. У 2025 р. значення рН були нижчими: у 0–20 см шарі становили 5,7–5,8 і характеризували реакцію як близьку до нейтральної. У 20–40 см шарі на контролі реакція була слабокислою – рН 5,5, тоді як за використання сидерату, біопрепарату та комплексної системи органічного удобрення – близькою до нейтральної, за рН 5,6–5,7.

Коефіцієнти варіації середніх показників рН становили 2,5–4,8 % за вирощування сої, 3,1–4,2 % – пшениці ярої та 3,1–4,2 % – проса. Такі значення

характеризують низьку варіабельність і високу однорідність отриманих даних. Дещо вищу диференціацію між системами удобрення у 0–20 см шарі ґрунту встановлено за вирощування сої, тоді як у 20–40 см шарі – за вирощування проса.

Отже, системи органічного удобрення змінювали реакцію ґрунтового середовища чорнозему типового у напрямі зменшення кислотності. Найвиразніше підвищення рН забезпечувало комплексне поєднання побічної продукції попередника, поживної редьки олійної та біопрепарату. Окреме застосування сидерату й біопрепарату формувало проміжні значення, причому вплив біопрепарату переважно був більшим.

3.4 Уміст мікроелементів і важких металів у чорноземі типовому за різних систем органічного удобрення

Забезпеченість ґрунту мікроелементами є важливою складовою живлення рослин та екологічного стану агроєкосистеми. Мідь, цинк, марганець і залізо беруть участь у ферментативних, фотосинтетичних та окисно-відновних процесах. Їх нестача знижує продуктивність культур, тоді як надмірна рухомість може спричиняти токсичну дію. Тому оцінювання має враховувати як забезпеченість рослин мікроелементами, так і ризик їх надлишкового накопичення.

Свинець, кадмій і нікель за підвищених концентрацій пригнічують біологічні процеси у ґрунті та погіршують якість продукції. Важкі метали переходять між розчинними, обмінними, органічно зв'язаними та мінерально закріпленими формами. Загальний вміст характеризує їх потенційний запас, а рухомі форми – доступність для рослин і здатність до міграції [149].

Рухомість металів залежить від реакції ґрунту, вмісту органічної речовини, гранулометричного складу, вмісту оксидів заліза й марганцю та окисно-відновних умов. За зниження рН розчинність багатьох катіонів зростає, тоді як глинисті мінерали, гумусові сполуки й оксиди сприяють їх зв'язуванню.

Вологість і діяльність мікроорганізмів також впливають на ці процеси через зміну кислотності та утворення органічних сполук.

Органічна речовина може по-різному впливати на поведінку важких металів. Стабільні гумусові сполуки переважно знижують їх рухомість, а продукти розкладання свіжої біомаси можуть утворювати розчинні комплекси металів з органічними сполуками. Тому результат внесення органічної маси залежить від її складу, ступеня розкладання, реакції середовища та властивостей конкретного елемента [182; 221].

Побічна продукція і сидеральна біомаса повертають до ґрунту поглинуті рослинами мікроелементи. Після розкладання частина з них поповнює запас доступних для рослин форм, а частина закріплюється органо-мінеральним комплексом. Біопрепарати можуть змінювати інтенсивність цих перетворень через активізацію розкладання рослинних решток. Водночас систематичне застосування різних органічних компонентів удобрення потребує контролю рухомих форм потенційно токсичних елементів.

Висока буферність чорноземів обмежує різкі зміни рухомості металів, однак їх поведінка залежить від гумусованості, кислотності та вбирної здатності ґрунту [78]. Тому мікроелементний стан доцільно оцінювати у взаємозв'язку з гумусним режимом і реакцією ґрунтового середовища.

У підрозділі визначено вміст рухомих форм міді, цинку, марганцю й заліза, а також свинцю, нікелю та кадмію у шарах 0–20 і 20–40 см. Це дає змогу оцінити їх вертикальний розподіл та екологічну безпечність систем органічного удобрення.

У середньому за 2023–2025 рр. уміст рухомих форм міді, цинку, марганцю й заліза залежав від культури сівозміни, шару ґрунту та системи органічного удобрення (табл. 3.11). Водночас стійкої тенденції до зростання їхнього вмісту від контрольного до комплексного варіанта органічного удобрення не встановлено. Найменше між варіантами змінювався вміст міді, тоді як для вмісту рухомих форм марганцю та заліза встановлено більшу мінливість показників.

Таблиця 3.11

Уміст рухомих форм мікроелементів у чорноземі типовому, мг/кг ґрунту, у середньому по сівозміні за 2023–2025 рр.

Система удобрення	Шар ґрунту, см	Мідь, (Cu)	Цинк, (Zn)	Марганець, (Mn)	Залізо, (Fe)
П. п. п. (контроль)*	0–20	0,13	0,48	7,38	1,88
	20–40	0,13	0,43	7,58	1,54
П. п. п. + сидерат**	0–20	0,12	0,47	6,09	1,78
	20–40	0,12	0,45	6,30	1,45
П. п. п. + біопрепарат***	0–20	0,13	0,47	6,59	1,77
	20–40	0,13	0,46	6,78	1,61
П. п. п. + сидерат + біопрепарат	0–20	0,14	0,48	6,72	1,86
	20–40	0,12	0,36	7,14	1,41
S		0,01	0,04	0,51	0,18
V, %		5,4	9,0	7,5	11,0
П. п. п. (контроль)	0–20	0,12	0,51	11,31	2,04
	20–40	0,14	0,39	10,26	1,61
П. п. п. + сидерат	0–20	0,13	0,54	10,63	2,18
	20–40	0,12	0,40	8,63	1,45
П. п. п. + біопрепарат	0–20	0,12	0,53	9,97	2,10
	20–40	0,13	0,41	9,02	1,50
П. п. п. + сидерат + біопрепарат	0–20	0,12	0,51	9,75	1,95
	20–40	0,13	0,58	8,31	1,60
S		0,01	0,07	1,03	0,29
V, %		5,1	14,7	10,5	16,3
П. п. п. (контроль)	0–20	0,13	0,52	7,53	1,95
	20–40	0,13	0,43	6,65	1,85
П. п. п. + сидерат	0–20	0,13	0,46	7,08	2,04
	20–40	0,13	0,58	5,69	1,39
П. п. п. + біопрепарат	0–20	0,14	0,48	7,18	1,99
	20–40	0,12	0,55	6,24	1,43
П. п. п. + сидерат + біопрепарат	0–20	0,14	0,48	8,01	2,06
	20–40	0,12	0,43	6,92	1,37
S		0,01	0,05	0,73	0,31
V, %		5,4	11,0	10,5	17,5
ГДК		3,0	23,0	140,0	–

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

За вирощування сої вміст рухомої міді становив 0,12–0,14 мг/кг у 0–20 см шарі ґрунту і 0,12–0,13 мг/кг у 20–40 см шарі. За вирощування пшениці ярої відповідні межі становили 0,12–0,13 і 0,12–0,14 мг/кг та 0,13–0,14 і 0,12–0,13 мг/кг за вирощування проса. Отже, застосування сидерату, біопрепарату та

комплексної системи не супроводжувалося суттєвим накопиченням рухомих форм міді. Коефіцієнти варіації становили 5,1–5,4 %, що характеризує низьку мінливість показника.

Уміст рухомих форм цинку був менш стабільним між варіантами досліду. За вирощування сої у 0–20 см шарі він становив 0,47–0,48 мг/кг, тоді як у 20–40 см шарі знижувався до 0,36–0,46 мг/кг. Найнижче значення в 20–40 см шарі ґрунту встановлено за комплексної системи органічного удобрення. У посівах пшениці ярої вміст цинку становив 0,51–0,54 мг/кг у 0–20 см шарі і 0,39–0,58 мг/кг у 20–40 см шарі з максимальними значення за комплексної системи органічного удобрення. За вирощування проса його вміст становив 0,46–0,52 і 0,43–0,58 мг/кг відповідно.

Таким чином, зміни концентрації рухомих форм цинку залежали від культури й глибини відбору зразків та не формували чіткої тенденції. Коефіцієнт варіації становив 9,0 % за вирощування сої, 14,7 % – пшениці ярої та 11,0 % – проса.

Більш помітний вплив систем органічного удобрення встановлено на вміст рухомого марганцю. За вирощування сої у 0–20 см шарі показник знижувався із 7,38 мг/кг на контролі до 6,09 мг/кг за сидеральної системи, до 6,59 мг/кг – за застосування біопрепарату та до 6,72 мг/кг – за комплексної системи органічного удобрення. У 20–40 см шарі см його вміст становив відповідно 7,58; 6,30; 6,78 і 7,14 мг/кг.

За вирощування пшениці ярої вміст рухомих форм марганцю був вищим, ніж у посівах інших культур сівозміни. У 0–20 см шарі ґрунту він зменшувався з 11,31 мг/кг на контролі до 10,63 мг/кг за використання сидерату, до 9,97 мг/кг – за обробки посівів біопрепаратом та до 9,75 мг/кг за комплексної системи удобрення. У 20–40 см шарі відповідні значення становили 10,26; 8,63; 9,02 і 8,31 мг/кг. Зменшення кількості рухомого марганцю обумовлене підвищенням значень рН ґрунту, оскільки за зниження кислотності посилюється закріплення катіонів марганцю ґрунтовим вбирним комплексом.

За вирощування проса спостерігалася протилежна тенденція. У 0–20 см шарі ґрунту за комплексної системи органічного удобрення вміст рухомих сполук марганцю становив 8,01 мг/кг порівняно із 7,53 мг/кг на контролі. У 20–40 см шарі відповідні значення становили 6,92 і 6,65 мг/кг. Отже, комплексна система удобрення сприяла збільшенню вмісту рухомого марганцю в посівах проса, тоді як за вирощування сої та пшениці ярої його кількість переважно знижувалася.

Уміст сполук рухомого заліза відзначався вищим рівнем у 0–20 см шарі ґрунту. За вирощування сої він становив 1,77–1,88 мг/кг у верхньому 0–20 см та 1,41–1,61 мг/кг у нижньому 20–40 см шарі ґрунту. У посівах пшениці ярої відповідні межі становили 1,95–2,18 і 1,45–1,61 мг/кг. Максимальне значення у верхньому 0–20 см шарі встановлено за сидеральної системи – 2,18 мг/кг. За вирощування проса вміст заліза становив 1,95–2,06 мг/кг у 0–20 см шарі та 1,37–1,85 мг/кг у 20–40 см шарі ґрунту.

За комплексної системи органічного удобрення не відмічено чіткої тенденції до підвищення вмісту рухомих сполук заліза. У посівах сої та проса його вміст у 20–40 см шарі за цього варіанта становив відповідно 1,41 і 1,37 мг/кг та був нижчим від контролю. Коефіцієнти варіації становив 11,0–17,5 %, що свідчить про більшу мінливість концентрації рухомих форм заліза порівняно з міддю та марганцем.

Порівняння показників за 2023–2025 рр. засвідчило, що зміни за роками для більшості мікроелементів були більшими, ніж відмінності між системами органічного удобрення (додатки К.1–К.3). У 2023 р. вміст рухомих сполук міді становив 0,14–0,18 мг/кг, цинку – 0,51–1,01 мг/кг, марганцю – 6,32–13,88 мг/кг, заліза – 1,34–3,31 мг/кг. У 2024 р. відповідні межі становили 0,10–0,16; 0,33–0,61; 4,11–13,31 і 1,09–2,22 мг/кг. У 2025 р. вони зменшувалися до 0,08–0,12; 0,21–0,33; 2,23–7,51 і 1,07–1,87 мг/кг.

Найчіткіше зниження показників за роками встановлено для рухомих сполук цинку й марганцю. Вміст заліза також був вищим у 2023 р. і зменшувався у 2024–2025 рр. Такі зміни визначалися не лише системою удобрення, а й

умовами зволоження, реакцією ґрунтового середовища, інтенсивністю поглинання елементів культурами та їх закріпленням органічною речовиною і мінеральною частиною ґрунту.

Важливим показником екологічного стану чорнозему типового був уміст рухомих форм важких металів, а саме: свинцю, нікелю та кадмію (табл. 3.12). За вирощування сої вміст свинцю у 0–20 см шарі становив 0,85–0,95 мг/кг, а у 20–40 см шарі ґрунту знижувався до 0,80–0,93 мг/кг. За комплексної системи органічного удобрення показники становили відповідно 0,88 і 0,80 мг/кг та були нижчими від контрольних значень.

У посівах пшениці ярої вміст свинцю змінювався в межах від 0,86–0,96 мг/кг у 0–20 см шарі до 0,79–0,91 мг/кг у 20–40 см шарі ґрунту. За вирощування проса на контролі встановлено 1,02 мг/кг у верхньому та 1,26 мг/кг у нижньому шарі. За комплексної системи удобрення відповідні показники знижувалися до 0,91 і 0,84 мг/кг.

Таким чином, найбільш виражене зменшення вмісту рухомих форм свинцю за комплексної системи органічного удобрення встановлено в посівах проса.

Уміст рухомого нікелю характеризувався незначною мінливістю залежно від системи органічного удобрення, однак відрізнявся за культурами та шарами ґрунту. За вирощування сої його значення становили 0,69–0,73 мг/кг у 0–20 см шарі і 0,62–0,67 мг/кг у 20–40 см шарі ґрунту. У посівах пшениці ярої відповідні показники змінювалися в межах від 0,53–0,61 до 0,54–0,68 мг/кг та в посівах проса відповідно від 0,56–0,69 до 0,50–0,61 мг/кг. Відсутність стійкої тенденції до збільшення вмісту нікелю зі збагаченням системи удобрення органічними компонентами свідчить, що внесення побічної продукції, сидерату й біопрепарату не посилювало його мобілізацію у ґрунті. За комплексної системи у 20–40 см шарі уміст рухомого нікелю був нижчим, ніж на контролі, у посівах усіх культур, що вказує на обмеження його вертикальної міграції та закріплення у верхньому, більш збагаченому органічною речовиною шарі ґрунту.

Таблиця 3.12

Уміст рухомих форм важких металів у чорноземі типовому, мг/кг ґрунту, у середньому по сівозміні за 2023–2025 рр.

Система удобрення	Шар ґрунту, см	Свинець, (Pb)	Нікель, (Ni)	Кадмій, (Cd)
Соя				
П. п. п. (контроль)*	0–20	0,95	0,72	0,12
	20–40	0,93	0,63	0,12
П. п. п. + сидерат**	0–20	0,85	0,69	0,12
	20–40	0,85	0,65	0,11
П. п. п. + біопрепарат***	0–20	0,88	0,73	0,13
	20–40	0,83	0,67	0,11
П. п. п. + сидерат + біопрепарат	0–20	0,88	0,72	0,12
	20–40	0,80	0,62	0,12
S		0,05	0,04	0,01
V, %		5,5	6,4	4,7
Пшениця яра				
П. п. п. (контроль)	0–20	0,96	0,53	0,12
	20–40	0,81	0,61	0,12
П. п. п. + сидерат	0–20	0,86	0,58	0,12
	20–40	0,91	0,68	0,12
П. п. п. + біопрепарат	0–20	0,88	0,61	0,13
	20–40	0,79	0,63	0,08
П. п. п. + сидерат + біопрепарат	0–20	0,96	0,61	0,11
	20–40	0,85	0,54	0,13
S		0,06	0,05	0,01
V, %		7,2	8,0	4,8
Просо				
П. п. п. (контроль)	0–20	1,02	0,56	0,12
	20–40	1,26	0,61	0,12
П. п. п. + сидерат	0–20	1,02	0,68	0,13
	20–40	0,92	0,56	0,11
П. п. п. + біопрепарат	0–20	0,98	0,69	0,12
	20–40	0,89	0,59	0,12
П. п. п. + сидерат + біопрепарат	0–20	0,91	0,59	0,12
	20–40	0,84	0,50	0,12
S		0,13	0,06	0,01
V, %		13,3	10,7	4,4
ГДК		6,0	4,0	0,7

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Найстабільнішим був уміст рухомого кадмію. За вирощування сої, пшениці ярої та проса він становив 0,10–0,14 мг/кг. Відмінності між системами удобрення і шарами ґрунту переважно не перевищували 0,01–0,02 мг/кг.

Середній уміст кадмію за використання біопрепарату в посівах пшениці ярої становив 0,13 мг/кг у 0–20 см шарі і 0,12 мг/кг у 20–40 см шарі ґрунту. За комплексної системи органічного удобрення відповідні значення становили 0,11 і 0,13 мг/кг.

За роками вміст рухомих форм важких металів також змінювався. У 2023 р. вміст свинцю становив 0,78–1,21 мг/кг, нікелю – 0,61–1,01 мг/кг, кадмію – 0,10–0,13 мг/кг. У 2024 р. відповідні межі становили 0,78–1,98; 0,44–0,73 і 0,10–0,14 мг/кг, а у 2025 р. – 0,71–1,01; 0,39–0,62 і 0,11–0,13 мг/кг.

Отже, застосування побічної продукції, сидерату та біопрепарату не супроводжувалося накопиченням рухомих форм важких металів. Уміст свинцю та нікелю за комплексної системи часто був нижчим, ніж на контролі, особливо у 20–40 см шарі ґрунту. Зростання вмісту гумусу й зниження кислотності ґрунтового розчину за органічних систем посилювали зв'язування металів органічними сполуками та ґрунтовим вбирним комплексом, обмежуючи їх рухомість. Уміст усіх нормованих елементів залишався істотно нижчим за гранично допустимі концентрації, що свідчить про відсутність забруднення чорнозему типового досліджуваними металами.

Таким чином, системи органічного удобрення впливали на перерозподіл рухомих форм мікроелементів і важких металів, однак не спричиняли їх накопичення до небезпечного рівня. Найстабільнішими були показники вмісту міді й кадмію, тоді як цинк, марганець і залізо більше залежали від культури, шару ґрунту та року досліджень. За комплексного поєднання побічної продукції, сидерату і біопрепарату екологічний стан ґрунту за вмістом рухомих форм металів не погіршувався.

3.5 Вплив різних систем органічного удобрення на мікробіологічну активність чорнозему типового

Мікробіологічна активність ґрунту є проявом життєдіяльності його біоти та чутливим показником змін родючості. Мікроорганізми беруть участь у

розкладанні рослинних решток, мінералізації та іммобілізації елементів живлення, утворенні гумусових сполук і формуванні ґрунтових агрегатів. Тому біологічні показники часто реагують на зміну системи удобрення швидше, ніж уміст гумусу та інші відносно стабільні властивості ґрунту.

Інтенсивність біологічних процесів залежить від кількості й складу органічного речовини, забезпеченості азотом, вологістю, температури, аерації та реакції ґрунтового середовища. Легкодоступні сполуки свіжої рослинної маси швидко використовуються мікроорганізмами, тоді як целюлоза, геміцелюлоза й лігнін розкладаються повільніше. Унаслідок мікробної трансформації частина вуглецю мінералізується до вуглекислого газу, а частина залучається до формування мікробної біомаси та органічних сполук, здатних стабілізуватися у ґрунті [183; 203].

Повернення побічної продукції забезпечує мікроорганізми органічним субстратом і підтримує активність целюлозоруйнівного комплексу. Сидеральна біомаса, яка переважно містить більше легкодоступних сполук і характеризується вужчим співвідношенням вуглецю й азоту, сприяє швидшому розвитку мікробіологічної активності. Біологічна активність чорнозему типового залежить від походження рослинної маси та поєднання систем удобрення й обробітку ґрунту [40; 125].

Біопрепарати застосовують для активізації розкладання органічних решток і мобілізації елементів живлення. Однак ефективність внесених мікроорганізмів визначається наявністю відповідного субстрату, вологістю, температурою, реакцією ґрунту та взаємодією з аборигенною мікробіотою. Тому їх дію доцільно оцінювати за фактичними змінами біологічних процесів у ґрунті.

Узагальнення довготривалих досліджень свідчать, що органічні системи землеробства переважно підвищують мікробну біомасу та її активність, проте величина ефекту залежить від ґрунтово-кліматичних умов, сівозміни та кількості органічних надходжень [199; 216]. Водночас посилення мінералізації може збільшувати доступність елементів живлення, але за недостатнього поповнення вуглецю сприяти втратам органічної речовини.

Інтенсивність розкладання целюлози є інформативним показником сукупної діяльності бактерій і грибів, оскільки целюлоза становить значну частину рослинних решток. Цей процес залежить від забезпеченості азотом, водно-повітряного й температурного режимів і дає змогу оцінити реакцію ґрунтової біоти на удобрення та інші агротехнічні чинники [87; 146; 170]. Значний вплив мають і погодні умови: дефіцит вологи пригнічує мікробний метаболізм, а надмірне зволоження погіршує аерацію ґрунту.

У підрозділі біологічну активність чорнозему типового оцінено за інтенсивністю розкладання лляної тканини в посівах сої, пшениці ярої та проса. Це дає змогу встановити реакцію ґрунтової мікробіоти на повернення побічної продукції, використання пожнивного сидерату, внесення біопрепарату та їх комплексне поєднання.

У середньому за 2023–2025 рр. мікробіологічна активність ґрунту підвищувалася із розширенням складу системи органічного удобрення (табл. 3.13). У розрахунку на сівозмінну площу інтенсивність розкладання лляної тканини становила 20,2 % на контролі, 20,9 % за використання сидерату, 22,2 % – біопрепарату та 24,4 % за комплексної системи органічного удобрення (рис. 3.9). За комплексної системи інтенсивність розкладання лляної тканини зростала з 20,2 % на контролі до 24,4 %, або на 20,8 %.

Підвищення мікробіологічної активності на фоні збільшення надходження рослинних решток до ґрунту. Найбільша маса побічної продукції та додаткове надходження зеленої маси пожнивного посіву редьки олійної формувалися за комплексного поєднання сидерату й біопрепарату. Біопрепарат посилював мікробіологічну трансформацію органічної речовини, про що свідчить вищий середньозважений показник порівняно із сидеральною системою – 22,2 проти 20,9 %. Поєднання рослинних решток побічної продукції, сидеральної маси та біопрепарату забезпечувало найвищу інтенсивність розкладання лляної тканини.

За вирощування сої середня мікробіологічна активність становила 21,6 % на контрольному варіанті, 22,3 % – за використання сидерату, 24,6 % – біопрепарату та 27,5 % за комплексної системи органічного удобрення. Окреме

застосування біопрепарату було ефективнішим за сидеральну систему, а їх поєднання забезпечувало максимальну активність ґрунтової мікрофлори.

Таблиця 3.13

Мікробіологічна активність ґрунту за інтенсивністю розкладання лляної тканини, %, у середньому за 2023–2025 рр.

Культура сівозміни	Система органічного удобрення	Роки досліджень			Середнє за 2023–2025 рр.
		2023 р.	2024 р.	2025 р.	
Соя	п.п.п (контроль)*	26,2	13,1	25,5	21,6
	п.п.п + сидерат**	24,7	14,3	27,8	22,3
	п.п.п + біопрепарат***	28,5	15,1	30,1	24,6
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	33,1	16,8	32,7	27,5
	S	3,67	1,55	3,09	2,68
	V, %	13,0	10,5	10,6	11,2
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	23,2	11,5	14,6	16,4
	п.п.п + сидерат	22,5	17,0	17,9	19,1
	п.п.п + біопрепарат	23,5	18,1	18,2	19,9
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	26,3	19,7	18,8	21,6
	S	1,67	3,56	1,89	2,16
	V, %	7,0	21,5	10,9	11,2
Просо	п.п.п (контроль)	30,1	18,3	19,6	22,7
	п.п.п + сидерат	23,3	19,5	20,8	21,2
	п.п.п + біопрепарат	24,3	20,0	22,1	22,1
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	26,5	21,9	23,9	24,1
	S	3,01	1,50	1,84	1,21
	V, %	11,6	7,5	8,5	5,4

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – поживний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

У 2023 р. за вирощування сої інтенсивність розкладання лляної тканини змінювалася від 24,7 % за сидеральної системи до 33,1 % за комплексної системи органічного удобрення. Високий рівень показника відповідав достатньому рівню зволоженню вегетаційного періоду, яке сприяло активній трансформації органічних решток. У 2024 р. мікробіологічна активність знизилася до 13,1–16,8 %. Гострий дефіцит атмосферних опадів упродовж значної частини вегетації та підвищена температура повітря обмежували діяльність ґрунтових

мікроорганізмів, однак перевага комплексної органічної системи удобрення зберігалася. У 2025 р. показник зростав із 25,5 % на контролі до 32,7 % за комплексної системи удобрення, що відповідало сприятливішому розподілу опадів і більшому надходженню рослинної маси.

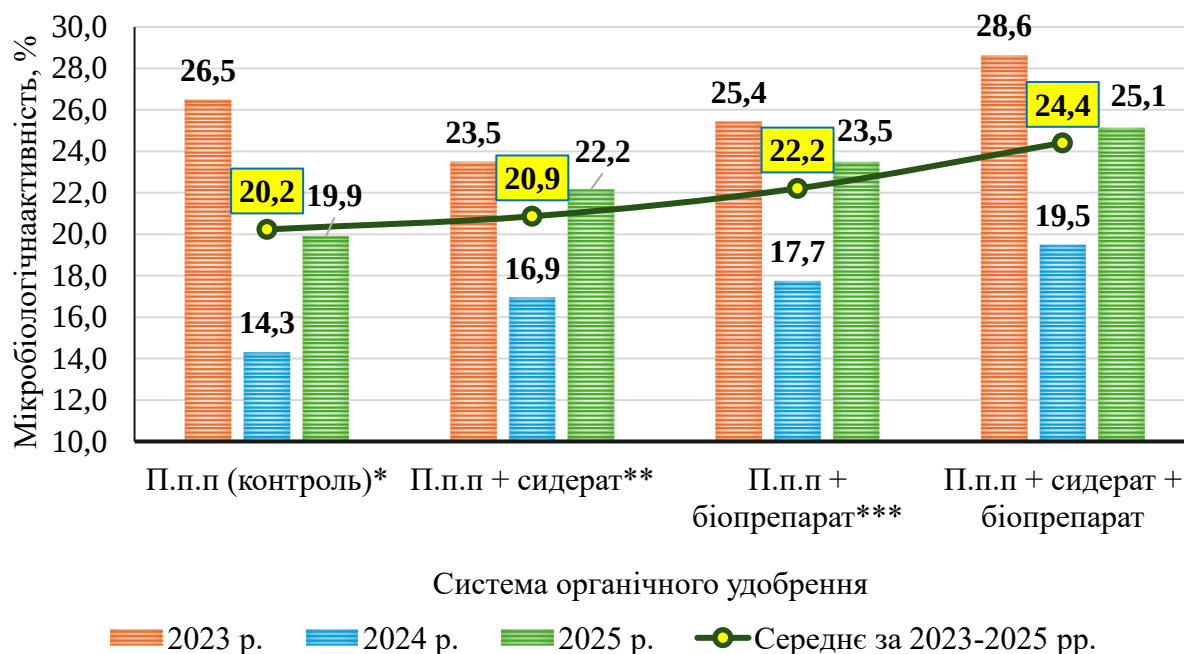


Рис. 3.9 Мікробіологічна активність ґрунту за інтенсивністю розкладання лляної тканини, %, у середньому по сівозміні за 2023–2025 рр. (на час сівби культур сівозміни)

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Найвищі середні значення мікробіологічної активності ґрунту в посівах культур сівозміни встановлено за вирощування сої. За комплексної системи до ґрунту надходило більше побічної продукції, ніж на контролі, а також зелена маса редьки олійної. Поєднання цих джерел органічної речовини з біопрепаратом забезпечувало активніше розкладання лляної тканини в усі роки досліджень.

За вирощування пшениці ярої середня інтенсивність розкладання лляної тканини становила 16,4 % на контролі, 19,1 % – за використання сидерату, 19,9 % – на фоні обробки посівів біопрепаратом та до 21,6 % за комплексної системи органічного удобрення (див. табл. 3.13).

У 2023 р. мікробіологічна активність ґрунту у посівах пшениці ярої становила 23,2 % на контролі та 26,3 % за комплексної системи удобрення. У 2024 р. показник знижувався до 11,5 % на контролі, проте за комплексної системи досягав 19,7 %. Саме цього року відмінності між системами удобрення були найбільшими. За умов недостатнього зволоження органічні компоненти системи удобрення сприяли підвищенню активності ґрунтової мікрофлори, тоді як на контролі інтенсивність розкладання лляної тканини була найнижчою. У 2025 р. відповідні значення становили 14,6 і 18,8 %.

Виражена реакція ґрунтової мікрофлори за вирощування пшениці ярої відповідала значному надходженню сидеральної маси редьки олійної. Біопрепарат забезпечував вищий середній показник, ніж окреме використання сидерату, а їх комплексне застосування активізувало розкладання побічної продукції пшениці та сидеральної біомаси редьки олійної. Особливо чітко ця закономірність спостерігалася у 2024 р., коли несприятливі погодні умови вегетаційного періоду обмежували загальний рівень мікробіологічної активності чорнозему типового.

За вирощування проса середній показник становив 22,7 % на контролі, 21,2 % – за використання сидерату, 22,1 % – на фоні обробки посівів біопрепаратом та 24,1 % за комплексної системи органічного удобрення. На відміну від сої та пшениці ярої, окреме застосування сидерату й біопрепарату не забезпечувало стійкого підвищення біологічної активності ґрунту порівняно з контролем. Водночас за комплексної системи удобрення інтенсивність розкладання лляної тканини зростала з 22,7 % на контрольному варіанті з використання у якості органічного удобрення лише побічну продукцію попередника (пшениця яра) до 24,1 %, або на 6,2 %.

За вирощування проса мікробіологічна активність ґрунту істотно варіювала за роками. У 2023 р. максимальну інтенсивність розкладання лляної тканини встановлено на контролі – 30,1 %, тоді як за комплексної системи органічного удобрення – 26,5 %. За достатнього рівня зволоження значна маса побічної продукції проса забезпечувала високу інтенсивність мікробіологічних

процесів і на контролі, тому додаткові органічні компоненти не зумовили подальшого зростання показника.

У 2024 році мікробіологічна активність ґрунту зростала з 18,3 % на контролі до 21,9 % за комплексної системи органічного удобрення. У 2025 р. показник підвищувався відповідно з 19,6 до 23,9 %. Отже, за менш сприятливого водного режиму додаткове надходження сидеральної маси та застосування біопрепарату посилювали розкладання органічної речовини, тоді як за достатньої вологості у 2023 р. високий рівень біологічної активності ґрунту відмічено за всіх варіантів (систем) органічного удобрення.

Узагальнення результатів за культурами свідчить, що дія систем органічного удобрення залежала від кількості рослинних решток, їх складу та погодних умов. За вирощування сої комплексна система удобрення забезпечувала найвищі абсолютні значення мікробіологічної активності. У посівах пшениці ярої встановлено найбільший відносний приріст порівняно з контролем. За вирощування проса дія окремих компонентів була менш вираженою, однак комплексне удобрення забезпечувало підвищення показника у 2024–2025 рр.

Варіювання показника мікробіологічної активності за роками визначалася насамперед умовами зволоження та температурним режимом. У 2023 р. достатня кількість опадів сприяла інтенсивному розкладанню лляної тканини, тому середньозважені значення становили 23,5–28,6 %. У 2024 р. за гострого дефіциту вологи та підвищеної температури показник знижувався до 14,3–19,5 %. У 2025 р. більш рівномірний розподіл опадів упродовж вегетаційного періоду сприяв підвищенню мікробіологічної активності ґрунту до 19,9–25,1 %. Проте, незалежно від погодних умов у 2023–2025 рр. Найвищі середньозважені показники мікробіологічної активності встановлено за комплексної системи органічного удобрення.

Коефіцієнт варіації середніх значень становив 11,2 % за вирощування сої та пшениці ярої і 5,4 % – проса. Найбільшу диференціацію між системами удобрення встановлено у посівах пшениці ярої у 2024 р., коли коефіцієнт варіації

досягав 21,5 %. Це підтверджує виразніший вплив органічного удобрення за умов, які обмежували загальну активність ґрунтової мікрофлори.

Отже, системи органічного удобрення підвищували мікробіологічну активність чорнозему типового, проте величина їх впливу залежала від культури та погодних умов. Окреме застосування біопрепарату переважно забезпечувало вищу інтенсивність розкладання лляної тканини, ніж використання сидерату. Найстійкіший ефект встановлено за комплексного поєднання побічної продукції попередника, сидеральної маси редьки олійної та біопрепарату, яке забезпечувало максимальні середньозважені показники в усі роки досліджень.

Висновки до розділу 3

1. Водний режим чорнозему типового визначався насамперед гідротермічними умовами року та біологічними особливостями культур, однак комплексне поєднання побічної продукції попередника, пожнивного посіву редьки олійної та біопрепарату забезпечувало найвищі запаси продуктивної вологи. У середньому по сівозміні в 0–100 см шарі ґрунту на час сівби вони зростали зі 149,6 мм на контролі до 158,3 мм, або на 5,8 %, а на час збирання – з 49,7 до 52,8 мм, або на 6,2 %. За майже однакового сумарного водоспоживання витрати вологи на формування 1 т основної продукції зменшувалися з 1643 до 1164 м³/т, або на 29,2 %, що свідчить про підвищення продуктивності використання ґрунтової вологи;

2. Надходження рослинної фітомаси в ґрунту зростало зі збільшенням кількості компонентів системи органічного удобрення. У середньому на 1 га сівозмінної площі маса побічної продукції становила 3,60 т/га на контролі, 4,05 т/га за використання сидерату, 4,15 т/га – біопрепарату та 4,51 т/га за комплексної системи органічного удобрення. Перевищення контрольного показника за комплексної системи становило 0,91 т/га, або 25,3 %. Найбільшу масу побічної продукції формувало просо – 5,61 т/га, а найвищу врожайність зеленої маси поживною редьки олійної встановлено після пшениці ярої –

13,06 т/га за поєднання сидерату з біопрепаратом у системі органічного удобрення;

3. Збільшення надходження органічної речовини за комплексної системи удобрення сприяло поліпшенню гумусного стану чорнозему типового. У середньому по сівозміні вміст гумусу в 0–20 см шарі зростав з 3,10 % на контролі до 3,21 %, а в 20–40 см шарі з 2,65 до 2,80 %. Запаси гумусу відповідно збільшувалися з 74,3 до 77,1 т/га та із 66,4 до 70,1 т/га. Відносний приріст запасів був вищим у 20–40 см шарі і становив 5,6 % проти 3,8 % у 0–20 см шарі ґрунту, що свідчить про поліпшення гумусного стану не лише у верхньому шарі ґрунту;

4. Найбільш закономірний вплив систем органічного удобрення встановлено на вміст лужногідролізного азоту. У середньому по сівозміні за комплексної системи органічного удобрення його вміст зростав зі 113,7 до 126,5 мг/кг у 0–20 см шарі і з 87,0 до 105,2 мг/кг у 20–40 см шарі ґрунту, що перевищувало контроль відповідно на 11,3 і 20,9 %. Формування фосфорного й калійного режимів залежало від культури, шару ґрунту та строку визначення. Зменшення вмісту рухомих сполук фосфору й калію на час збирання відмічено на фоні формування більшої рослинної фітомаси та відображало інтенсивніше залучення цих елементів до продукційних процесів;

5. Системи органічного удобрення змінювали реакцію ґрунтового розчину у напрямі зменшення кислотності. У середньому по сівозміні в 0–20 см шарі рН сольової витяжки зростав з 5,7 на контролі до 5,9 за використання сидерату, до 6,0 на фоні застосування біопрепарату та до 6,2 за комплексної системи органічного удобрення або від близької до нейтральної до нейтральної реакції ґрунтового розчину. У 20–40 см шарі показник зростав з 5,5 до 5,9, унаслідок чого слабокисла реакція змінювалася на близьку до нейтральної. Біопрепарат переважно забезпечував вищі значення рН, ніж сидерат, а максимальний ефект встановлено за їх комплексного застосування;

6. Використання побічної продукції, сидеральної маси та біопрепарату не сприяло збільшенню рівня накопичення рухомих форм мікроелементів і важких металів до небезпечного рівня. Уміст міді й кадмію характеризувався

найменшою мінливістю, тоді як концентрація рухомих форм цинку, марганцю та заліза більшою мірою залежала від культури, шару ґрунту й року досліджень. Уміст рухомих форм міді, цинку, марганцю, свинцю, нікелю та кадмію не перевищував гранично допустимих концентрацій, що підтверджує відповідність ґрунту вимогам екологічної безпечності для ведення органічного виробництва;

7. Мікробіологічна активність чорнозему типового підвищувалася зі збільшенням кількості органічних компонентів у системі удобрення. У середньому по сівозміні інтенсивність розкладання лляної тканини становила 20,2 % на контролі, 20,9 % за використання сидерату, 22,2 % на фоні застосування біопрепарату та 24,4 % за комплексної системи органічного удобрення. Порівняно з контролем вона зростала на 20,8 %. Найвищі абсолютні значення встановлено за вирощування сої – 27,5 %, а найбільший відносний приріст – у посівах пшениці ярої, де показник зростав із 16,4 до 21,6 %. Рівень мікробіологічних процесів істотно залежав від зволоження й температури, проте в кожному році найвищі середньозважені показники формувалися за комплексної системи органічного удобрення;

8. Отже, комплексне поєднання побічної продукції попередника, пожнивного посіву редьки олійної та біопрепарату забезпечувало найсприятливіші умови для відтворення родючості чорнозему типового. Його дія виявлялася у збільшенні запасів продуктивної вологи, підвищенні ефективності її використання, надходженні більшої кількості рослинної фітомаси, зростанні вмісту й запасів гумусу та лужногідролізного азоту, зменшенні кислотності й активізації мікробіологічних процесів. Водночас ця система не спричиняла накопичення рухомих форм важких металів, що підтверджує її агрономічну ефективність та екологічну безпечність у короткочасній органічній сівозміні.

Основні результати досліджень за даним розділом опубліковано в наукових працях [92; 94; 98; 140].

РОЗДІЛ 4. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗАБУР'ЯНЕНOSTІ ПОСІВІВ ТА КОНКУРЕНТНОЇ ЗДАТНОСТІ КУЛЬТУР СІВОЗМІНИ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ ОРГАНІЧНОГО УДОБРЕННЯ

Забур'яненість посівів залишається одним із визначальних чинників, що обмежують продуктивність польових культур і стабільність функціонування агроєкосистем. Бур'яни конкурують із культурними рослинами за вологу, світло, елементи живлення та життєвий простір, а їх вплив залежить не лише від чисельності, а й від видового складу, строків появи, тривалості спільної вегетації та здатності окремих видів накопичувати надземну масу. Водночас сегетальну рослинність доцільно розглядати як динамічний компонент агроєкосистеми, структура якого формується під сукупною дією сівозміни, обробітку ґрунту, удобрення, погодних умов і біологічних властивостей вирощуваних культур [14; 197].

Особливої актуальності проблема регулювання забур'яненості набуває в органічному землеробстві, де застосування синтетичних гербіцидів обмежене, а підтримання належного фітосанітарного стану посівів ґрунтується переважно на поєднанні агротехнічних, біологічних і фітоценотичних чинників. За таких умов ефективність системи органічного землеробства визначається не лише безпосереднім видаленням бур'янів, а й здатністю сформувати культурний агрофітоценоз, який швидко займає екологічну нішу, інтенсивно використовує доступні ресурси та зменшує можливості для росту сегетальних видів. Такий підхід відповідає сучасній концепції інтегрованого регулювання забур'яненості, згідно з якою стійкий результат забезпечує сукупність взаємодоповнюючих заходів, а не домінування одного способу впливу [197; 215; 219].

За органічної системи землеробства важливим чинником регулювання бур'янового компонента агрофітоценозу є науково обґрунтоване чергування культур, яке порушує цикли розвитку сегетальних видів і посилює фітоценотичну роль культурних рослин. Зміна культур із різними строками сівби,

тривалістю вегетації, просторовою структурою посіву та особливостями використання ресурсів порушує цикли розвитку сегетальних видів [219]. Водночас культури істотно відрізняються за фітоценотичною стійкістю. Швидкість початкового росту, висота рослин, інтенсивність кушіння або стеблоутворення, облиственість, розвиток кореневої системи та накопичення надземної маси визначають здатність посіву ефективніше використовувати сонячну радіацію, вологу й елементи живлення раніше, зменшуючи їх доступність для бур'янів [171; 175; 206]. Тому оцінювання забур'яненості без урахування морфометричних параметрів і біомаси культур не повністю розкриває характер конкурентних взаємодій в агрофітоценозі.

Одним із перспективних елементів органічних технологій є вирощування сидеральних і покривних культур. Їх вплив реалізується через формування рослинного покриву в міжвегетаційний період, поглинання доступних ресурсів, надходження органічної маси та зміну умов проростання насіння бур'янів. Результати сучасних досліджень свідчать, що ефективність покривних культур значною мірою залежить від кількості сформованої біомаси, видового складу, строків сівби й припинення вегетації та подальшого використання рослинних решток [191; 229; 247]. Водночас дія сидерації не є універсальною і може змінюватися залежно від ґрунтово-кліматичних умов, способу основного обробітку та біологічних особливостей наступної культури. Це підтверджують і результати українських досліджень, у яких післяжнивні сидеральні посіви впливали на чисельність бур'янів і продуктивність сої та зернових культур у різних системах обробітку ґрунту [24; 29].

Система удобрення також здатна змінювати співвідношення між культурним і бур'яновим компонентами агрофітоценозу. Надходження додаткових елементів живлення може стимулювати ріст як культур, так і бур'янів, тому кінцевий результат визначається здатністю культури швидше залучати доступні ресурси до ростових процесів, формування асиміляційної поверхні, кореневої системи та надземної біомаси. За достатньої щільності та інтенсивного розвитку культурних рослин поліпшення поживного режиму зміщує конкурентні

відносини на їх користь; за зрідженого або повільно зростаючого посіву доступні ресурси можуть активно використовуватися сегетальними видами [106; 151; 158; 161; 204]. Отже, вплив удобрення на забур'яненість слід оцінювати не як пряме пригнічення небажаної рослинності, а через зміни у рості, просторовій структурі та здатності культур ефективно використовувати вологу, світло й елементи живлення.

Окремий науковий інтерес становить використання біопрепаратів на основі корисної ґрунтової мікрофлори. Їх застосування може сприяти розвитку кореневої системи, активізації живлення та накопиченню біомаси культурних рослин, унаслідок чого змінюються конкурентні відносини у посіві. Дослідження в органічних системах свідчать, що найбільш виражені зміни забур'яненості можуть формуватися за поєднання рістстимулюючих мікроорганізмів із зеленими добривами, коли біологічна активізація росту культури доповнюється надходженням органічної маси [232]. Проте реакція агрофітоценозу залежить від культури, погодних умов і вихідного рівня забур'яненості, що потребує експериментального обґрунтування в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

В Україні досліджено вплив обробітку ґрунту, удобрення, сидерації та структури сівозмін на чисельність і видовий склад бур'янів [24; 29; 106; 121; 132; 151; 158; 161]. Водночас недостатньо з'ясованими залишаються закономірності формування забур'яненості та конкурентної здатності різних за біологією культур короткоротаційної органічної сівозміни за сумісного використання побічної продукції попередника, пожнивного сидерату й біопрепарату. Особливо важливо встановити, як ці чинники проявляються на різних етапах вегетації, оскільки зниження кількості бур'янів у фазі повних сходів і зменшення їх сухої маси на час збирання можуть мати різні механізми.

У зв'язку з цим у розділі наведено закономірності формування чисельності, видового складу та сухої маси бур'янів у посівах сої, пшениці ярої й проса, а також морфометричні показники, накопичення біомаси та конкурентну здатність культур за різних систем органічного удобрення. Такий комплексний підхід дає

змогу оцінити не лише зміни бур'янового компонента, а й роль культурних рослин у формуванні фітоценотичної рівноваги короткоротаційної сівозміни.

4.1 Забур'яненість посівів культур короткоротаційної сівозміни залежно від систем органічного удобрення

Забур'яненість посівів є мінливою характеристикою агрофітоценозу, яка визначається запасами насіння бур'янів у ґрунті, погодними умовами, біологічними особливостями культури, попередником і застосованими технологічними заходами [14; 106; 121]. Упродовж вегетації структура бур'янового компонента змінюється: частина рослин відмирає внаслідок внутрішньовидової та міжвидової конкуренції, тоді як окремі пізні або високорослі види продовжують розвиток і можуть накопичувати значну масу навіть за невеликої чисельності. Тому кількісний облік бур'янів доцільно доповнювати визначенням їх видового складу та сухої маси.

Фаза повних сходів характеризує початковий рівень конкурентного навантаження на культуру та відображає умови формування ранньої хвилі бур'янів. Саме в цей період повільний розвиток культурних рослин або недостатня щільність посіву можуть створювати сприятливі умови для використання бур'янами вологи, світла й елементів живлення. Натомість облік на час збирання дає змогу оцінити результат взаємодії культурного й сегетального компонентів упродовж усієї вегетації та встановити, наскільки культура реалізувала свій фітоценотичний потенціал.

Результати досліджень, проведених у різних природних зонах України, підтверджують залежність кількості й видового складу бур'янів від обробітку ґрунту, сівозміни, удобрення та сидерації [24; 29; 106; 121; 132; 151; 158; 161]. Водночас однакова система удобрення може по-різному проявлятися в посівах культур із неоднаковою швидкістю початкового росту, способом формування стеблостою та тривалістю вегетації. У зв'язку з цим у підрозділі проаналізовано

чисельність, ботанічну структуру та суху масу бур'янів у фазі повних сходів і на час збирання сої, пшениці ярої та проса за різних систем органічного удобрення.

У середньому за 2023–2025 рр. найбільшу кількість бур'янів у фазі повних сходів на контрольному варіанті, де застосовували лише побічну продукцію попередника, встановлено у посівах пшениці ярої – 207 шт./м² (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Забур'яненість посівів культур сівозміни у фазі повних сходів залежно від системи органічного удобрення, шт./м², середнє за 2023–2025 рр.

Система удобрення	Кількість бур'янів, шт/м ²							
	всього	в т. ч.					одно- дольні	дво- дольні
		плоскуха звичайна	мишій сизий	лобода біла	редька дика	щириця звичайна		
Соя								
П.п.п* (контроль)	194	107	59	15	7	6	166	28
П.п.п + сидерат***	153	86	44	11	6	6	130	23
П.п.п + біопрепарат***	186	106	56	13	6	5	162	24
П.п.п + сидерат + біопрепарат	146	86	41	10	5	4	127	19
<i>S</i>	23,8	11,8	8,8	2,2	0,8	1,0	20,6	3,7
<i>V, %</i>	14,0	12,3	17,7	18,1	13,6	18,2	14,1	15,7
Пшениця яра								
П.п.п (контроль)	207	100	49	28	17	13	149	58
П.п.п + сидерат	140	68	33	17	10	12	101	39
П.п.п + біопрепарат	201	97	47	27	17	13	144	57
П.п.п + сидерат + біопрепарат	131	66	31	15	9	10	97	34
<i>S</i>	39,8	18,2	9,3	6,7	4,3	1,4	27,5	12,3
<i>V, %</i>	23,4	22,0	23,3	30,8	32,8	11,8	22,4	26,2
Просо								
П.п.п (контроль)	114	56	27	14	8	9	83	31
П.п.п + сидерат	83	46	21	6	5	5	67	16
П.п.п + біопрепарат	108	55	24	13	7	9	79	29
П.п.п + сидерат + біопрепарат	78	45	21	5	4	3	66	12
<i>S</i>	17,9	5,8	2,9	4,7	1,8	3,0	8,5	9,4
<i>V, %</i>	18,7	11,5	12,4	49,0	30,4	46,2	11,6	42,8

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Нижчий рівень забур'яненості встановлено у посівах сої – 194 шт./м², а мінімальне значення показника зафіксовано за вирощування проса – 114 шт./м².

Така градація свідчить про різну початкову фітоценотичну стійкість культур: соя і пшениця яра характеризувалися нижчою фітоценотичною стійкістю до сегетальної рослинності на ранніх етапах розвитку, тоді як просо характеризувалося нижчим рівнем засмічення посівів.

Найвищу ефективність у зниженні ранньої забур'яненості забезпечувала комплексна система органічного удобрення – поєднання побічної продукції попередника, сидерату редьки олійної та біопрепарату. За цього варіанта кількість бур'янів у посівах сої зменшувалася з 194 до 146 шт./м², або на 24,7 % порівняно з контролем; у пшениці ярої – з 207 до 131 шт./м², або на 36,7 % та у посівах проса зі 114 до 78 шт./м², або на 31,6 %.

Застосування побічної продукції попередника у поєднанні із сидератом також істотно обмежувало розвиток бур'янів, однак поступалося комплексній системі. У середньому за три роки цей варіант сприяв зменшенню забур'яненості посівів сої на 21,1 %, пшениці ярої – на 32,4 %, проса – на 27,2 % порівняно з контролем, що підтверджує важливу роль післяжнивного посіву редьки олійної як біологічного чинника регулювання ранньої хвилі бур'янів. Натомість, внесення лише біопрепарату на фоні побічної продукції попередника мало слабший вплив на кількість бур'янів у фазі повних сходів. Порівняно з контролем забур'яненість зменшувалася у посіві сої на 4,1 %, у пшениці ярої – на 2,9 % та на 5,3 % у посівах проса (див. табл. 4.1).

У видовій структурі бур'янового компонента у фазі повних сходів переважали однодольні види, насамперед плоскуха звичайна (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.) та мишій сизий (*Setaria glauca* (L.) P. Beauv.). На контрольному варіанті їх сумарна кількість становила у посівах сої 166 шт./м², або 85,6 % загальної забур'яненості, пшениці ярої – 149 шт./м², або 72,0 % та у посівах проса – 83 шт./м², або 72,8 %. Серед дводольних бур'янів відмічено лободу білу (*Chenopodium album* L.), редьку дику (*Raphanus raphanistrum* L.) та щирицю звичайну (*Amaranthus retroflexus* L.). Їх частка за чисельністю була меншою,

однак у подальшому ці види вирізняються інтенсивним нарощуванням біомаси й посиленням конкурентного тиску на культурні рослини.

Застосування сидерату та комплексної системи органічного удобрення істотно змінювало не лише загальну кількість бур'янів, а й чисельність домінантних видів. Зокрема, у посівах пшениці ярої за комплексного удобрення кількість плоскухи звичайної зменшувалася зі 100 до 66 шт./м², а мишію сизого – з 49 до 31 шт./м². У посівах проса відповідні показники знижувалися з 56 до 45 та з 27 до 21 шт./м². Це свідчить, що поєднання побічної продукції попередника, сидерату та біопрепарату впливало не лише на рівень забур'яненості загалом, а й на чисельність видів, які формували основу сегетального угруповання.

Встановлено, що загальна кількість бур'янів у фазі повних сходів характеризувалася помірною мінливістю, однак її рівень залежав від культури сівозміни. Найстабільнішим показник був у посівах сої, де коефіцієнт варіації становив 14,0 %, тоді як у посівах проса і пшениці ярої він зростав відповідно до 18,7 і 23,4 % (див. табл. 4.1). Це свідчить про більшу варіабельність формування забур'яненості у посівах пшениці ярої, особливо за зміни систем органічного удобрення.

За роками досліджень встановлено певну мінливість формування бур'янової синузії у посівах культур короткоротаційної сівозміни, що зумовлювалася як погодними умовами вегетаційного періоду, так і біологічними особливостями культур та дією систем органічного удобрення.

У 2023 р. найвищу забур'яненість у фазі повних сходів встановлено у посівах пшениці ярої: на контролі кількість бур'янів становила 275 шт./м², тоді як у посівах сої – 208 шт./м² та суттєве зниження до 130 шт./м² відмічено у посівах проса (додаток Л.1). Внесення побічної продукції попередника із сидератом зменшувало цей показник у пшениці ярої на 38,9 %, а комплексне удобрення – на 40,7 %. У посівах сої застосування сидерату зменшувало кількість бур'янів на 10,6 %, а комплексного удобрення – на 12,5 %; у проса відповідне зниження становило 21,5 і 23,8 %.. Отже, у 2023 р. найвиразніше на систему удобрення

реагувала пшениця яра, а провідним чинником зменшення кількості бур'янів у посівах був сидеральний компонент органічного удобрення.

У 2024 р. загальний рівень забур'яненості був значно нижчим. На контролі кількість бур'янів становила 102 шт./м² у посівах сої, 86 шт./м² – пшениці ярої та 39 шт./м² у посівах проса (додаток Л.2). Водночас навіть за нижчого загального рівня забур'яненості посівів культур сівозміни, вплив систем органічного удобрення на зменшення кількості бур'янів залишався чітко вираженим: за комплексного варіанта органічного удобрення забур'яненість зменшувалася відповідно на 19,6; 32,6 і 43,6 %. Найвищий відносний ефект у цей рік відмічено у агроценозі проса, що свідчить про вищу фітоценотичну стійкість цієї культури до сегетальної рослинності за поліпшення поживного режиму ґрунту.

У 2025 р. відмічено підвищення рівня забур'яненості у фазі повних сходів: на контрольному варіанті кількість бур'янів становила 271 шт./м² у посівах сої, 260 шт./м² – пшениці ярої та 172 шт./м² у посівах проса (додаток Л.3). За таких умов перевага систем удобрення із сидеральним компонентом у зниженні чисельності бур'янів була найбільш вираженою. Комплексне удобрення сприяло зменшенню кількості бур'янів у посівах сої на 35,8 %, пшениці ярої – на 33,5 % та на 35,5 % у посівах проса.

Отже, у 2023–2025 рр. простежувалася стала закономірність: за підвищеного рівня початкової забур'яненості ефективність системи органічного удобрення, що включали сидерат, зростала. Найстабільніше зниження кількості бур'янів забезпечувало поєднання побічної продукції попередника, поживного посіву сидерату (редька олійна) та біопрепарату, тоді як дія одного лише біопрепарату на ранніх етапах вегетації була менш вираженою.

На час збирання врожаю у посівах усіх культур відмічено зменшення кількості бур'янів порівняно з фазою повних сходів, що зумовлено самозрідженням бур'янової синузії та зростанням конкурентного впливу культур упродовж вегетації (табл. 4.2). У середньому за 2023–2025 рр. на контролі кількість бур'янів становила 118 шт./м² у посівах сої, 86 – пшениці ярої та

Таблиця 4.2

**Забур'яненість посівів культур короткоротаційної сівозміни на час збирання залежно від системи органічного
удобрення, шт./м², у середньому за 2023–2025 р.**

Культура сівозміни	Система удобрення	Кількість бур'янів, шт/м ²								Суха маса бур'янів, г/м ²		
		всього	в т. ч.					одно- дольні	дво- дольні	всього	одно- дольні	дво- дольні
			плоскуха звичайна	мишій сизий	лобода біла	редька дика	щириця звичайна					
Соя	п.п.п* (контроль)	118	62	39	11	2	4	101	17	124	54	70
	п.п.п + сидерат***	94	54	28	7	2	3	82	12	92	39	53
	п.п.п + біопрепарат***	91	50	30	6	2	3	80	11	87	37	50
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	68	38	21	5	1	3	59	9	68	27	42
	<i>S</i>	20,5	10,0	7,4	2,6	0,5	0,5	17,2	3,4	22,9	11,1	11,9
	<i>V, %</i>	22,0	19,6	25,1	36,3	28,6	15,4	21,3	27,8	24,7	28,3	22,2
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	86	41	33	5	4	3	74	12	84	37	47
	п.п.п + сидерат	58	33	15	4	3	3	48	10	53	22	31
	п.п.п + біопрепарат	54	34	14	3	2	1	48	6	50	22	28
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	41	20	14	3	2	2	34	7	41	17	24
	<i>S</i>	18,9	8,8	9,3	1,0	1,0	1,0	16,7	2,8	18,8	8,7	10,1
	<i>V, %</i>	31,7	27,4	49,2	25,5	34,8	42,6	32,7	31,5	33,0	35,8	31,1
Просо	п.п.п (контроль)	32	15	6	5	3	3	21	11	46	20	26
	п.п.п + сидерат	21	9	6	3	1	2	15	6	32	12	20
	п.п.п + біопрепарат	20	10	5	2	1	2	15	5	29	13	17
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	13	6	3	2	1	1	9	4	22	10	12
	<i>S</i>	7,9	3,7	1,4	1,4	1,0	0,8	4,9	3,1	10,3	4,5	6,1
	<i>V, %</i>	36,5	37,4	28,3	47,1	66,7	40,8	32,7	47,8	31,9	32,9	32,4

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

32 шт./м² у посівах проса. Порівняно з фазою повних сходів їх чисельність зменшилася відповідно на 39,2; 58,5 і 71,9 %, що підтверджує найвищу фітоценотичну здатність проса до пригнічення бур'янів у другій половині вегетації.

Найсприятливіші умови для формування конкурентоспроможного агрофітоценозу на час збирання врожаю забезпечувало комплексне застосування побічної продукції попередника, сидерату редьки олійної та біопрепарату. За цього варіанта посилювався розвиток культурних рослин, що сприяло повнішому використанню вологи, світла й елементів живлення, що посилювало їх конкурентну перевагу щодо бур'янів. За цього варіанта кількість бур'янів у посівах сої зменшувалася зі 118 до 68 шт./м², або на 42,4 %, пшениці ярої – з 86 до 41 шт./м², або на 52,3 % та у посівах проса – з 32 до 13 шт./м², або на 59,4 % порівняно з контролем (див. табл. 4.2). Таким чином, на кінець вегетації найвищий відносний ефект комплексного удобрення був характерний для проса, що пов'язано з його здатністю формувати щільніший і більш конкурентоспроможний агрофітоценоз

Окреме застосування сидерату або біопрепарату також сприяло зниженню загальної чисельності бур'янів, однак поступалося комплексній системі органічного удобрення. За вирощування сої кількість бур'янів за цих варіантів становила відповідно 94 і 91 шт./м², пшениці ярої – 58 і 54 та проса – 21 і 20 шт./м². Порівняно з фазою повних сходів, наприкінці вегетації роль біопрепарату у формуванні конкурентоспроможного агрофітоценозу була більш вираженою. Це свідчить, що його дія реалізувалася переважно через активізацію ростових процесів культурних рослин, поліпшення використання ними вологи й елементів живлення та посилення конкурентної переваги щодо бур'янів.

Більш об'єктивним показником конкурентного тиску є суха маса бур'янів. На контролі вона становила 124 г/м² у посівах сої, 84 г/м² – пшениці ярої та 46 г/м² у посівах проса. За комплексного органічного удобрення цей показник знижувався відповідно до 68, 41 і 22 г/м², або на 45,2; 51,2 і 52,2 % порівняно з контролем. Це підтверджує, що комплексна система органічного удобрення

сприяла формуванню більш конкурентоспроможного культурного агрофітоценозу, унаслідок чого зменшувалися не лише чисельність бур'янів, а й накопичення ними сухої маси.

Встановлено, що на час збирання врожаю у структурі забур'яненості посівів за чисельністю переважали однодольні види бур'янів, однак за рівнем накопичення сухої біомаси зростала роль дводольних видів. Так, у посівах сої на контролі кількість однодольних бур'янів становила 101 шт./м², дводольних – лише 17 шт./м², проте їх суха маса становила відповідно 54 і 70 г/м² (див. табл. 4.2). Подібну закономірність відмічено також у посівах пшениці ярої та проса. Таким чином, лобода біла, щириця звичайна та редька дика, за меншої чисельності, формували вищу індивідуальну масу рослин і тому істотно впливали на рівень конкурентного тиску в агрофітоценозі.

Аналіз забур'яненості на час збирання врожаю за роками проведення досліджень, підтвердив істотну залежність формування бур'янової синузії від умов року та конкурентної здатності культур сівозміни. У 2023 р. на контрольному варіанті найбільшу кількість бур'янів встановлено у посівах пшениці ярої – 184 шт./м², дещо меншу у посівах сої – 172 шт./м², а найнижчу за вирощування проса – 32 шт./м² (додаток Л.4). За використання комплексного органічного добрива їх чисельність зменшувалася відповідно до 92, 104 і 16 шт./м² або на 50,0, 39,5 та 50,0 % відповідно порівняно з контролем. Отже, у 2023 р. найвиразніше посилення конкурентної переваги культурного компонента агрофітоценозу відмічено у посівах пшениці ярої та проса.

У 2023 р. на контрольному варіанті найбільшу суху масу бур'янів сформовано у посівах сої – 151,8 г/м², меншу у посівах пшениці ярої – 124,8 г/м², а найнижчу у посівах проса – 54,8 г/м². За комплексного органічного добрива ці показники знижувалися відповідно до 85,2; 62,8 і 29,2 г/м², або на 43,9; 49,7 і 46,7 %. За показником сухої маси бур'янів у посівах сої та пшениці ярої застосування біопрепарату на фоні побічної продукції попередника забезпечувало результат, близький до системи добрив із сидератом, що

підтверджує його опосередковану дію через поліпшення ростових процесів культурних рослин і посилення їх конкурентної здатності.

У 2024 р. кількість бур'янів на час збирання врожаю була найнижчою за весь період досліджень. На контрольному варіанті вона становила 19 шт./м² у посівах сої, 32 шт./м² – пшениці ярої та 11 шт./м² – проса (додаток Л.5). За комплексного органічного удобрення ці показники знижувалися відповідно до 6, 14 і 4 шт./м², або на 68,4; 56,3 і 63,6 %. За низького загального рівня забур'яненості це свідчить, що поліпшення умов живлення сприяло формуванню щільнішого культурного агрофітоценозу та посиленню конкурентної переваги культур щодо сегетальної рослинності.

Водночас за сухою масою бур'янів у 2024 р. відмічена інша тенденція: попри невелику чисельність, окремі бур'янові рослини формували відносно значну біомасу. Особливо це проявлялося у посівах пшениці ярої, де на контрольному варіанті суха маса бур'янів становила 92,1 г/м². За комплексного органічного удобрення цей показник зменшувався на 51,4 % у посівах сої, на 49,5 % – пшениці ярої та на 55,7 % – проса. Отже, посилення розвитку культурних рослин за поліпшеного органічного живлення супроводжувалося зменшенням як чисельності бур'янів, так і їх сухої маси.

У 2025 р. на час збирання врожаю на контрольному варіанті кількість бур'янів становила 164 шт./м² у посівах сої, 41 шт./м² – пшениці ярої та 52 шт./м² – проса (додаток Л.6). Порівняно з фазою повних сходів відбулося істотне самозрідження бур'янової синузії, особливо в агроценозі пшениці ярої, де чисельність бур'янів зменшилася з 260 до 41 шт./м². За комплексного органічного удобрення цей показник становив 94 шт./м² у посівах сої, 18 шт./м² – пшениці ярої та 20 шт./м² – проса, тобто зменшувався порівняно з контролем відповідно на 42,7; 56,1 і 61,5 %.

Суха маса бур'янів у 2025 р. за комплексного органічного удобрення зменшувалася з 160,0 до 91,0 г/м² у посівах сої, з 35,6 до 13,1 г/м² – пшениці ярої та з 43,4 до 17,7 г/м² – проса (додаток Л.6). Відносне зниження становило відповідно 43,1; 63,2 і 59,2 %. Особливо виразною ця закономірність була за

виращування пшениці ярої, де за високої початкової забур'яненості на час збирання сформувалася найменша суха маса бур'янів. Це свідчить про високу реалізацію конкурентного потенціалу культури впродовж вегетації.

Узагальнення результатів за 2023–2025 рр. свідчить, що на ранніх етапах розвитку найбільше значення у зменшенні чисельності бур'янів мав сидеральний компонент, тоді як наприкінці вегетації помітніше проявлявся вплив біопрепарату через посилення росту культурних рослин. Найбільш стійка позитивна дія простежувалася за комплексного органічного удобрення, що створювало сприятливіші умови для розвитку культурних рослин і посилювало їх конкурентну перевагу щодо бур'янів. Водночас кількість бур'янів і накопичення ними сухої маси не завжди змінювалися пропорційно, оскільки менш чисельні дводольні види формували більшу індивідуальну масу рослин і помітно впливали на загальну суху масу бур'янів.

4.2. Конкурентна здатність культур сівозміни щодо сегетальної рослинності за різних систем органічного удобрення

Конкурентна здатність культури характеризує її спроможність обмежувати використання бур'янами життєвого простору та ресурсів середовища, а також зберігати продуктивність за їх наявності в посіві. Вона формується внаслідок взаємодії генетично зумовлених властивостей рослин, щільності агрофітоценозу, умов живлення, вологозабезпечення та строків появи бур'янів [171; 175; 206]. Важливими ознаками конкурентоспроможного посіву є швидкий початковий розвиток, висота рослин, інтенсивне стеблоутворення або кущіння, рівномірне покриття поверхні ґрунту, розвинена коренева система та здатність накопичувати значну надземну біомасу.

Використання лише кількості бур'янів для оцінювання конкурентних відносин є недостатнім, оскільки однакова чисельність може бути представлена видами, які істотно відрізняються за розмірами, темпами росту й потребою в ресурсах. Більш повне уявлення забезпечує зіставлення сухої надземної маси

культури та бур'янів. Співвідношення цих показників характеризує, яка частина біологічних ресурсів агрофітоценозу реалізована культурним компонентом, і дає змогу інтегрально оцінити результат міжвидової конкуренції.

Система органічного удобрення може змінювати конкурентну здатність культури через поліпшення поживного режиму, розвиток кореневої системи, збільшення площі асиміляційного апарату та накопичення сухої речовини. Однак додаткові ресурси можуть використовуватися і бур'янами, тому вирішальне значення має швидкість їх засвоєння культурними рослинами [204]. Поєднання органічної маси сидерату з біопрепаратом може створювати передумови для активнішого розвитку культури, проте такий вплив слід розглядати як опосередкований – через зміну ростових процесів і структури культурного компонента агрофітоценозу [232].

У зв'язку з цим проаналізовано чисельність, видовий склад і суху масу бур'янів у фазі повних сходів та на час збирання сої, пшениці ярої й проса за різних систем органічного удобрення. Поєднання цих показників дає змогу встановити біологічні механізми фітоценотичної переваги окремих культур і визначити систему органічного удобрення, за якої найбільш повно реалізується їх конкурентний потенціал щодо сегетальної рослинності.

У середньому за 2023–2025 рр. системи органічного удобрення позитивно впливали на морфометричні показники культур сівозміни, зокрема висоту рослин, кількість продуктивних стебел і зменшення частки непродуктивних стебел (табл. 4.3). За комплексного органічного удобрення висота рослин у посівах сої зростала з 78 до 91 см, або на 16,7 %, кількість продуктивних стебел – із 66 до 80 шт./м², тоді як непродуктивних зменшувалася з 6 до 3 шт./м², що свідчить про поліпшення ростових процесів і посилення фітоценотичної ролі культурних рослин у агрофітоценозах.

У посівах пшениці ярої дія систем органічного удобрення була особливо вираженою за показником висоти рослин: на контролі вона становила 85 см, за використання сидерату – 92 см, біопрепарату – 97 см, а за комплексного органічного удобрення – 104 см. Кількість продуктивних стебел за комплексної

системи зростала з 420 до 474 шт./м², а непродуктивних зменшувалася з 20 до 6 шт./м². Така зміна структури стеблостою посилювала конкурентну перевагу культури завдяки кращому використанню світла, вологи й елементів живлення.

Таблиця 4.3

Морфометричні показники рослин культур короткоротаційної сівозміни залежно від системи органічного удобрення, у середньому за 2023–2025 рр.

Система удобрення	Висота рослин, см	Кількість стебел, шт/м2	
		продуктивних	непродуктивних
Соя			
П.п.п (контроль)*	78±10	66±1	6±1,2
П.п.п + сидерат**	84±10	74±6	4±0,3
П.п.п + біопрепарат***	85±10	77±6	3±0,3
П.п.п + сидерат + біопрепарат	91±7	80±8	3±0,3
Пшениця яра			
П.п.п (контроль)	85±2	420±46	20±6,9
П.п.п + сидерат	92±2	451±56	11±3,5
П.п.п + біопрепарат	97±4	460±57	8±2,6
П.п.п + сидерат + біопрепарат	104±5	474±53	6±2,2
Просо			
П.п.п (контроль)	98±3	207±16	12±4,2
П.п.п + сидерат	104±3	232±16	7±2,4
П.п.п + біопрепарат	106±3	247±21	5±1,3
П.п.п + сидерат + біопрепарат	112±3	262±25	4±1,2

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

У посівах проса за комплексного органічного удобрення висота рослин збільшувалася з 98 до 112 см, а кількість продуктивних стебел – із 207 до 262 шт./м², або на 26,6 %, що було найвищим приростом серед досліджуваних культур сівозміни (табл. 4.3). Отже, просо найактивніше реагувало на поліпшення органічного живлення через формування продуктивнішого стеблостою, що обумовлювало його високу конкурентну здатність щодо сегетальної рослинності.

Порівняння систем удобрення показало, що найвищі морфометричні показники в усіх культурах формувалися за поєднання побічної продукції попередника, сидерату та біопрепарату. Сидеральний компонент сприяв поліпшенню умов ґрунтового живлення, тоді як біопрепарат посилював ростові процеси культурних рослин; їх поєднання забезпечувало найкращі умови для формування конкурентоспроможного агрофітоценозу.

Аналіз морфометричних показників і накопичення сухої маси за роками досліджень, підтвердив позитивний вплив комплексного органічного удобрення на розвиток культур сівозмін. У 2023 р. за його застосування висота рослин у посівах сої збільшувалася з 98 до 105 см, кількість продуктивних стебел із 64 до 73 шт./м², а загальна суха маса з 446 до 619 г/м² (додаток М.1). У посівах пшениці ярої відповідні показники зростали з 82 до 94 см, з 360 до 416 шт./м² і з 603 до 845 г/м², а за вирощування проса – зі 102 до 110 см, з 204 до 244 шт./м² і з 886 до 1082 г/м². Найбільший приріст сухої маси у 2023 р. відмічено у посівах пшениці ярої, що узгоджується зі зменшенням чисельності та сухої маси бур'янів у її агроценозі.

У 2024 р., на фоні комплексного органічного удобрення висота рослин сої зростала з 69 до 85 см, а загальна біомаса – з 366 до 518 г/м² (додаток М.2). У посівах пшениці ярої висота збільшувалася з 90 до 107 см, кількість продуктивних стебел з 510 до 580 шт./м² а суха біомаса з 805 до 1008 г/м². За вирощування проса ці показники зростали відповідно з 92 до 107 см, з 237 до 311 шт./м² та з 748 до 941 г/м². Особливо помітною була реакція проса за показником продуктивного стеблостою, що сприяло посиленню його конкурентної переваги щодо сегетальної рослинності.

У 2025 р. за комплексного органічного удобрення також відмічено посилення ростових процесів культур. У посівах сої висота рослин збільшувалася з 66 до 84 см, кількість продуктивних стебел з 67 до 95 шт./м² а загальна біомаса з 568 до 757 г/м² (додаток М.3). У посівах пшениці ярої відповідні показники становили 85 і 111 см, 390 і 425 шт./м², 902 і 1260 г/м², а за вирощування проса – 99 і 118 см, 181 і 231 шт./м², 723 і 1052 г/м² відповідно.

Найбільший приріст сухої маси цього року відмічено у посівах пшениці ярої та проса, що свідчить про високу реалізацію їх продуктивного потенціалу й конкурентного тиску на сегетальну рослинність.

Узагальнення результатів за роками показує, що комплексне органічне удобрення стабільно поліпшувало морфометричні параметри культур, однак характер реакції залежав від біологічних особливостей рослин. У посівах сої основний ефект проявлявся шляхом збільшення висоти рослин і кількості продуктивних стебел; у пшениці ярої – формування продуктивнішого стеблостою та інтенсивніше накопичення сухої маси, тоді як у проса – формування щільного продуктивного стеблостою, інтенсивне наростання надземної маси та високої фітоценотичної стійкості до бур'янів.

Накопичення сухої біомаси є інтегральним показником розвитку культурного компонента агрофітоценозу та його здатності ефективно використовувати вологу, світло й елементи живлення. У середньому за 2023–2025 рр. досліджувані системи органічного удобрення сприяли збільшенню сухої маси культур порівняно з контролем, однак найвищі значення формувалися за комплексного застосування побічної продукції попередника, сидерату та біопрепарату (табл. 4.4).

У посівах сої на контрольному варіанті загальна суха маса становила 460 г/м², тоді як за комплексного органічного удобрення зростала до 631 г/м², або на 37,2 %. Водночас маса коренів збільшувалася зі 104 до 134 г/м², листостеблової маси – з 227 до 311 г/м², зерна – зі 129 до 187 г/м². Це свідчить про посилення ростових процесів і підвищення біопродуктивності посівів сої на фоні поліпшеного органічного живлення.

У посівах пшениці ярої загальна суха маса за комплексного удобрення зростала з 770 до 1038 г/м², або на 34,8 %. Найбільший відносний приріст відмічено за масою коренів – з 98 до 159 г/м², або на 62,2 %, що має важливе агрофітоценотичне значення, оскільки розвиненіша коренева система посилює здатність культури конкурувати за вологу й елементи живлення. Маса зерна збільшувалася з 274 до 398 г/м², або на 45,3 %.

Особливості накопичення сухої біомаси культур сівозміни залежно від системи органічного удобрення, у середньому за 2023–2025 рр.

Культура сівозміни	Система удобрення	Маса, г /м ²			
		всього	в т. ч		
			коренів	соломи	зерна
Соя	п.п.п (контроль)*	460±59	104±9	227±33	129±18
	п.п.п + сидерат**	554±64	120±15	273±32	160±18
	п.п.п + біопрепарат***	563±64	124±15	276±33	162±18
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	631±69	134±13	311±38	187±21
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	770±88	98±13	398±32	274±47
	п.п.п + сидерат	885±92	117±26	436±26	332±44
	п.п.п + біопрепарат	939±96	143±20	448±30	348±49
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	1038±121	159±19	481±36	398±68
Просо	п.п.п (контроль)	786±51	77±8	454±2	255±46
	п.п.п + сидерат	905±39	92±12	505±22	308±29
	п.п.п + біопрепарат	939±35	100±13	519±21	319±24
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	1025±43	112±12	561±23	352±22

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

У посівах проса загальна суха маса на контрольному варіанті становила 786 г/м², а за комплексного органічного удобрення зростала до 1025 г/м², або на 30,4 %. Водночас маса коренів збільшувалася з 77 до 112 г/м², соломи – з 454 до 561 г/м², зерна – з 255 до 352 г/м². Високий рівень накопичення надземної маси навіть на контрольному варіанті свідчить про значний фітоценотичний потенціал проса та його здатність формувати конкурентоспроможний агроценоз щодо сегетальної рослинності.

Індекс конкурентної здатності культур щодо бур'янів доцільно розглядати як співвідношення сухої надземної маси культури до сухої маси бур'янів. Він інтегрує два взаємопов'язані процеси: накопичення біомаси культурними рослинами та рівень розвитку бур'янового компонента агрофітоценозу, тому є інформативнішим, ніж окремий аналіз лише чисельності бур'янів або біомаси культури.

У середньому за 2023–2025 рр. найнижчий індекс конкурентної здатності встановлено у посівах сої: на контролі він становив 3,3, за використання сидерату – 5,6, біопрепарату – 5,9, а за комплексного органічного удобрення – 8,8 (рис. 4.1). Незважаючи на зростання показника у 2,7 рази порівняно з контролем, соя поступалася пшениці ярій і просу, що підтверджує її вищу вразливість до забур'янення, особливо на початкових етапах росту і розвитку культури.

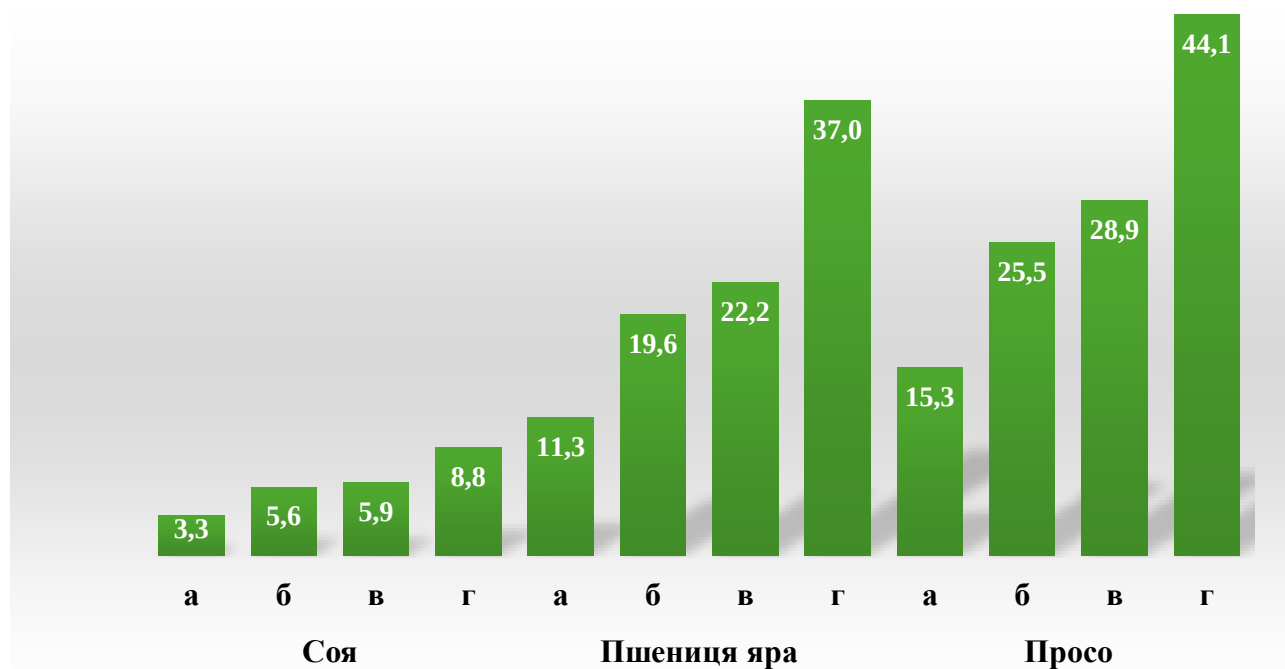


Рис. 4.1 Індекс конкурентної здатності культур сівозміни щодо бур'янів залежно від системи удобрення, у середньому за 2023–2025 рр.

Примітка. *а* – побічна продукція попередника; *б* – побічна продукція попередника + поживний посів сидерату (редька олійна); *в* – побічна продукція попередника + поживний посів редьки олійної; *г* – побічна продукція попередника + поживний посів сидерату (редька олійна) + біологічний препарат.

У посівах пшениці ярої індекс конкурентної здатності зростав з 11,3 на контролі до 37,0 за комплексного органічного удобрення, тобто у 3,3 рази. Вищі значення порівняно із соєю обумовлені формуванням продуктивнішого стеблостою, кращим покриттям поверхні ґрунту та значним накопиченням надземної фітомаси. Застосування у системі органічного удобрення біопрепарату забезпечувало зростання конкурентоспроможності культури порівняно із

сидеральною системою, що свідчить про його роль у посиленні ростових процесів культури.

Найвищий індекс конкурентної здатності формувався у посівах проса: від 15,3 на контролі до 44,1 за комплексного органічного удобрення (див. рис. 4.1), що пояснюється поєднанням формуванням потужної надземної маси культури та найнижчої сухої маси бур'янів на час збирання.

Порівняно із сидеральним удобренням, застосування біопрепарату забезпечувало дещо вищі значення індексу конкурентної здатності: у посівах сої – 5,9 проти 5,6, пшениці ярої – 22,2 проти 19,6, проса – 28,9 проти 25,5. Це пов'язано з тим, що індекс враховує не лише суху масу бур'янів, а й приріст біомаси культури. Найвищі значення в усіх культурах формувалися за поєднання сидерату й біопрепарату в системі органічного удобрення.

Одержані результати узгоджуються із сучасними підходами до екологічного регулювання забур'яненості в органічному землеробстві, згідно з якими важливе значення має не лише зменшення бур'янового компонента, а й формування конкурентоспроможного культурного агрофітоценозу.

Висновки до Розділу 4

1. За результатами проведених досліджень (2023–2025 рр.) в умовах нестійкого зволоження встановлено, що формування забур'яненості посівів культур короткоротаційної сівозміни істотно залежить від біологічних особливостей культур і фази їх розвитку. У фазі повних сходів найвищий рівень забур'яненості на контролі відмічено у посівах пшениці ярої – 207 шт./м², дещо нижчий у сої – 194 шт./м², а найнижчий у проса – 114 шт./м², що свідчить про різну початкову фітоценотичну стійкість культур: просо вже на ранніх етапах формує менш сприятливі умови для розвитку сегетальної рослинності, тоді як соя і пшениця яра є вразливішими культурами до забур'янення.

2. Найбільш стійке зниження забур'яненості посівів у фазі повних сходів формувалося за комплексного органічного удобрення, що поєднує застосування побічної продукції попередника, сидерат (пожнивний посів редьки олійної) та

біопрепарат. Кількість бур'янів зменшувалася у посівах сої з 194 до 146 шт./м², або на 24,7 %, пшениці ярої – з 207 до 131 шт./м², або на 36,7 % та у посівах проса – зі 114 до 78 шт./м², або на 31,6 %. На початкових етапах розвитку провідне значення мав сидеральний компонент, тоді як окреме застосування біопрепарату забезпечувало лише незначне зниження забур'яненості.

3. На час збирання врожаю конкурентна перевага культурного компонента агрофітоценозу посилювалася, що супроводжувалося зменшенням як чисельності бур'янів, так і їх сухої маси. За комплексного удобрення кількість бур'янів зменшувалася порівняно з контролем у посівах сої зі 118 до 68 шт./м², пшениці ярої – з 86 до 41 та проса з 32 до 13 шт./м². Суха маса бур'янів при цьому знижувалася відповідно зі 124 до 68 г/м², з 84 до 41 г/м² і з 46 до 22 г/м². Отже, найвищий відносний ефект наприкінці вегетації був характерний для проса і пшениці ярої, що пов'язано з кращою реалізацією їх продуктивного потенціалу та зростання конкурентного тиску культур на сегетальну рослинність.

4. Конкурентна здатність культур щодо сегетальної рослинності визначалася не лише рівнем забур'яненості, а й інтенсивністю росту культурних рослин, формуванням продуктивного стеблостою та накопиченням сухої біомаси. За комплексного органічного удобрення висота рослин зростала у посівах сої з 78 до 91 см, пшениці ярої – з 85 до 104 см, проса – з 98 до 112 см; загальна суха маса культур збільшувалася відповідно з 460 до 631 г/м², з 770 до 1038 г/м² і з 786 до 1025 г/м². Це забезпечувало найвищі значення індексу конкурентної здатності: у сої – 8,8, пшениці ярої – 37,0, проса – 44,1. Таким чином, дія комплексного органічного удобрення проявлялася не через безпосереднє пригнічення бур'янів, а через створення сприятливіших умов для росту культурних рослин і посилення їх конкурентної переваги в агрофітоценозі.

Основні результати досліджень за даним розділом опубліковано в наукових працях [98; 141].

РОЗДІЛ 5. АГРОБІОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ КОРОТКОРОТАЦІЙНОЇ ОРГАНІЧНОЇ СІВОЗМІНИ

Продуктивність сівозміни є інтегральним показником результативності системи землеробства, оскільки відображає сукупний вплив природних ресурсів, біологічних особливостей культур та застосованих агротехнічних заходів. Її формування визначається не лише потенційною продуктивністю окремих культур, а й характером їх чергування, забезпеченістю рослин елементами живлення, водним режимом ґрунту, інтенсивністю біологічних процесів та здатністю агроценозу повніше реалізовувати ресурсний потенціал агроєкосистеми. Тому оцінювання продуктивності сівозміни має охоплювати величину й стабільність урожаю, якість одержаної продукції та сукупний вихід поживних речовин з одиниці площі.

За органічного землеробства значення сівозміни істотно зростає, оскільки вона виконує не лише організаційну, а й провідну агробіологічну функцію. Науково обґрунтоване чергування культур забезпечує регулювання поживного режиму, раціональніше використання ґрунтової вологи, надходження органічної речовини та часткову компенсацію обмеженого застосування швидкодіючих мінеральних добрив. Водночас скорочення ротації підвищує вимоги до добору культур і системи удобрення, оскільки кожна ланка має одночасно забезпечувати формування товарної продукції, збереження та відтворення родючості ґрунту [84; 154].

Продуктивність короткоротаційної сівозміни значною мірою залежить від поєднання культур із різними біологічними властивостями. Включення зернобобових, зернових і круп'яних культур сприяє диференційованому використанню поживних речовин, вологи та життєвого простору кореневмісного шару ґрунту. Бобові культури відіграють важливу роль у біологізації землеробства завдяки здатності до симбіотичної азотфіксації та формуванню високобілкової продукції. Зернові культури забезпечують значний вихід основної

й побічної продукції, а круп'яні розширюють господарське призначення сівозміни та підвищують її адаптивність. Дослідження короткоротаційних сівозмін на чорноземі типовому підтверджують, що їхня продуктивність визначається не лише складом культур, а й здатністю окремих ланок забезпечувати сприятливі умови для наступних посівів [84].

Важливою умовою функціонування органічної сівозміни є посилення внутрішнього колообігу органічної речовини та елементів живлення в агроєкосистемі. За відсутності або обмеженого використання традиційних органічних добрив зростає роль побічної продукції попередника, сидеральної біомаси та біологічних препаратів. Залишення соломи й інших рослинних решток у полі збільшує надходження органічного вуглецю, однак ефективність їх використання залежить від швидкості розкладання та співвідношення вуглецю й азоту. Сидеральні культури доповнюють систему свіжою органічною масою, засвоюють поживні речовини з різних шарів ґрунту та зменшують їх непродуктивні втрати. Біопрепарати можуть активізувати трансформацію органічних сполук і підвищувати доступність окремих елементів живлення. Тому найбільш перспективним є не ізольоване використання цих компонентів, а їх узгоджене поєднання в єдиній системі органічного удобрення [17; 37].

Результативність органічного удобрення не можна оцінювати лише за кількістю внесеної органічної речовини. Вона залежить від якості рослинної біомаси, термінів її надходження, температури й вологості ґрунту, активності мікробіоти та відповідності динаміки мінералізації потребам культур. Дослідження С. Е. Дегодюка та А. О. Мулярчука засвідчили, що поєднання різних складових системи удобрення може забезпечувати вищу продуктивність порівняно з їх роздільним застосуванням, що свідчить про необхідність комплексного формування поживного режиму агроценозів [37]. М. Г. Василенко також наголошує на доцільності використання органо-мінеральних добрив і біологічно активних препаратів як складових технологій органічного вирощування культур [17].

У світовій науковій літературі продуктивність органічного землеробства оцінюють неоднозначно. Узагальнення результатів багатьох досліджень показує, що середня врожайність органічних агроценозів часто є нижчою порівняно з традиційними технологіями. Водночас рівень зниження врожайності в органічних агроценозах порівняно з традиційними істотно залежить від виду культури, ґрунтово-кліматичних умов і рівня агротехнічного забезпечення [237; 243]. Тому пряме протиставлення органічного й інтенсивного виробництва без урахування конкретних умов не дає повної характеристики їхньої результативності.

Одним із головних напрямів підвищення продуктивності органічних агроценозів є диверсифікація сівозмін. Збільшення кількості культур, використання сівозмін, проміжних посівів, сидератів та органічних добрив сприяє скороченню різниці в рівні врожайності між органічними та традиційними системами вирощування [235]. Дослідження також підтверджують, що агробіологічне урізноманітнення поліпшує кругообіг поживних речовин, родючість ґрунту, регулювання чисельності шкідливих організмів та інші екосистемні функції без обов'язкового зниження продуктивності [246]. Отже, ефективність органічної сівозміни має оцінюватися не за окремим агротехнічним заходом, а за сукупною взаємодією її компонентів.

Поряд із величиною врожаю необхідно враховувати якість зерна й насіння. Зростання врожайності не завжди супроводжується пропорційним підвищенням вмісту білка, жиру, клітковини або клейковини, оскільки формування цих компонентів залежить від забезпеченості рослин елементами живлення та гідротермічних умов у критичні періоди розвитку. Крім того, натуральна врожайність не дає змоги повною мірою порівняти культури, продукція яких відрізняється за хімічним складом і поживною цінністю. Для інтегральної оцінки доцільно визначати вихід кормових і зернових одиниць та перетравного протеїну з 1 га сівозмінної площі.

З огляду на це агробіологічна оцінка короткоротаційної органічної сівозміни соя – пшениця яра – просо передбачала встановлення впливу різних

систем органічного удобрення на врожайність культур, якість зерна й насіння та сукупний вихід продукції. Особливу увагу приділено порівнянню базового використання побічної продукції попередника з її поєднанням із сидератом редьки олійної, біопрепаратом та комплексним застосуванням цих компонентів. Такий підхід дав змогу визначити не лише реакцію окремих культур, а й загальну віддачу 1 га сівозмінної площі в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України.

5.1 Урожайність культур і якість зерна та насіння залежно від системи органічного удобрення

Урожайність є інтегральним результатом реалізації продуктивного потенціалу культури під впливом генотипу, ґрунтових умов, погодних чинників та технології вирощування. За органічного землеробства її формування значною мірою залежить від узгодженості між потребою рослин у поживних речовинах і швидкістю мінералізації органічних компонентів удобрення. Тому ефективність побічної продукції, сидератів і біопрепаратів може змінюватися залежно від культури та гідротермічних умов вегетаційного періоду.

Поліпшення живлення рослин сприяє розвитку листкової поверхні, збільшенню фотосинтетичного потенціалу та накопиченню органічної речовини, що створює передумови для підвищення врожайності. Дослідженнями встановлено істотну залежність формування асиміляційного апарату й урожайності зернової культури від рівня та способу застосування добрив [23]. Дослідження посівів сої в різноротаційних сівозмінах Лівобережного Лісостепу також підтверджують, що продуктивність і якість насіння залежать від попередника, структури сівозміни та системи удобрення [167].

За даними С. П. Танчика зі співавторами, реакція культур на удобрення формується у взаємодії із системою обробітку ґрунту та погодними умовами, тому однакові агротехнічні заходи можуть забезпечувати різну величину приросту врожайності за роками [153]. Водночас ефективність органічних і

біологізованих систем пов'язана з їхнім впливом на поживний режим ґрунту. Збереження підвищеного вмісту доступних форм азоту, фосфору й калію створює сприятливіші умови для реалізації потенціалу культур, однак не усуває залежності продуктивності від вологозабезпечення і температурного режиму [38].

Узагальнення результатів міжнародних досліджень підтверджують значну варіабельність співвідношення врожайності органічних і традиційних агроценозів. Величина розриву залежить від групи культур, регіону вирощування, рівня продуктивності та агротехнічного забезпечення [190]. Окремого значення набуває оцінювання міжрічної мінливості, оскільки стабільність урожайності характеризує здатність системи зберігати продуктивність за неоднакових умов вегетації. Амплітуда коливань урожайності за роками в органічних і традиційних системах землеробства не завжди істотно відрізняється, тоді як відносна стабільність значною мірою залежить від досягнутого рівня врожаю [209].

Важливим складником агробіологічної оцінки є якість одержаної продукції. Вміст білка, жиру, клітковини та клейковини формується під впливом біологічних особливостей культури, забезпеченості азотом і погодних умов у період наливу зерна та насіння. Результати систематичних оглядів свідчать, що органічна система вирощування може змінювати вміст окремих компонентів рослинної продукції, однак спрямованість змін не є однаковою для всіх культур і показників [177; 212]. Тому оцінювання якості має ґрунтуватися на фактичних результатах конкретного польового дослідження, а не на загальному припущенні про безумовну перевагу певної системи виробництва.

З огляду на зазначене у підрозділі 5.1 проведено порівняльну оцінку врожайності сої, пшениці ярої та проса за різних систем органічного удобрення, визначено її мінливість упродовж 2023–2025 рр. та проаналізовано вміст основних показників якості зерна й насіння. Це дало змогу встановити особливості реакції культур на окреме й комплексне застосування побічної продукції попередника, сидерату редьки олійної та біопрепарату.

Результати досліджень за 2023–2025 рр. засвідчили, що включення сидерату редьки олійної та біопрепарату до системи органічного удобрення сприяло підвищенню врожайності всіх культур короткоротаційної сівозміни, однак величина приросту залежала від культури та умов року (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Урожайність культур короткоротаційної сівозміни залежно від системи органічного удобрення, т/га, за 2023–2025 рр.

Система удобрення*		Роки досліджень			Середнє за 2023- 2025 рр.	Приріст до контролю	
		2023	2024	2025		т/га	%
Соя							
П.п.п* (контроль)		1,30	0,98	1,59	1,29	—	—
П.п.п. + сидерат (редька олійна)		1,52	1,33	1,94	1,60	0,31	24,0
П.п.п. + біопрепарат**		1,55	1,36	1,96	1,62	0,33	25,6
П.п.п + сидерат + біопрепарат		1,67	1,65	2,29	1,87	0,58	45,0
Пшениця яра							
П.п.п (контроль)		1,84	2,98	3,41	2,74	—	—
П.п.п. + сидерат (редька олійна)		2,49	3,48	4,00	3,32	0,58	21,2
П.п.п. + біопрепарат		2,59	3,57	4,27	3,48	0,74	27,0
П.п.п + сидерат + біопрепарат		2,95	3,73	5,25	3,98	1,24	45,3
Просо							
П.п.п (контроль)		3,43	2,37	1,86	2,55	—	—
П.п.п. + сидерат (редька олійна)		3,65	2,86	2,73	3,08	0,53	20,8
П.п.п. + біопрепарат		3,67	2,93	2,98	3,19	0,64	25,1
П.п.п + сидерат + біопрепарат		3,96	3,31	3,29	3,52	0,97	38,0
НІР ₀₅	Соя	0,05	0,12	0,12	0,10	—	—
	Пшениця яра	0,28	0,24	0,21	0,24	—	—
	Просо	0,06	0,06	0,16	0,09	—	—

Примітка. *— побічна продукція попередника; ** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

У середньому за три роки врожайність насіння сої на контрольному варіанті становила 1,29 т/га. За використання побічної продукції попередника із сидератом вона підвищувалася до 1,60 т/га, або на 24,0 %, а на фоні застосування біопрепарату – до 1,62 т/га, або на 25,6 %. Найвищу врожайність, 1,87 т/га, сформовано за комплексного органічного удобрення, що на 0,58 т/га, або 45,0 %,

перевищувало контроль. Різниця між сидеральною системою та варіантом із біопрепаратом була незначною, тоді як їх поєднання забезпечувало додаткове підвищення врожайності на 0,25–0,27 т/га.

Реакція сої на системи удобрення істотно змінювалася за роками. У 2023 р. урожайність на контролі становила 1,30 т/га, а за комплексного удобрення – 1,67 т/га, тобто зростала на 28,5 %. У 2024 р. за найменш сприятливих умов для формування врожайності сої відповідні показники становили 0,98 т/га на контролі та 1,65 т/га за комплексного органічного удобрення. Відносний приріст досягав 68,4 %, що свідчить про особливо виражену реакцію сої на поліпшення умов органічного живлення у рік із найнижчим рівнем урожайності насіння сої. У 2025 р. отримано найвищу врожайність насіння: 1,59 т/га на контролі та 2,29 т/га за комплексного удобрення, або на 44,0 % більше. Упродовж усіх років досліджень приріст урожайності сої за комплексного органічного удобрення порівняно з контролем був статистично достовірним, тоді як різниця між варіантами із сидератом і біопрепаратом не перевищувала HP_{05} .

Урожайність пшениці ярої у середньому за 2023–2025 рр. змінювалася від 2,74 т/га на контролі до 3,98 т/га за комплексного органічного удобрення. Приріст становив 1,24 т/га, або 45,3 %, і був найбільшим за абсолютною величиною серед культур сівозміни. За використання сидерату одержано 3,32 т/га зерна, що на 21,2 % перевищувало контроль, а за внесення біопрепарату – 3,48 т/га, або на 27,0 % більше. Різниця між урожайністю за використання сидерату та біопрепарату становила 0,16 т/га і не перевищувала HP_{05} , що свідчить про відсутність статистично достовірної різниці між цими варіантами.

Упродовж 2023–2025 рр. урожайність зерна пшениці ярої мала чітку тенденцію до підвищення. На контролі вона зростала з 1,84 до 3,41 т/га, а за комплексного органічного удобрення – з 2,95 до 5,25 т/га. Відносна ефективність комплексного органічного удобрення змінювалася за роками: приріст урожайності пшениці ярої порівняно з контролем становив 60,3 % у 2023 р., зменшувався до 25,2 % у 2024 р. і зростав до 54,0 % у 2025 р. У 2025 р. комплексне поєднання побічної продукції попередника, сидерату та біопрепарату

забезпечило найбільший за роки досліджень абсолютний приріст урожайності пшениці ярої – 1,84 т/га порівняно з контролем. Отже, комплексне органічне удобрення забезпечувало найвищу врожайність пшениці ярої в усі роки досліджень, водночас абсолютний приріст урожайності змінювався залежно від кліматичних умов вегетаційного періоду року досліджень

Просо характеризувалося найвищою врожайністю на контрольному варіанті серед досліджуваних культур – 2,55 т/га у середньому за три роки. За використання сидерату вона зростала до 3,08 т/га, або на 20,8 %, на фоні внесення біопрепарату – до 3,19 т/га, або на 25,1 %, а за комплексного органічного удобрення – до 3,52 т/га. Приріст до контролю становив 0,97 т/га, або 38,0 %. Відносний приріст урожайності проса за комплексного органічного удобрення був дещо меншим, ніж у сої та пшениці ярої, що частково зумовлено вищим рівнем урожайності культури на контрольному варіанті.

Динаміка врожайності зерна проса за роками досліджень мала протилежну спрямованість порівняно з пшеницею ярою. На контрольному варіанті вона зменшувалася з 3,43 т/га у 2023 р. до 2,37 т/га у 2024 р. та 1,86 т/га у 2025 р. За комплексного удобрення відповідні показники становили 3,96; 3,31 і 3,29 т/га. Тому відносний приріст до контролю збільшувався з 15,5 % у 2023 р. до 39,7 % у 2024 р. і 76,9 % у 2025 р. Це свідчить, що за зниження загального рівня врожайності зерна проса перевага комплексної системи органічного удобрення ставала більш вираженою. Зниження врожайності проса між 2023 і 2025 рр. становило 45,8 % на контролі та 16,9 % за комплексного органічного удобрення, що вказує на більшу стійкість формування продуктивності культури за поєднання сидерату й біопрепарату.

Порівняння культур показало, що системи із сидератом і біопрепаратом окремо забезпечували близький рівень підвищення врожайності. У середньому за 2023–2025 рр. за застосування біопрепарату врожайність насіння сої перевищувала показник сидерального варіанта на 0,02 т/га, зерна пшениці ярої – на 0,16 т/га та зерна проса на 0,11 т/га. Різниця між варіантами у посівах сої та пшениці ярої не перевищувала HP_{05} , тоді як за вирощування проса була

статистично достовірною. Поєднання обох складових посилювало реакцію культур і забезпечувало найвищі значення врожайності в усі роки досліджень. Найбільший відносний приріст у середньому сформували соя та пшениця яра, тоді як просо вирізнялося вищою базовою продуктивністю й меншою амплітудою її зниження за комплексного удобрення.

Поряд із величиною врожаю важливим критерієм агробіологічної оцінки є якість одержаної продукції. Системи органічного удобрення по-різному впливали на вміст білка, клітковини або клейковини та жиру залежно від біологічних особливостей культури (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Показники якості зерна пшениці ярої, проса та насіння сої залежно від системи удобрення, %, середнє за 2023–2025 рр.

Культура сівозміни	Система удобрення	Уміст, %		
		білка, %	клітковини / клейковини*, %	жиру, %
Соя	П.п.п** (контроль)	35,0±2,5	7,02±0,06	19,7±0,8
	П.п.п. + сидерат (редька олійна)	35,7±2,5	7,00±0,06	19,3±0,9
	П.п.п. + біопрепарат***	35,8±2,8	7,11±0,13	18,9±0,5
	П.п.п + сидерат + біопрепарат	36,4±2,8	7,21±0,16	18,2±0,3
	<i>S</i>	0,58	0,09	0,63
	<i>V</i> , %	1,62	1,32	3,33
Пшениця яра	П.п.п (контроль)	12,2±0,9	24,1±1,1	2,01±0,04
	П.п.п. + сидерат (редька олійна)	12,7±0,7	24,9±1,3	1,93±0,07
	П.п.п. + біопрепарат	12,8±1,1	25,1±1,5	1,93±0,06
	П.п.п + сидерат + біопрепарат	13,3±0,9	26,3±1,9	1,86±0,09
	<i>S</i>	0,45	0,91	0,06
	<i>V</i> , %	3,51	3,63	3,03
Просо	П.п.п (контроль)	11,0±0,24	5,47±0,37	3,59±0,16
	П.п.п. + сидерат (редька олійна)	11,0±0,14	5,57±0,38	3,60±0,11
	П.п.п. + біопрепарат	11,0±0,17	5,54±0,38	3,61±0,13
	П.п.п + сидерат + біопрепарат	11,2±0,27	5,58±0,39	3,69±0,10
	<i>S</i>	0,08	0,05	0,04
	<i>V</i> , %	0,76	0,91	1,23

Примітка. * – клітковина у зерні проса та насінні сої, клейковина у зерні пшениці ярої;
** – побічна продукція попередника; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

У насінні сої вміст білка на контрольному варіанті становив у середньому 35,0 %, за сидерального удобрення – 35,7 %, за використання біопрепарату –

35,8 %, а за комплексної системи – 36,4 %. Отже, максимальне збільшення відносно контролю становило 1,4 %. Вміст клітковини змінювався у вузьких межах – від 7,00 до 7,21 %, що свідчить про незначний вплив систем удобрення на цей показник. Водночас зі зростанням вмісту білка простежувалося зменшення частки жиру з 19,7 % на контролі до 18,2 % за комплексного органічного удобрення. Така зміна характеризує особливості формування біохімічного складу насіння сої, зокрема співвідношення вмісту білка, жиру та клітковини, однак не дає підстав розглядати підвищення врожайності як пропорційне збільшення всіх показників його хімічного складу.

Результати за окремими роками показали, що показники якості насіння сої більшою мірою варіювали за роками досліджень, ніж між варіантами органічного удобрення. (додаток М). Вміст білка на контролі зменшувався з 39,5 % у 2023 р. до 34,8 % у 2024 р. і 30,8 % у 2025 р., а за комплексного удобрення – відповідно з 41,6 до 35,9 і 31,9 %. Водночас перевага комплексної системи над контролем зберігалася щороку і становила 1,1–2,1 %. Вміст клітковини залишався відносно стабільним, тоді як вміст жиру мав загальну тенденцію до зниження від 2023 до 2025 р. Отже, органічне удобрення визначало спрямованість змін окремих показників, однак їх абсолютний рівень значною мірою визначався гідротермічними умовами вегетаційного періоду.

У зерні пшениці ярої комплексне органічне удобрення забезпечувало одночасне підвищення вмісту білка і клейковини. У середньому за три роки вміст білка зростав з 12,2 % на контролі до 13,3 %, або на 1,1 %. Вміст клейковини підвищувався з 24,1 до 26,3 %, тобто на 2,2 %. За сидерального удобрення ці показники становили відповідно 12,7 і 24,9 %, а за застосування біопрепарату – 12,8 і 25,1 %. Отже, біопрепарат і сидерат окремо мали близький вплив, тоді як їх поєднання створювало сприятливіші умови для підвищення вмісту білка та клейковини. Вміст жиру, навпаки, зменшувався з 2,01 до 1,86 %.

Якісні показники зерна пшениці ярої істотно змінювалися за роками. Найвищий вміст білка сформувався у 2024 р. – 13,8–14,8 %, тоді як у 2025 р. він знижувався до 10,8–11,9 %. Вміст клейковини був максимальним у 2023 р.,

особливо за комплексного органічного удобрення – 30,2 %, а у 2024 і 2025 рр. становив відповідно 24,6 і 24,2 %. Незважаючи на варіабельність показників за роками досліджень, комплексна система забезпечувала найвищий або близький до найвищого рівень вмісту білка і клейковини в кожному році досліджень.

Показники якості зерна проса характеризувалися найменшою варіабельністю серед досліджуваних культур сівозміни. У середньому вміст білка змінювався лише від 11,0 % на контролі до 11,2 % за комплексного удобрення, клітковини – від 5,47 до 5,58 %, жиру – від 3,59 до 3,69 %. За роками вміст білка у зерні проса залишався в межах 10,7–11,7 %, тоді як більші коливання були характерні для клітковини й жиру. Отже, системи удобрення істотніше впливали на врожайність проса, ніж на його основні якісні характеристики.

Загалом комплексне застосування побічної продукції попередника, сидерату редьки олійної та біопрепарату забезпечувало найвищу врожайність усіх культур, а також підвищення вмісту білка в насінні сої та білка й клейковини в зерні пшениці ярої. Найбільше підвищення вмісту білка за комплексного органічного удобрення встановлено в насінні сої та зерні пшениці ярої – відповідно на 1,4 і 1,1 % порівняно з контролем. У зерні пшениці ярої вміст клейковини додатково зростав на 2,2 %. Показники якості зерна проса характеризувалися найменшою варіабельністю, тому позитивний вплив комплексного удобрення проявлявся переважно у підвищенні врожайності.

5.2 Порівняльна оцінка продуктивності сівозміни за виходом кормових і зернових одиниць та перетравного протеїну залежно від системи органічного удобрення

Урожайність є основним показником продуктивності окремої культури, однак її використання недостатнє для порівняння різних за біологічними властивостями та господарським призначенням компонентів сівозміни. Однакова маса зерна або насіння може істотно відрізнятися за енергетичною цінністю, вмістом білка та придатністю до використання на продовольчі й кормові цілі.

Оцінювання за виходом основної і побічної продукції, сухої речовини, кормових одиниць та перетравного протеїну дає змогу встановити відмінності між елементами технології вирощування, які неможливо належно оцінити лише за показниками врожайності окремих культур [127]. Дослідження ряду авторів підтверджено тісний зв'язок між продуктивністю сівозміни, масою рослинних решток і рівнем удобрення [122].

Доцільність застосування уніфікованих показників підтверджена дослідженнями короткоротаційних сівозмін Лівобережного Лісостепу. Перерахунок урожаю в зернові та кормові одиниці й перетравний протеїн забезпечує можливість зіставлення культур та визначення їхнього внеску в сукупну продуктивність 1 га сівозмінної площі [166]. Дослідженнями, проведеними Л. В. Центилю встановлено, що загальна віддача сівозміни залежить від взаємодії удобрення й обробітку ґрунту та може істотно відрізнятися від результатів оцінювання окремої культури [164].

Особливе значення для структури продуктивності має наявність у сівозміні зернобобового компонента. Соя поступається окремим зерновим культурам за виходом кормових або зернових одиниць, однак завдяки високому вмісту білка відіграє провідну роль у формуванні збору перетравного протеїну. Включення бобових культур у сівозміни також впливає на використання азоту, продуктивність наступних культур та екологічні показники системи [236]. Європейські дослідження засвідчують, що значення зернобобових необхідно оцінювати не лише за врожайністю конкретної культури, а й за їх системною роллю у формуванні рослинного білка та функціонуванні всієї сівозміни [252].

Узагальнення наукових даних підтверджує багатофункціональне значення бобових культур: вони забезпечують високобілкову продукцію, зменшують залежність сівозмін від зовнішніх джерел азоту та позитивно впливають на наступні культури [245]. Водночас їх агробіологічні переваги часто недостатньо враховуються за оцінювання лише економічної результативності або врожайності. Саме тому в наукових дослідженнях посилюється увага до показників виходу білка та загальної продуктивності сівозмін [254].

Кормові одиниці характеризують загальну поживність одержаної продукції, зернові одиниці дають змогу порівняти культури за умовним зерновим еквівалентом, а збір перетравного протеїну відображає їхню білкову цінність. Сукупне застосування цих показників забезпечує багатосторонню оцінку продуктивності та дає змогу встановити, за рахунок якої культури формується енергетична, зернова й протеїнова складові сівозміни.

Порівняльне оцінювання збору кормових і зернових одиниць та перетравного протеїну в розрахунку на 1 га сівозмінної площі дало змогу встановити загальну агробіологічну результативність досліджуваних систем органічного удобрення та внесок кожної культури у формування сукупної продуктивності короткоротаційної сівозміни.

За результатами досліджень, встановлено, що збір кормових одиниць переважно повторював закономірності формування врожайності культур (табл. 5.3). У посівах сої на контрольному варіанті він становив у середньому 1,78 т/га, за використання сидерату – 2,21 т/га, біопрепарату – 2,24 т/га, а за комплексного органічного удобрення – 2,58 т/га. Приріст до контролю за комплексної системи органічного удобрення становив 0,80 т/га, або 45,2 %. Неістотна різниця збору кормових одиниць за використання сидерату та біопрепарату свідчить про близький рівень їх впливу на формування показників продуктивності культури.

За вирощування пшениці ярої сформовано найвищий середній збір кормових одиниць серед культур сівозміни. На контрольному варіанті він становив 3,35 т/га, а за комплексного органічного удобрення зростав до 4,85 т/га, або на 45,0 %. Застосування сидерату та біопрепарату окремо забезпечувало відповідно 4,06 і 4,24 т/га, що свідчить про близький рівень їх впливу на кормову продуктивність культури. За роками простежувалося послідовне підвищення показника: за комплексного удобрення – від 3,60 т/га у 2023 р. до 4,55 т/га у 2024 р. і 6,41 т/га у 2025 р. Максимальне значення останнього року узгоджувалося з найвищою врожайністю зерна пшениці ярої та свідчило про найповнішу реалізацію її продуктивного потенціалу.

Таблиця 5.3

Збір кормових одиниць залежно від системи органічного удобрення, т/га, за 2023–2025 рр.

Система удобрення*	Роки досліджень			Середнє за 2023-2025 рр.	Приріст до контролю	
	2023	2024	2025		т/га	%
Соя						
П.п.п* (контроль)	1,79	1,35	2,19	1,78	–	–
П.п.п. + сидерат (редька олійна)	2,10	1,84	2,68	2,21	0,43	24,2
П.п.п. + біопрепарат**	2,14	1,88	2,70	2,24	0,46	26,1
П.п.п + сидерат + біопрепарат	2,30	2,28	3,16	2,58	0,80	45,2
S	0,43	0,07	0,21	0,38	–	–
V, %	14,9	14,8	10,2	20,7	–	–
Пшениця яра						
П.п.п (контроль)	2,24	3,64	4,16	3,35	–	–
П.п.п. + сидерат (редька олійна)	3,04	4,25	4,88	4,06	0,71	21,2
П.п.п. + біопрепарат	3,16	4,36	5,21	4,24	0,90	26,8
П.п.п + сидерат + біопрепарат	3,60	4,55	6,41	4,85	1,51	45,0
S	0,51	0,04	0,57	0,39	–	–
V, %	15,0	15,2	18,8	9,4	–	–
Просо						
П.п.п (контроль)	3,77	2,61	2,05	2,81	–	–
П.п.п. + сидерат (редька олійна)	4,02	3,15	3,00	3,39	0,58	20,6
П.п.п. + біопрепарат	4,04	3,22	3,28	3,51	0,70	25,0
П.п.п + сидерат + біопрепарат	4,36	3,64	3,62	3,87	1,06	37,8
S	0,36	0,03	0,24	0,42	–	–
V, %	13,0	12,9	6,0	13,4	–	–

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

За вирощування проса середній збір кормових одиниць становив 2,81 т/га на контролі та 3,87 т/га за комплексного органічного удобрення, що відповідало приросту 1,06 т/га, або 37,8 %. На фоні застосування сидерату цей показник підвищувався до 3,39 т/га, біопрепарату – до 3,51 т/га. На відміну від пшениці ярої, кормова продуктивність проса за роками знижувалася: за комплексного удобрення – з 4,36 т/га у 2023 р. до 3,64 т/га у 2024 р. та 3,62 т/га у 2025 р. Водночас у 2023 р. просо забезпечувало найвищий серед культур сівозміни збір

кормових одиниць, що пов'язано з максимальною врожайністю зерна цієї культури в зазначений рік. Отже, пшениця яра характеризувалася зростаючою динамікою кормової продуктивності, тоді як у проса вона була вищою на початку досліджень і зменшувалася у наступні роки.

У розрахунку на 1 га сівозмінної площі середній збір кормових одиниць на контролі становив 2,64 т, за використання сидерату – 3,22 т, біопрепарату – 3,33 т, а за комплексного органічного удобрення – 3,77 т (рис. 5.1).

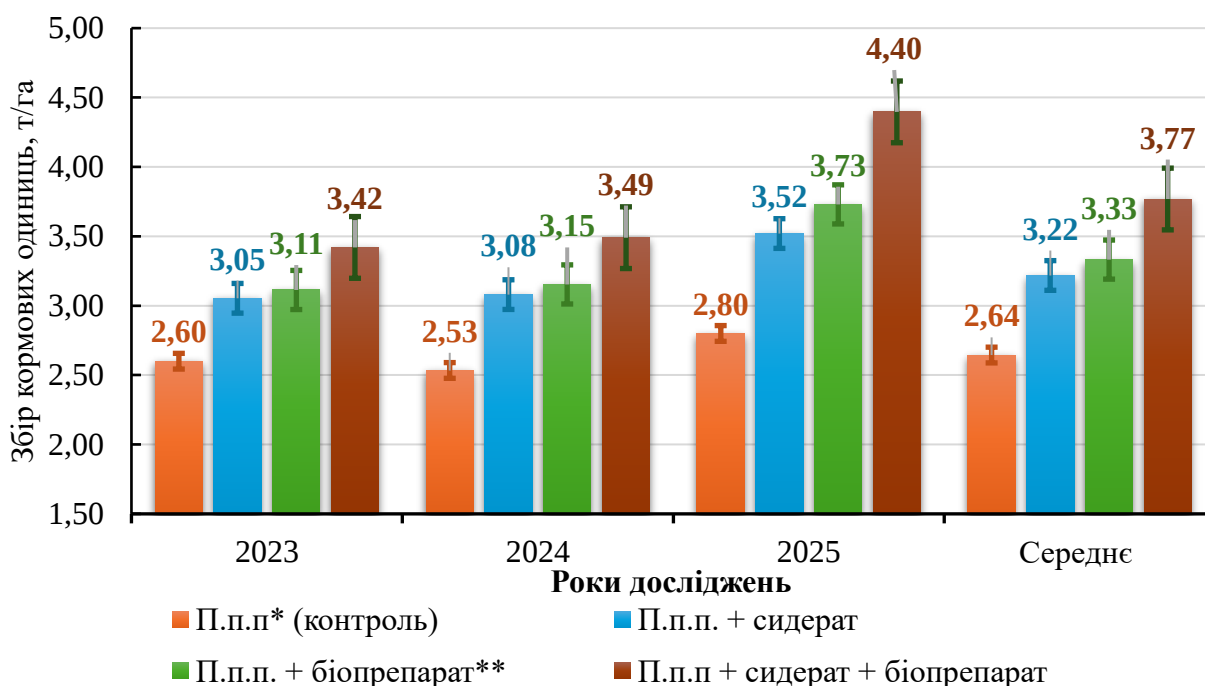


Рис. 5.1 Збір кормових одиниць з 1 га сівозмінної площі, т, за 2023–2025 рр.

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Перевага комплексної системи над контролем дорівнювала 1,13 т/га, або 42,8 %. Порівняно з окремим застосуванням біопрепарату додатковий приріст становив 0,44 т/га, або 13,2 %.

Річна динаміка збору кормових одиниць в розрахунку на 1 га сівозмінної площі підтвердила залежність показника від фактичного рівня продуктивності окремих культур. На контролі він становив 2,60 т/га у 2023 р., 2,53 т/га у 2024 р. та 2,80 т/га у 2025 р. За комплексної системи органічного удобрення відповідні значення становили 3,42; 3,49 і 4,40 т/га. Отже, перевага комплексної системи

зростала від 31,5 % у 2023 р. до 37,9 % у 2024 р. і 57,1 % у 2025 р. Найвищий показник у 2025 р. був зумовлений передусім високою продуктивністю пшениці ярої та сої.

У всіх культурах сівозміни збір зернових одиниць закономірно підвищувався за переходу від базового варіанта удобрення (побічна продукція попередника) до системи із сидератом, біопрепаратом та їх комплексним застосуванням. (табл. 5.4). У посівах сої він зростав з 2,32 т/га на контролі до 3,37 т/га за комплексного удобрення, або на 45,1 %. У пшениці ярої відповідні значення становили 2,74 і 3,98 т/га, а приріст – 45,0 %. У проса показник підвищувався з 2,30 до 3,17 т/га, або на 37,9 %. Таким чином, за комплексного органічного удобрення пшениця яра забезпечувала найбільший збір зернових одиниць – 3,98 т/га, перевищуючи відповідні показники сої та проса на 0,61 і 0,81 т/га.

За сидерального удобрення збір зернових одиниць перевищував контроль на 20,8–23,9 %, а за застосування біопрепарату забезпечувало зростання даного показнику на 25,1–26,7 %.

Незначна різниця між показниками за окремого застосування сидерату та біопрепарату свідчить про близьку ефективність цих варіантів органічного удобрення. Водночас комплексне поєднання компонентів органічного удобрення порівняно з окремим застосуванням біопрепарату забезпечувало додатковий приріст збору зернових одиниць: за вирощування сої – 0,45 т/га, пшениці ярої – 0,50 т/га, проса – 0,30 т/га.

У розрахунку на 1 га сівозмінної площі середній збір зернових одиниць, становив 2,45 т на контролі, 2,99 т за сидерального удобрення, 3,09 т за використання біопрепарату та 3,51 т за комплексної системи (рис. 5.2). Отже, приріст за комплексного органічного удобрення дорівнював 1,06 т/га, або 43,1 %. За роками показник на контролі змінювався від 2,29 до 2,65 т/га, а за комплексної системи – від 3,17 до 4,11 т/га. Перевага останньої становила 31,0 % у 2023 р., 41,0 % у 2024 р. та 55,1 % у 2025 р. Найбільше зростання у 2025 р. було пов'язане з підвищенням урожайності сої та пшениці ярої.

Таблиця 5.4

Збір зернових одиниць залежно від системи органічного удобрення, т/га, за 2023–2025 рр.

Система удобрення*	Роки досліджень			Середнє за 2023-2025 рр.	Приріст до контролю	
	2023	2024	2025		т/га	%
Соя						
П.п.п* (контроль)	2,34	1,76	2,86	2,32	—	—
П.п.п. + сидерат (редька олійна)	2,74	2,39	3,49	2,87	0,55	23,9
П.п.п. + біопрепарат**	2,79	2,45	3,53	2,92	0,60	26,0
П.п.п + сидерат + біопрепарат	3,01	2,97	4,12	3,37	1,05	45,1
S	0,43	0,07	0,28	0,50	—	—
V, %	14,9	14,8	10,3	20,7	—	—
Пшениця яра						
П.п.п (контроль)	1,84	2,98	3,41	2,74	—	—
П.п.п. + сидерат (редька олійна)	2,49	3,48	4,00	3,32	0,58	21,1
П.п.п. + біопрепарат	2,59	3,57	4,27	3,48	0,73	26,7
П.п.п + сидерат + біопрепарат	2,95	3,73	5,25	3,98	1,23	45,0
S	0,51	0,04	0,46	0,32	—	—
V, %	15,0	15,2	18,7	9,4	—	—
Просо						
П.п.п (контроль)	3,09	2,13	1,67	2,30	—	—
П.п.п. + сидерат (редька олійна)	3,29	2,57	2,46	2,77	0,48	20,8
П.п.п. + біопрепарат	3,30	2,64	2,68	2,87	0,58	25,1
П.п.п + сидерат + біопрепарат	3,56	2,98	2,96	3,17	0,87	37,9
S	0,36	0,03	0,19	0,35	—	—
V, %	13,0	12,9	5,8	13,5	—	—

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Збір перетравного протеїну залежав не лише від величини врожаю, а й від біохімічного складу вирощеної рослинницької продукції, тому співвідношення культур за цим показником відрізнялося від збору кормових і зернових одиниць (табл. 5.5). Найбільший вихід перетравного протеїну забезпечувала соя. На контрольному варіанті збір перетравного протеїну становив у середньому 0,37 т/га, а за комплексного органічного удобрення зростав до 0,54 т/га, перевищуючи

контрольний показник на 0,17 т/га, або 44,6 %. За використання сидерату й біопрепарату показник становив відповідно 0,46 і 0,47 т/га.

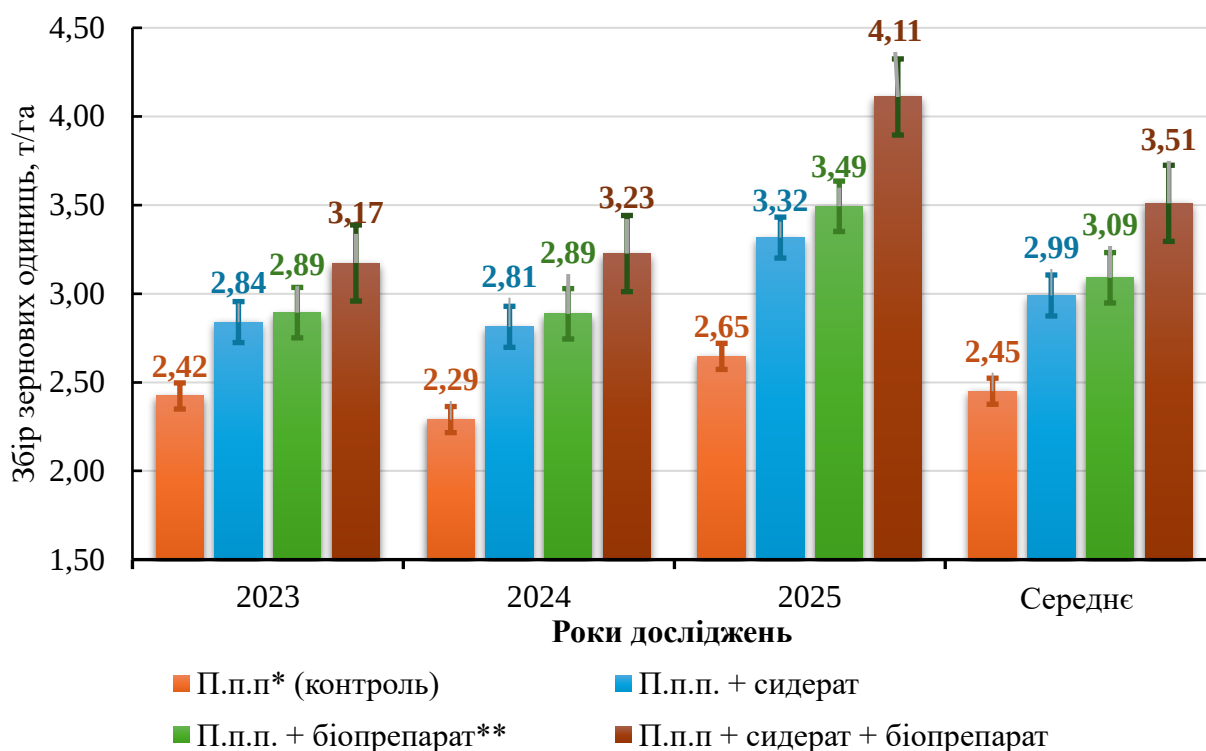


Рис. 5.2 Збір зернових одиниць з 1 га сівозмінної площі, т, за 2023–2025 рр.

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

За вирощування пшениці ярої збір перетравного протеїну змінювався від 0,22 т/га на контролі до 0,32 т/га за комплексного удобрення. Водночас абсолютний збір перетравного протеїну за вирощування пшениці ярої був нижчим, ніж за вирощування сої. За вирощування проса відповідні показники становили 0,20 і 0,28 т/га, а приріст – 37,7 %.

Отже, внесок культур у протеїнову продуктивність сівозміни визначався поєднанням урожайності та вмісту білка: соя забезпечувала найбільший абсолютний вихід, пшениця яра – найбільший відносний приріст, а просо – нижчий, але стабільний рівень показника.

Таблиця 5.5

**Збір перетравного протеїну залежно від системи органічного удобрення,
т/га, за 2023–2025 рр.**

Система удобрення*	Роки досліджень			Середнє за 2023- 2025 рр.	Приріст до контролю	
	2023	2024	2025		т/га	%
Соя						
П.п.п* (контроль)	0,38	0,28	0,46	0,37	–	–
П.п.п. + сидерат (редька олійна)	0,44	0,39	0,56	0,46	0,09	24,1
П.п.п. + біопрепарат**	0,45	0,39	0,57	0,47	0,10	25,9
П.п.п + сидерат + біопрепарат	0,48	0,48	0,66	0,54	0,17	44,6
S	0,43	0,07	0,04	0,08	–	–
V, %	14,9	14,8	9,6	21,3	–	–
Пшениця яра						
П.п.п (контроль)	0,15	0,24	0,27	0,22	-	-
П.п.п. + сидерат (редька олійна)	0,20	0,28	0,32	0,27	0,05	21,2
П.п.п. + біопрепарат	0,21	0,29	0,34	0,28	0,06	27,3
П.п.п + сидерат + біопрепарат	0,24	0,30	0,42	0,32	0,10	45,5
S	0,51	0,04	0,04	0,03	–	–
V, %	15,0	15,2	18,7	9,5	–	–
Просо						
П.п.п (контроль)	0,27	0,19	0,15	0,20	–	–
П.п.п. + сидерат (редька олійна)	0,29	0,23	0,22	0,25	0,04	21,3
П.п.п. + біопрепарат	0,29	0,23	0,24	0,25	0,05	24,6
П.п.п + сидерат + біопрепарат	0,32	0,26	0,26	0,28	0,08	37,7
S	0,36	0,03	0,02	0,03	–	–
V, %	13,0	12,9	7,0	12,6	–	–

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

У середньому з 1 га сівозмінної площі збір перетравного протеїну становив 0,27 т на контролі, по 0,33 т за використання сидерату та біопрепарату й 0,38 т за комплексного органічного удобрення (рис. 5.3). Приріст до контролю становив 0,11 т/га, або 40,7 %. За роками збір перетравного протеїну за комплексної системи підвищувався від 0,35 т/га у 2023 і 2024 рр. до 0,45 т/га у 2025 р., тоді як на контролі він становив відповідно 0,27; 0,24 і 0,29 т/га. Відносна перевага комплексного удобрення збільшувалася з 29,6 % у 2023 р. до 45,8 % у 2024 р. і 55,2 % у 2025 р.

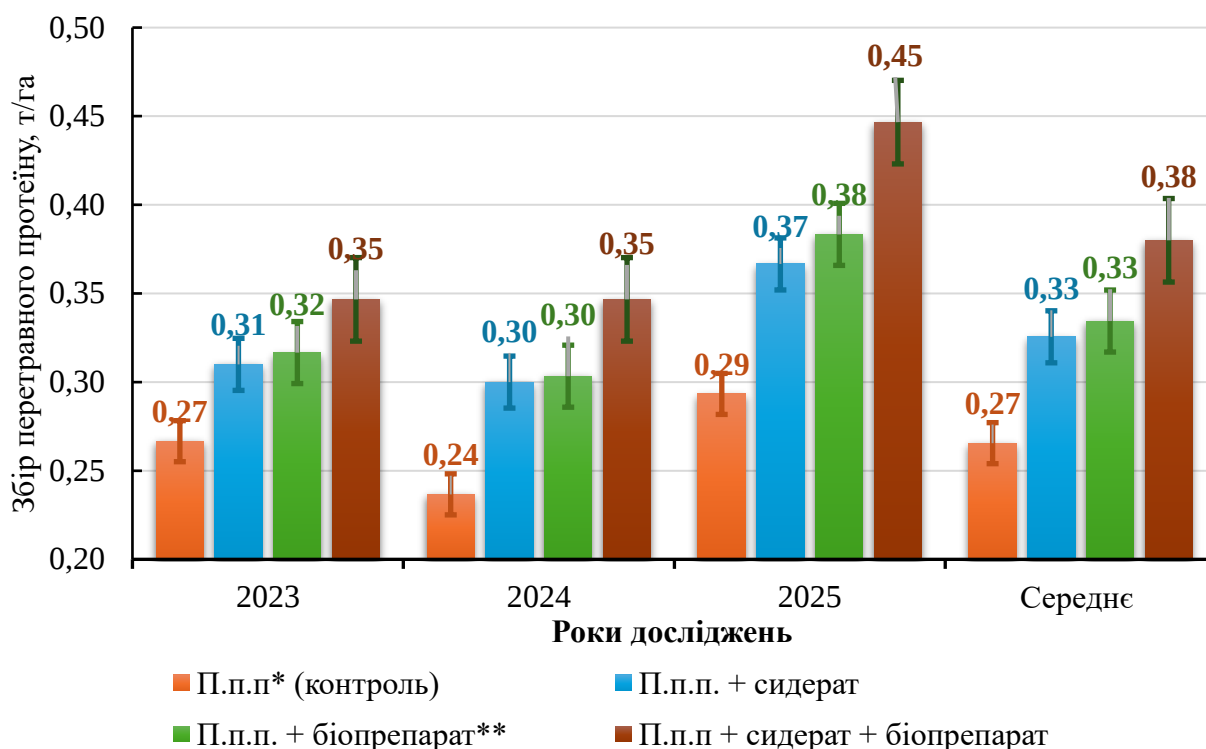


Рис. 5.3 Збір перетравного протеїну з 1 га сівозмінної площі, т, за 2023–2025 рр.

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Порівняння трьох узагальнених показників свідчить, що їх зміни переважно визначалися врожайністю культур, однак структура продуктивності сівозміни залежала від харчової та кормової цінності продукції. Пшениця яра забезпечувала найбільший вихід кормових і зернових одиниць, тоді як соя відігравала провідну роль у формуванні збору перетравного протеїну. Просо доповнювало продуктивність сівозміни завдяки вищій вихідній урожайності та відносній стабільності за комплексного органічного удобрення.

Найвищий рівень усіх показників продуктивності сівозмінної площі сформувався за поєднання побічної продукції попередника, сидерату редьки олійної та біопрепарату. Порівняно з контролем комплексна система підвищувала середній вихід кормових одиниць на 42,8 %, зернових одиниць на 43,1 %, перетравного протеїну на 40,7 %. Отже, її перевага проявлялася не лише у

збільшенні врожайності окремих культур, а й у підвищенні сукупної кормової, зернової та протеїнової продуктивності короткоротаційної органічної сівозміни.

Висновки до Розділу 5

1. За результатами досліджень щодо агробіологічної оцінки продуктивності короткоротаційної органічної сівозміни встановлено, що комплексне застосування побічної продукції попередника, сидерату редьки олійної та біопрепарату забезпечувало найвищу врожайність усіх досліджуваних культур. У середньому за 2023–2025 рр. урожайність насіння сої становила 1,87 т/га, зерна пшениці ярої – 3,98 т/га, проса – 3,52 т/га, що перевищувало контроль відповідно на 45,0; 45,3 і 38,0 %.

2. З'ясовано, що реакція культур на системи органічного удобрення залежала від гідротермічних умов року та їх біологічних особливостей. Найбільший відносний приріст урожайності сої за комплексного удобрення встановлено у 2024 р. – 68,4 %. Урожайність пшениці ярої послідовно зростала впродовж періоду досліджень, тоді як урожайність проса знижувалася. Водночас за комплексного удобрення зменшення врожайності проса між 2023 і 2025 рр. становило 16,9 % проти 45,8 % на контролі, що підтверджує зменшення міжрічної мінливості врожайності проса за комплексного органічного удобрення.

3. Визначено, що комплексне органічне удобрення позитивно впливало не лише на величину врожаю, а й на окремі показники його якості. Вміст білка в насінні сої підвищувався на 1,4 %, у зерні пшениці ярої – на 1,1, а вміст клейковини на 2,2 % порівняно з контролем. Показники якості зерна проса характеризувалися найменшою варіабельністю, тому ефективність удобрення реалізувалася переважно через підвищення рівня врожайності зерна культури.

4. Підтверджено, що закономірності формування збору кормових і зернових одиниць переважно відповідали змінам урожайності культур. У розрахунку на 1 га сівозмінної площі комплексне органічне удобрення

забезпечувало збір 3,77 т кормових одиниць і 3,51 т зернових одиниць, що перевищувало контроль відповідно на 42,8 і 43,1 %.

5. Встановлено, що збір перетравного протеїну визначався поєднанням урожайності та білковості одержаної продукції. Найбільший його вихід серед культур забезпечувала соя – 0,54 т/га за комплексного органічного удобрення. У розрахунку на 1 га сівозмінної площі збір перетравного протеїну становив 0,38 т, перевищуючи контроль на 0,11 т/га, або 40,7 %.

6. Визначено функціональну роль культур у формуванні загальної продуктивності сівозміни: пшениця яра забезпечувала найбільший вихід кормових і зернових одиниць, тоді як соя – перетравного протеїну, а просо характеризувалося вищою початковою врожайністю та меншою амплітудою її зниження за комплексного органічного удобрення.

7. Обґрунтовано агробіологічну перевагу комплексної системи органічного удобрення, яка поєднує побічну продукцію попередника, сидерат редьки олійної та біопрепарат. Її застосування забезпечувало одночасне підвищення врожайності, поліпшення окремих показників якості продукції та зростання кормової, зернової й протеїнової продуктивності короткоротаційної органічної сівозміни.

Основні результати досліджень за даним розділом опубліковано в наукових працях [91; 93; 96–99; 240].

РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КУЛЬТУР КОРОТКОРОТАЦІЙНОЇ СІВОЗМІНИ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ ОРГАНІЧНОГО УДОБРЕННЯ

Сучасний розвиток землеробства відбувається за посилення економічних, енергетичних та екологічних ризиків. Зростання вартості матеріально-технічних ресурсів, нестабільність цін на сільськогосподарську продукцію, ускладнення логістики, дефіцит трудових і фінансових ресурсів, температурні аномалії та нерівномірність вологозабезпечення істотно впливають на ефективність агротехнологій. За таких умов оцінювання технологічних заходів лише за рівнем урожайності не дає повного уявлення про доцільність їх застосування. Високопродуктивний варіант може потребувати значних додаткових витрат, які не компенсуються приростом вартості продукції, тоді як технологія з нижчим рівнем урожайності інколи забезпечує кращу окупність ресурсів. Тому обґрунтування систем землеробства потребує поєднання агрономічних результатів із показниками економічної та енергетичної ефективності [97; 142; 150].

Особливої актуальності комплексне оцінювання набуває в органічному виробництві. Обмеження щодо використання синтетичних мінеральних добрив і хімічних засобів захисту рослин змінюють структуру витрат та механізми формування продуктивності агроценозів. Особливого значення набувають сівозмінна, побічна продукція попередників, сидеральні культури, біологічна фіксація азоту та мікробіологічні препарати. Їх застосування спрямоване не лише на підвищення врожайності, а й на активізацію біологічних процесів у ґрунті, оптимізацію кругообігу поживних речовин, підтримання вмісту органічної речовини та підвищення стійкості культур до абіотичних стресів [97; 142; 208; 234].

Водночас біологізація системи удобрення не обов'язково супроводжується зниженням виробничих витрат. Вирощування сидеральних культур потребує

насіннєвого матеріалу, пального та виконання додаткових механізованих операцій, а застосування біологічних препаратів – витрат на їх придбання, транспортування й внесення. Економічний ефект формується за умови, що додаткові витрати компенсуються приростом урожайності, поліпшенням якості продукції, зниженням її собівартості або позитивною післядією на наступні культури. Тому ефективність органічного удобрення доцільно визначати не за окремим технологічним елементом, а в межах цілісної системи «грунт – удобрення – культура – сівозміна» [75; 142; 189; 207].

Результати досліджень у різних ґрунтово-кліматичних зонах України свідчать, що економічна доцільність органічного землеробства залежить від структури сівозміни, виду культури, системи обробітку ґрунту, рівня його родючості, погодних умов і співвідношення цін на ресурси та рослинницьку продукцію. Використання побічної продукції, сидератів і біологічних препаратів може забезпечувати приріст продуктивності та прибутку, однак додаткові витрати не завжди однаково окуповуються в межах одного виробничого циклу [97; 142]. Культури однієї сівозміни також неоднаково реалізують ресурсний потенціал технології у формуванні вартості й енергомісткості врожаю, що визначає їх різну роль у загальній ефективності сівозміни [75; 207–208; 234].

Узагальнення результатів зарубіжних досліджень показує, що конкурентоспроможність органічного землеробства не може бути об'єктивно оцінена за одним показником. Вона залежить від урожайності, рівня виробничих витрат, структури сівозміни, інтенсивності механізованих операцій, доданої вартості органічної продукції, державної підтримки та тривалості періоду оцінювання. Органічні господарства можуть бути прибутковими, однак їх економічні переваги суттєво змінюються залежно від культури, регіону та ринкової кон'юнктури [188–189; 194; 227]. За диверсифікації сівозмін частина позитивних ефектів має відстрочений характер і виявляється через стабілізацію продуктивності, зменшення виробничих ризиків та підвищення екологічної стійкості агроєкосистеми, тоді як короткострокові розрахунки відображають переважно безпосередні витрати й доходи [239].

Економічна оцінка характеризує фінансову доцільність технології за конкретного рівня цін, однак її показники змінюються під впливом інфляції, ринкової кон'юнктури, вартості пального, насіння, засобів виробництва та закупівельних цін на продукцію. Тому економічні результати доцільно доповнювати енергетичним оцінюванням, у межах якого витрачені ресурси та одержану продукцію виражають у єдиному енергетичному еквіваленті. Це дає змогу порівнювати технології незалежно від поточних цінових коливань і визначати ефективність перетворення антропогенної енергії в енергію господарсько цінної частини врожаю [25; 185; 244].

Енергетична ефективність органічних систем формується під впливом різноспрямованих процесів. Скорочення використання синтетичних добрив і засобів захисту рослин зменшує непрямі енерговитрати, пов'язані з їх виробництвом. Водночас вирощування проміжних і сидеральних культур, механічне регулювання забур'яненості та виконання додаткових технологічних операцій можуть збільшувати прямі витрати пального і праці. Кінцевий результат залежить від співвідношення між приростом енергомісткості врожаю та додатковими енерговитратами [185; 244]. Тому мінімальні витрати енергії самі по собі не є ознакою високої ефективності: технологія має забезпечувати належну окупність використаних енергетичних ресурсів.

Одночасне застосування економічного й енергетичного підходів дає змогу повніше оцінити переваги технології. Система удобрення з найбільшим прибутком не обов'язково забезпечує найнижчу собівартість або найвищу рентабельність. Подібно до цього, максимальна енергомісткість урожаю може формуватися за найбільших витрат енергії, тоді як вищу відносну окупність матиме менш енергоємний варіант. Отже, оцінювання агротехнологій має враховувати як абсолютні результати – вартість продукції, прибуток та енергомісткість урожаю, так і відносні показники – собівартість, рентабельність і коефіцієнт енергетичної ефективності [39; 189; 228].

Важливим є також рівень узагальнення результатів. Показники окремої культури характеризують її безпосередню реакцію на систему удобрення, але не

повністю враховують післядію різних видів органічних добрив. Сидерати, побічна продукція та біологічні препарати можуть впливати на поживний режим, біологічну активність і агрофізичний стан ґрунту впродовж кількох ланок ротації. Тому поряд з оцінюванням сої, пшениці ярої та проса важливим є узагальнення результатів з розрахунку на 1 га сівозмінної площі, що дає змогу визначити господарську ефективність короткоротаційної сівозміни загалом [25; 39; 97; 133; 142].

Отже, оцінювання економічних і енергетичних показників є взаємодоповнюючими складовими визначення ефективності систем органічного удобрення. Економічний аналіз характеризує здатність технології забезпечувати прибутковість і конкурентоспроможність продукції, а енергетичний – окупність сукупних енерговитрат енергією, акумульованою в урожаї. У розділі визначено вплив різних систем органічного удобрення на виробничі витрати, вартість валової продукції, умовно чистий прибуток, собівартість, рівень рентабельності, витрати енергії, енергомісткість урожаю та коефіцієнт енергетичної ефективності вирощування сої, пшениці ярої і проса. Показники проаналізовано за окремими культурами та в середньому з 1 га сівозмінної площі, що дало змогу встановити абсолютні й відносні переваги досліджуваних систем удобрення.

6.1. Показники економічної ефективності вирощування культур короткоротаційної сівозміни залежно від систем органічного удобрення

Розрахунки економічної ефективності засвідчили, що зміна системи органічного удобрення істотно впливала на структуру виробничих витрат, вартість валової продукції, величину умовно чистого прибутку, собівартість зерна та рівень рентабельності вирощування сої, пшениці ярої і проса. Загальною закономірністю було зростання виробничих витрат за ускладнення системи удобрення, однак величина економічної віддачі додаткових вкладень залежала від поєднання складових системи удобрення та біологічних особливостей культури.

Результати економічного оцінювання засвідчили, що зміна системи органічного удобрення закономірно позначалася на виробничих витратах, вартості валової продукції, умовно чистому прибутку, собівартості зерна та рівні рентабельності культур короткоротаційної сівозміни. Водночас характер змін залежав не лише від кількості залучених технологічних складових, а й від біологічних особливостей сої, пшениці ярої та проса, їхньої продуктивності й здатності забезпечувати економічну віддачу додаткових вкладень (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Вплив різних систем удобрення на показники економічної ефективності вирощування зернових культур у короткоротаційній сівозміні, середнє за 2023–2025 рр.

Система удобрення	Виробничі витрати, грн/га	Вартість валової продукції, грн/га	Умовно чистий прибуток, грн/га	Собівартість зерна, грн/т	Рівень рентабельності, %
Соя					
П.п.п* (контроль)	16400	38700	22300	12713	136
П.п.п + сидерат (редька олійна)	21068	48000	26932	13168	128
П.п.п + біопрепарат**	17892	48600	30708	11044	172
П.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	22537	56100	33563	12052	149
Пшениця яра					
П.п.п (контроль)	17882	41100	23218	6526	130
П.п.п + сидерат (редька олійна)	22890	49800	26910	6895	118
П.п.п + біопрепарат	20037	52200	32163	5758	161
П.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	25546	59700	34154	6419	134
Просо					
П.п.п (контроль)	14058	61200	47142	5513	335
П.п.п + сидерат (редька олійна)	19504	73920	54416	6332	279
П.п.п + біопрепарат	16648	76560	59912	5219	360
П.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	21324	84480	63156	6058	296

Примітка. * – побічна продукція попередника;** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

За результатами досліджень встановлено, що включення до системи удобрення сидерату та біопрепарату супроводжувалося збільшенням виробничих витрат під усіма досліджуваними культурами. Найменшими вони були на контрольному варіанті, де використовували побічну продукцію попередника, а найбільшими – за комплексного поєднання побічної продукції, сидерату редьки олійної та біопрепарату. Проте підвищення витрат переважно компенсувалося зростанням вартості одержаної продукції та умовно чистого прибутку. Водночас співвідношення між додатковими витратами й одержаним економічним ефектом було неоднаковим для різних систем удобрення.

За вирощування сої виробничі витрати на контрольному варіанті становили 16400 грн/га. Використання побічної продукції попередника разом із сидератом підвищувало їх до 21068 грн/га, а із біопрепаратом – до 17892 грн/га. Найбільші витрати (22537 грн/га) сформувалися за комплексного застосування сидерату й біопрепарату на фоні побічної продукції попередника. Порівняно з контролем їх збільшення становило 6137 грн/га, або 37,4 %.

Зростання виробничих витрат супроводжувалося підвищенням вартості валової продукції сої з 38700 грн/га на контролі до 48000–56100 грн/га на удобрених варіантах. Максимальну її величину (56100 грн/га) одержано за комплексної системи удобрення, що на 17400 грн/га, або 45,0 %, перевищувало контроль. За цього самого варіанта сформувався найбільший умовно чистий прибуток – 33563 грн/га проти 22300 грн/га на контролі. Отже, додатковий прибуток від комплексного удобрення становив 11263 грн/га, або 50,5 %.

Проте за відносними показниками економічної ефективності найкращим було поєднання побічної продукції попередника з біопрепаратом. На цьому варіанті собівартість вирощеного насіння сої знижувалася до 11044 грн/т, що на 1669 грн/т, або 13,1 %, менше порівняно до контролю. Рівень рентабельності підвищувався з 136 до 172 %. Комплексна система удобрення також забезпечувала меншу, ніж на контролі, собівартість – 12052 грн/т, однак рівень рентабельності становив 149 %. Таким чином, за вирощування сої комплексне

удобрення було найефективнішим за абсолютною величиною прибутку, тоді як використання біопрепарату – за окупністю виробничих витрат.

Застосування сидерату без біопрепарату збільшувало вартість валової продукції та умовно чистий прибуток, проте не забезпечувало відповідного поліпшення відносних економічних показників. Собівартість насіння сої підвищувалася до 13168 грн/т, а рентабельність знижувалася до 128 %. Це свідчить, що додаткові витрати на вирощування та заробляння сидеральної культури в межах оцінюваного виробничого циклу зростали швидше, ніж економічна віддача від приросту врожайності.

Подібна закономірність простежувалася під час вирощування пшениці ярої. Виробничі витрати змінювалися від 17882 грн/га на контролі до 25546 грн/га за комплексної системи органічного удобрення. Використання сидерату збільшувало їх до 22890 грн/га, а біопрепарату – до 20037 грн/га. Отже, порівняно з контролем додаткові витрати становили відповідно 5008, 2155 і 7664 грн/га.

Найвищу вартість валової продукції пшениці ярої (59700 грн/га) одержано за комплексного застосування побічної продукції попередника, сидерату й біопрепарату. Порівняно з контролем цей показник збільшувався на 18600 грн/га, або 45,3 %. Умовно чистий прибуток на комплексному варіанті удобрення становив 34154 грн/га, що на 10936 грн/га, або 47,1 %, перевищувало контрольний показник.

Разом із тим найнижчу собівартість зерна пшениці ярої (5758 грн/т) та найвищий рівень рентабельності (161 %) забезпечувало використання біопрепарату на фоні побічної продукції попередника. Порівняно з контролем собівартість знижувалася на 768 грн/т, або 11,8 %, а рівень рентабельності підвищувався на 31 %. За комплексного удобрення собівартість становила 6419 грн/т, а рентабельність – 134 %. Отже, суттєве збільшення умовно чистого прибутку за комплексної системи удобрення супроводжувалося менш вираженим підвищенням відносної окупності витрат.

За використання сидерату без біопрепарату виробничі витрати за вирощування пшениці ярої зростали на 28,0 %, тоді як вартість валової продукції – на 21,2 %. Унаслідок зростання виробничих витрат порівняно з вартістю валової продукції собівартість зерна підвищувалася до 6895 грн/т, а рентабельність знижувалася до 118 %. Таким чином, за вирощування пшениці ярої, як і сої, сидеральна система забезпечувала збільшення умовно чистого прибутку, однак поступалася іншим варіантам за відносною економічною ефективністю.

Найвищу економічну віддачу серед культур короткоротаційної сівозміни забезпечувало просо. Навіть на контрольному варіанті умовно чистий прибуток становив 47142 грн/га, а рівень рентабельності – 335 %, що значно перевищувало відповідні показники за вирощування сої та пшениці ярої.

Виробничі витрати на вирощування проса змінювалися від 14058 грн/га на контролі до 21324 грн/га за комплексного удобрення. На варіанті з сидератом вони становили 19504 грн/га, а з біопрепаратом – 16648 грн/га. Найбільше збільшення витрат порівняно з контролем відмічено за комплексної системи – на 7266 грн/га, або 51,7 %.

Водночас комплексне удобрення забезпечувало максимальну вартість валової продукції проса – 84480 грн/га та найбільший умовно чистий прибуток – 63156 грн/га. Відносно контролю вартість продукції підвищувалася на 23280 грн/га, або 38,0 %, а прибуток – на 16014 грн/га, або 34,0 %.

Найнижчу собівартість зерна проса (5219 грн/т) та найвищу рентабельність (360 %) одержано за поєднання побічної продукції попередника з біопрепаратом. За комплексного удобрення собівартість становила 6058 грн/т, а рівень рентабельності – 296 %. Використання сидерату без біопрепарату підвищувало собівартість до 6332 грн/т і знижувало рівень рентабельності до 279 %.

Отже, за вирощування проса комплексна система удобрення, як і під іншими культурами, забезпечувала найвищі показники економічної ефективності. Проте збільшення витрат за цього варіанта було більшим, ніж відносний приріст вартості валової продукції, що зумовило зниження рівня

рентабельності порівняно не лише з варіантом застосування біопрепарату, а й із контролем.

Порівняння культур підтвердило їхню неоднакову роль у формуванні загальної економічної ефективності короткоротаційної сівозміни. Умовно чистий прибуток за вирощування проса залежно від системи удобрення становив 47142–63156 грн/га, пшениці ярої – 23218–34154 грн/га, сої – 22300–33563 грн/га. Рівень рентабельності вирощування проса становив 279–360 %, сої – 128–172 %, пшениці ярої – 118–161 %. Отже, просо було основною культурою, що забезпечувала високу прибутковість досліджуваної сівозміни, тоді як соя та пшениця яра формували нижчі, але позитивні економічні результати за всіх систем удобрення.

Узагальнені показники з розрахунку на 1 га сівозмінної площі підтверджують установлену за окремими культурами закономірність: система удобрення, яка забезпечувала найбільший прибуток, не завжди характеризувалася найнижчою собівартістю та найвищою рентабельністю (рис. 6.1).

На контрольному варіанті середня собівартість продукції становила 8251 грн/т, умовно чистий прибуток – 30887 грн/га, а рівень рентабельності – 200 %. Поєднання побічної продукції попередника із сидератом збільшувало умовно чистий прибуток до 36086 грн/га, тобто на 5199 грн/га, або 16,8 %. Водночас собівартість зростала до 8798 грн/т, а рентабельність знижувалася до 175 %. Це підтверджує, що додаткові витрати на сидерацію не повністю компенсувалися відповідним зростанням вартості отриманої продукції.

Найкраще співвідношення між витратами та економічним результатом установлено за застосування біопрепарату на фоні побічної продукції попередника. Умовно чистий прибуток на цьому варіанті становив 40928 грн/га, що на 10041 грн/га, або 32,5 %, перевищувало контроль. Одночасно собівартість продукції знижувалася до 7340 грн/т, або на 11,0 %, а рівень рентабельності підвищувався до 231 %.

Найбільший умовно чистий прибуток у середньому по сівозміні (43624 грн/га) одержано за комплексного застосування побічної продукції попередника, сидерату та біопрепарату. Порівняно з контролем його приріст становив 12737 грн/га, або 41,2 %. Собівартість продукції на цьому варіанті становила 8176 грн/т і була близькою до контрольного варіанту, тоді як рівень рентабельності становив 193 %.

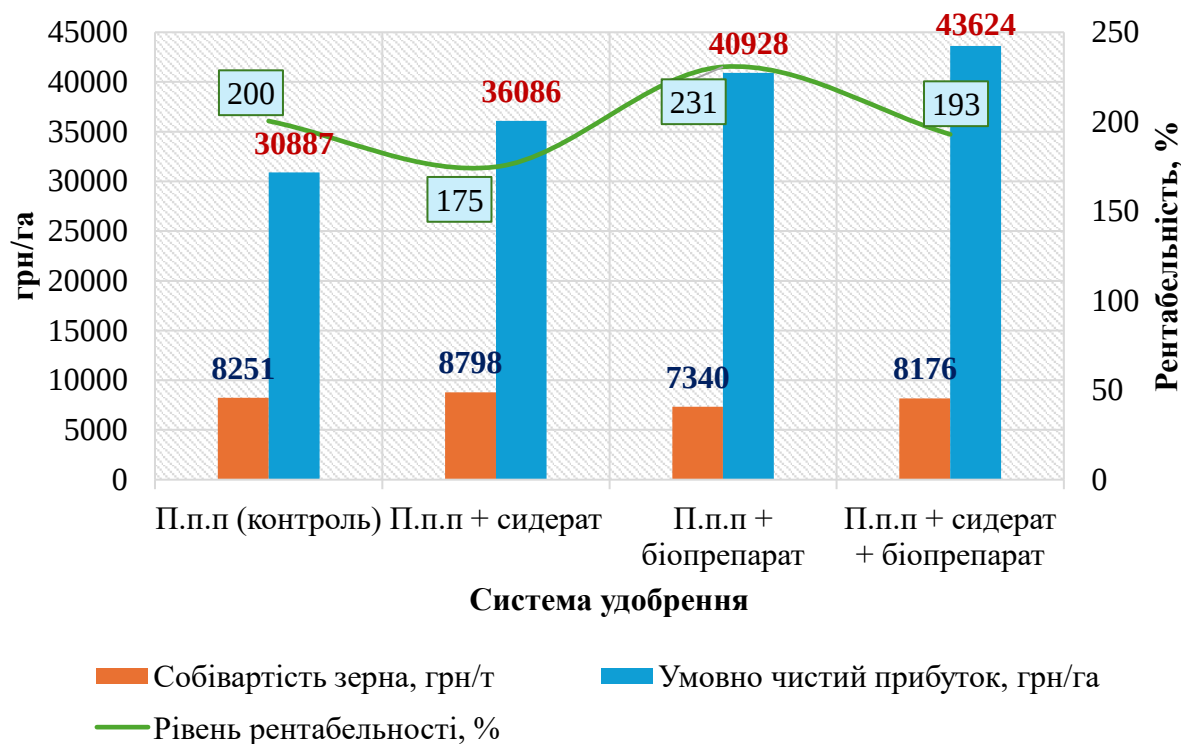


Рис. 6.1 – Показники економічної ефективності застосування різних систем органічного удобрення, у розрахунку на 1 га сівозмінної площі, середнє за 2023–2025 рр.

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Порівняно з використанням біопрепарату комплексна система удобрення забезпечувала збільшення умовно чистого прибутку на 2696 грн/га, але супроводжувалася підвищенням собівартості на 836 грн/т і зниженням рівня рентабельності на 38 %. Отже, додаткове включення сидерату сприяло

збільшенню валового збору зерна та вартості валової продукції, однак зменшувало відносну економічну віддачу вкладених коштів.

Таким чином, комплексна система органічного удобрення, що поєднувала побічну продукцію попередника, сидерат і біопрепарат, була найефективнішою за величиною вартості валової продукції та умовно чистого прибутку. Натомість використання побічної продукції попередника разом із біопрепаратом забезпечувало найнижчу собівартість і найвищу рентабельність, тобто найкращу окупність виробничих витрат.

6.2. Показники енергетичної ефективності вирощування культур короткоротаційної сівозміни залежно від систем органічного удобрення

Енергетична ефективність вирощування культур короткоротаційної сівозміни визначалася співвідношенням енергомісткості одержаного врожаю та сукупних витрат антропогенної енергії. Результати досліджень засвідчили, що додаткові витрати енергії на застосування сидерату і біопрепарату компенсувалися значно більшим приростом енергії, акумульованої в урожаї культур короткоротаційної сівозміни (табл. 6.2).

Зокрема, залучення додаткових складових системи удобрення супроводжувалося зростанням енергетичних витрат. Водночас енергомісткість урожаю переважно збільшувалася порівняно до витрат енергії, що забезпечувало підвищення коефіцієнта енергетичної ефективності.

За вирощування сої витрати енергії на контрольному варіанті становили 10692 МДж/га. Використання сидерату збільшувало їх до 11123 МДж/га, біопрепарату – до 12119 МДж/га, а комплексної системи удобрення – до 12744 МДж/га. Порівняно з контролем приріст енергетичних витрат становив відповідно 431; 1427 і 2052 МДж/га, або 4,0; 13,3 та 19,2 %.

Водночас енергомісткість урожаю сої підвищувалася з 23351 МДж/га на контролі до 28963 МДж/га за використання сидерату, 29325 МДж/га – біопрепарату та до 33850 МДж/га за їх комплексного поєднання. Порівняно з

контролем приріст становив відповідно 5612; 5974 і 10499 МДж/га, або 24,0; 25,6 та 45,0 %. Отже, приріст енергії, акумульованої в урожаї, істотно перевищував збільшення сукупних енергетичних витрат та істотно перевищувало додаткові витрати енергії.

Таблиця 6.2

Показники енергетичної ефективності вирощування зернових культур короткоротаційної сівозміни залежно від систем органічного удобрення, середнє за 2023–2025 рр.

Удобрєння	Витрати енергії, МДж/га	Енергомїсткїсть врожаю, МДж/га	К _{ее}
Соя			
П.п.п* (контроль)	10692	23351	2,18
П.п.п + сидерат (редька олійна)	11123	28963	2,60
П.п.п + біопрепарат**	12119	29325	2,42
П.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	12744	33850	2,66
Пшениця яра			
П.п.п (контроль)	11396	45078	3,96
П.п.п + сидерат (редька олійна)	12163	54620	4,49
П.п.п + біопрепарат	12298	57252	4,66
П.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	12811	65478	5,11
Просо			
П.п.п (контроль)	9038	43202	4,78
П.п.п + сидерат (редька олійна)	10108	52181	5,16
П.п.п + біопрепарат	10678	54045	5,06
П.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	11294	59636	5,28

Примїтка. * – побїчна продукція попередника;** – біологїчний препарат на основї комплексу корисної ґрунтової мїкрофлори у поєднаннї з органїчними речовинами родючих ґрунтїв.

Унаслідок цього коефіцієнт енергетичної ефективності вирощування сої зростав з 2,18 на контролї до 2,60 за використання сидерату, 2,42 – біопрепарату та до 2,66 за комплексної системи удобрення. Найбїльше значення показника сформувалося за сумїсного застосування всїх складових органїчного удобрення.

Водночас за використання сидерату коефіцієнт енергетичної ефективності був вищим, нїж за окремого застосування біопрепарату, хоча енергомїсткїсть урожаю на цих варїантах була майже однаковою – вїдповїдно 28963 і

29325 МДж/га. Це пояснюється нижчими витратами енергії за сидеральної системи. Отже, під час вирощування сої біопрепарат забезпечував вищу окупність сукупних енергетичних витрат, тоді як сидерат – краще співвідношення між енергією, акумульованою в урожаї, та сукупними енергетичними витратами.

За вирощування пшениці ярої витрати енергії змінювалися від 11396 МДж/га на контролі до 12811 МДж/га за комплексної системи удобрення. Використання сидерату підвищувало їх до 12163 МДж/га, а біопрепарату – до 12298 МДж/га. Порівняно з контролем енергетичні витрати збільшувалися відповідно на 6,7; 7,9 та 12,4 %.

Зростання витрат компенсувалося значно більшим приростом енергомісткості врожаю. На контрольному варіанті її величина становила 45078 МДж/га, за використання сидерату – 54620 МДж/га, біопрепарату – 57252 МДж/га, а комплексної системи удобрення – 65478 МДж/га. Порівняно з контролем приріст становив відповідно 9542; 12174 і 20400 МДж/га, або 21,2; 27,0 та 45,3 %.

Коефіцієнт енергетичної ефективності вирощування пшениці ярої зростав з 3,96 на контролі до 4,49 за використання сидерату, 4,66 – біопрепарату та до 5,11 за комплексного удобрення. Отже, найбільшу енергетичну віддачу за вирощування пшениці ярої забезпечувало комплексне застосування побічної продукції попередника, сидерату й біопрепарату. Порівняно з контролем коефіцієнт енергетичної ефективності підвищувався на 1,15, або 29,0 %.

На відміну від сої, за вирощування пшениці ярої застосування у системі удобрення лише біопрепарату було енергоефективнішим, ніж використання сидерату. За майже однакових витрат енергії біопрепарат забезпечував на 2632 МДж/га вищу енергомісткість урожаю. Це свідчить про кращу реакцію пшениці ярої на біопрепарат і ефективнішу реалізацію додаткових енерговитрат у формуванні врожаю.

Найвищі значення коефіцієнта енергетичної ефективності серед досліджуваних культур встановлено за вирощування проса. Витрати енергії на

контрольному варіанті становили 9038 МДж/га, що було менше, ніж під соєю та пшеницею ярою. За використання сидерату вони збільшувалися до 10108 МДж/га, біопрепарату – до 10678 МДж/га, а за комплексної системи до 11294 МДж/га.

Порівняно з контролем приріст енергетичних витрат становив відповідно 1070; 1640 і 2256 МДж/га, або 11,8; 18,1 та 25,0 %. Водночас енергомісткість урожаю підвищувалася з 43202 МДж/га на контролі до 52181 МДж/га за використання сидерату, 54045 МДж/га – біопрепарату та до 59636 МДж/га за комплексної системи удобрення.

Приріст енергомісткості врожаю проса порівняно з контролем становив відповідно 8979; 10843 і 16434 МДж/га, або 20,8; 25,1 та 38,0 %. Коефіцієнт енергетичної ефективності зростав з 4,78 на контролі до 5,16 за використання сидерату, 5,06 – біопрепарату та до 5,28 за комплексної системи удобрення.

Як і за вирощування сої, сидеральна система під просом характеризувалася дещо вищим коефіцієнтом енергетичної ефективності, ніж варіант із біопрепаратом, хоча абсолютна енергомісткість урожаю за застосування біопрепарату була більшою. Причиною цього були нижчі сукупні енергетичні витрати на варіанті з сидератом. Проте найвищі абсолютні й відносні показники енергетичної ефективності проса сформувалися за комплексного органічного удобрення.

Порівняння культур виявило чітку закономірність збільшення коефіцієнта енергетичної ефективності в послідовності: соя – пшениця яра – просо. Залежно від системи удобрення його значення для сої становило 2,18–2,66, пшениці ярої – 3,96–5,11, проса – 4,78–5,28.

Менше значення коефіцієнта енергетичної ефективності сої зумовлювалося нижчою енергомісткістю врожаю за порівняно високих енергетичних витрат на її вирощування. Просо, навпаки, поєднувало найменші сукупні енерговитрати з високим виходом енергії з урожаєм, що забезпечувало найбільші значення коефіцієнта енергетичної ефективності. Пшениця яра

займала проміжне положення, однак за комплексного удобрення її коефіцієнт досягав 5,11 і лише незначно поступався відповідному показнику проса.

У розрахунку на 1 га сівозмінної площі відмічено закономірне збільшення витрати енергії від 10375 МДж/га на контролі до 11131 МДж/га за використання сидерату, до 11698 МДж/га – на фоні застосування біопрепарату та до 12283 МДж/га за комплексної системи удобрення (рис. 6.2). Відносно контролю їх приріст становив відповідно 7,3; 12,8 та 18,4 %.

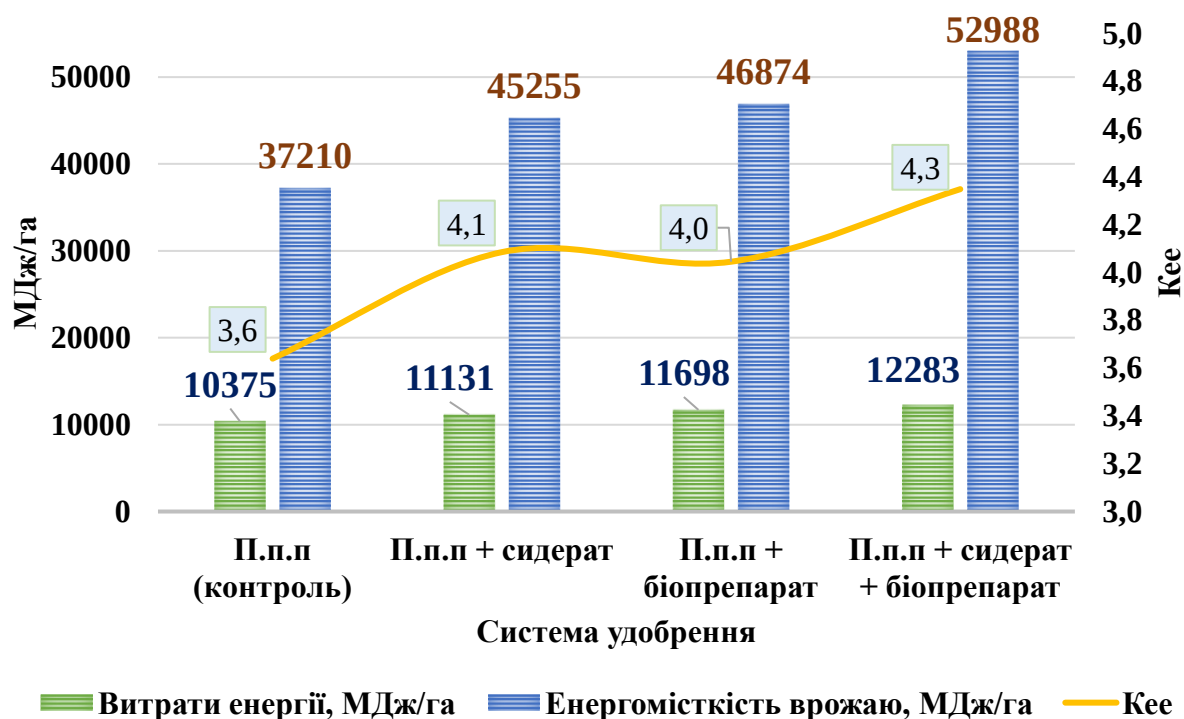


Рис. 6.2 – Показники енергетичної ефективності застосування різних систем органічного удобрення, у розрахунку на 1 га сівозмінної площі, середнє за 2023–2025 рр.

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Водночас збільшення витрат енергії супроводжувалося значно вищим приростом енергомісткості врожаю. На контрольному варіанті вона становила 37210 МДж/га, за використання сидерату – 45255 МДж/га, біопрепарату – 46874 МДж/га, а за комплексного удобрення – 52988 МДж/га. Порівняно з

контролем приріст становив відповідно 8045; 9664 і 15778 МДж/га, або 21,6; 26,0 та 42,4 %.

Оскільки приріст енергомосткості врожаю перевищував збільшення сукупних енерговитрат, коефіцієнт енергетичної ефективності підвищувався. На контролі його значення становило 3,64, за використання сидерату – 4,09, біопрепарату – 4,05, а комплексної системи удобрення – 4,35. Таким чином, найвищу окупність сукупних енергетичних витрат у середньому по сівозміні забезпечувало застосування комплексного органічного удобрення.

Близькі значення коефіцієнта енергетичної ефективності за використання сидерату та біопрепарату свідчать про подібну загальну окупність енерговитрат, але механізм її формування був різним. Сидеральна система характеризувалася меншими енергетичними витратами та дещо нижчим виходом енергії з урожаєм. Застосування біопрепарату потребувало більших витрат, проте забезпечувало вищу енергомосткість одержаної продукції.

Найсприятливіше співвідношення між приростом енергомосткості врожаю та збільшенням сукупних енерговитрат встановлено за комплексної системи органічного удобрення. Порівняно з контролем витрати енергії збільшувалися на 18,4 %, тоді як енергомосткість врожаю – на 42,4 %. Зазначене співвідношення між приростом енергомосткості врожаю та збільшенням енерговитрат обумовило підвищення коефіцієнта енергетичної ефективності з 3,64 до 4,35.

Таким чином, залучення сидерату й біопрепарату до системи органічного удобрення збільшувало енергетичні витрати, однак цей приріст компенсувався значно більшим підвищенням енергомосткості врожаю. Найвищу енергетичну результативність забезпечувало комплексне застосування побічної продукції попередника, сидерату та біопрепарату. Цей варіант формував максимальний вихід енергії з урожаєм і найбільший коефіцієнт енергетичної ефективності як під окремими культурами, так і в середньому по короткоротаційній сівозміні.

Висновки до Розділу 6

1. За результатами проведених досліджень (2023–2025 рр.) в умовах нестійкого зволоження на чорноземі типовому малогумусному встановлено, що економічна ефективність вирощування культур короткоротаційної сівозміни істотно залежала від поєднання складових системи органічного удобрення. Комплексне застосування побічної продукції попередника, сидерату редьки олійної та біопрепарату забезпечувало найвищі абсолютні показники: умовно чистий прибуток становив 33563 грн/га за вирощування сої, 34154 грн/га – пшениці ярої та 63156 грн/га – проса. У розрахунку на 1 га сівозмінної площі умовно чистий прибуток становив 43624 грн/га, що на 12737 грн/га, або 41,2 %, перевищувало показник контрольного варіанта. Водночас найнижчу собівартість основної продукції (7340 грн/т) і найвищий рівень рентабельності (231 %) одержано за поєднання побічної продукції попередника з біопрепаратом.

2. Серед культур короткоротаційної сівозміни найвищі показники економічної ефективності встановлено за вирощування проса: залежно від системи удобрення умовно чистий прибуток становив 47142–63156 грн/га, а рівень рентабельності – 279–360 %. За вирощування сої відповідні показники змінювалися в межах 22300–33563 грн/га і 128–172 %, пшениці ярої – 23218–34154 грн/га і 118–161 % відповідно. Застосування побічної продукції попередника разом із сидератом підвищувало умовно чистий прибуток, проте збільшення виробничих витрат зумовлювало зростання собівартості та зниження рентабельності. У середньому по сівозміні за цього варіанта прибуток зростав до 36086 грн/га, тоді як собівартість становила 8798 грн/т, а рентабельність – 175%, що свідчить про повільнішу окупність витрат на сидерацію та необхідність урахування її післядії на родючість ґрунту й продуктивність наступних культур.

3. Аналіз показників енергетичної ефективності підтвердив перевагу комплексної системи органічного удобрення. У середньому з 1 га сівозмінної площі витрати енергії за цього варіанта становили 12283 МДж/га і перевищували контроль на 18,4 %, тоді як енергомісткість урожаю зростала до 52988 МДж/га, або на 42,4 %. Завдяки більшому приросту енергомісткості врожаю порівняно зі

збільшенням сукупних енерговитрат коефіцієнт енергетичної ефективності підвищувався з 3,64 на контролі до 4,35. Отже, комплексне застосування побічної продукції попередника, сидерату та біопрепарату забезпечувало найвищу енергомісткість урожаю й окупність енерговитрат, тоді як поєднання побічної продукції з біопрепаратом було економічно доцільнішим.

Основні результати досліджень за даним розділом опубліковано в наукових працях [91; 93; 96–99].

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

На основі одержаних результатів досліджень у підзоні нестійкого зволоження Лісостепу України для господарств, що спеціалізуються на виробництві органічної продукції рослинництва, рекомендується застосування комплексної системи органічного удобрення: побічна продукція попередника + пожнивний сидерат (редька олійна) + біопрепарат на основі гуматів і комплексу макро- і мікроелементів (3,0 л/га) у два строки внесення: у фазу повних сходів та у фазі цвітіння культур короткоротаційної сівозміни (соя – пшениця яра – просо).

Розроблена система удобрення забезпечує збір з 1 га сівозмінної площі 3,8 т кормових, 3,5 т зернових одиниць і 0,38 т перетравного протеїну, а також отримання 44 тис. грн/га умовно чистого прибутку за рівня рентабельності виробництва 193 % та коефіцієнта енергетичної ефективності – 4,4.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення наукового завдання щодо встановлення закономірностей формування показників родючості чорнозему типового малогумусного та продуктивності короткоротаційної сівозміни соя – пшениця яра – просо за різних систем органічного удобрення в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України. Науково обґрунтовано комплексне поєднання побічної продукції попередника, післяжнивного сидерату редьки олійної та біопрепарату як систему, що забезпечує поліпшення показників родючості ґрунту, посилення конкурентної здатності культур щодо сегетальної рослинності, підвищення врожайності, сукупної продуктивності сівозміни та ефективності використання виробничих і енергетичних ресурсів.

1. Встановлено, що водний режим чорнозему типового визначався передусім гідротермічними умовами вегетаційного періоду та біологічними особливостями культур, однак системи органічного удобрення сприяли збереженню ґрунтової вологи. За комплексного поєднання побічної продукції попередника, післяжнивного сидерату та біопрепарату запаси продуктивної вологи у 0–100 см шарі ґрунту на час сівби становили 158,3 мм проти 149,6 мм на контролі, а на час збирання – відповідно 52,8 і 49,7 мм. За практично однакового сумарного водоспоживання, витрати вологи на формування 1 т основної продукції знижувалися з 1643 до 1164 м³/т, або на 29,2 %, що свідчить про продуктивніше використання вологи культурами за комплексного удобрення.

2. З’ясовано, що застосування додаткових органічних компонентів сприяло активізації колообігу органічної речовини та елементів мінерального живлення. У середньому на 1 га сівозмінної площі надходження побічної продукції зростало з 3,60 т/га на контролі до 4,51 т/га за комплексного органічного удобрення або на 25,3 %. Збільшення обсягу та компонентного складу рослинної фітомаси сприяло поліпшенню гумусного стану ґрунту, уміст гумусу підвищувався з 3,10 до 3,21 % в шарі 0–20 см та з 2,65 до 2,80 а в 20–40 см шарі ґрунту. Запаси гумусу зростали

відповідно з 74,3 т/га до 77,1 та із 66,4 до 70,1 т/га за найвищого приросту запасів гумусу в 20–40 см шарі, що свідчить про позитивну дію органічного удобрення у підорному, необробленому шарі ґрунту.

3. Встановлено, що за комплексного застосування органічного удобрення середній уміст лужногідролізного азоту у 0–20 см шарі зростав зі 113,7 до 126,5 мг/кг та до 87,0 до 105,2 мг/кг у 20–40 см шарі перевищуючи контроль відповідно на 11,3 і 20,9 %. Зміни вмісту рухомих сполук фосфору й калію були більш мінливими і залежали від культури, глибини відбору зразків та строку визначення. Зниження їх умісту наприкінці вегетації на варіантах із вищою продуктивністю було пов'язане з інтенсивнішим залученням елементів у формування рослинної біомаси й врожаю.

4. Встановлено спрямованість змін реакції ґрунтового розчину в бік зменшення кислотності зі збільшенням кількості компонентів органічного удобрення. У середньому по сівозміні показник рН сольової витяжки у шарі 0–20 см підвищувався з 5,7 на контролі до 5,9 за використання сидерату, 6,0 – біопрепарату та до 6,2 за їх комплексного застосування. У 20–40 см шарі ґрунту рН зростав із 5,5 до 5,9. Отже, комплексне удобрення забезпечувало перехід реакції ґрунтового розчину від слабокислої (близької до нейтральної) до нейтральної, створюючи сприятливіші умови для живлення культур і функціонування ґрунтової мікробіоти.

5. Встановлено, що використання побічної продукції, сидеральної біомаси та біопрепарату не супроводжувалося екологічно небезпечним накопиченням рухомих форм мікроелементів і важких металів. Уміст міді та кадмію характеризувався найменшою мінливістю, тоді як концентрація цинку, марганцю і заліза більшою мірою залежала від культури, шару ґрунту та погодних умов року. Уміст рухомих форм міді, цинку, марганцю, свинцю, нікелю і кадмію за всіх досліджуваних систем органічного удобрення не перевищував гранично допустимих концентрацій, що підтверджує екологічну безпечність застосованих органічних компонентів за оціненими показниками.

6. Підтверджено активізацію мікробіологічних процесів зі збільшенням кількості джерел органічної речовини (компонентів органічного удобрення). У середньому по сівозміні інтенсивність розкладання лляної тканини становила 20,2 % на контролі, 20,9 % за використання сидерату, 22,2 % – біопрепарату і 24,4 % за комплексного удобрення, що на 20,8 % перевищувало контрольний показник. Найвищий рівень активності встановлено у посівах сої – 27,5 %, а найбільшу реакцію на комплексне органічне удобрення відмічено у посівах пшениці ярої, де розкладання тканини посилювалося із 16,4 до 21,6 %.

7. Встановлено, що початкове формування бур'янової синузії залежало від біологічних особливостей культури та системи органічного удобрення. У фазі повних сходів найбільшу кількість бур'янів на контролі відмічено у посівах пшениці ярої (207 шт./м²) та сої (194 шт./м²), а найменшу у посівах проса – 114 шт./м². У структурі забур'яненості переважали плоскуха звичайна та мишій сизий, частка яких становила 72,0–85,6 %. Комплексна система органічного удобрення сприяла зменшенню кількості бур'янів у посівах сої до 146 шт./м², пшениці ярої – до 131 і проса – до 78 шт./м² або відповідно на 24,7; 36,7 і 31,6 %.

8. З'ясовано, що впродовж вегетації внаслідок самозрідження бур'янової синузії та посилення конкурентного впливу культур чисельність і суха маса бур'янів закономірно знижувалися. За комплексного органічного удобрення на час збирання врожаю кількість бур'янів у посівах сої зменшувалася зі 118 до 68 т./м², пшениці ярої – з 86 до 41, проса – з 32 до 13 шт./м². Суха маса сегетальної рослинності знижувалася відповідно зі 124 до 68 г/м², з 84 до 41 та із 46 до 22 г/м². Найбільш виражений ефект щодо зниження забур'яненості наприкінці вегетації відмічено у посівах проса і пшениці ярої. Застосування біопрепарату сприяло поліпшенню умов росту і розвитку культур та ефективнішому використанню вологи та елементів живлення, формуванню щільнішого культурного агрофітоценозу та підвищенню його конкурентоздатності.

9. Доведено, що комплексне органічне удобрення поліпшувало морфометричні параметри й накопичення сухої речовини всіма культурами сівозміни. Середня висота рослин сої зростала із 78 до 91 см, пшениці ярої – з 85

до 104 см, проса – з 98 до 112 см. Загальна суха біомаса культур збільшувалася відповідно з 460 до 631 г/м², із 770 до 1038 та із 786 до 1025 г/м² або на 37,2; 34,8 і 30,4 %. У пшениці ярої маса коренів підвищувалася з 98 до 159 г/м² або на 62,2 %, що посилювало використання вологи та елементів живлення. Просо навіть на контролі формувало значну надземну масу, що підтверджує його вищу природну фітоценотичну стійкість у другій половині вегетації.

10. За комплексного органічного удобрення індекс конкурентної здатності сої зростав із 3,3 до 8,8 або у 2,7 рази, пшениці ярої з 11,3 до 37,0 або у 3,3 рази, проса з 15,3 до 44,1 або у 2,9 рази. Соя залишалася найбільш уразливою до забур'янення, особливо на початкових етапах органогенезу. Пшениця яра характеризувалася найбільшим відносним посиленням конкурентної здатності, а просо вирізнялося найвищим абсолютним значенням індексу завдяки поєднанню значної маси культурних рослин із мінімальною біомасою бур'янів.

11. Встановлено, що найвищу врожайність культур сівозміни забезпечувало комплексне застосування побічної продукції попередника, післяжнивного сидерату та біопрепарату. У середньому за 2023–2025 рр. урожайність насіння сої зростала з 1,29 до 1,87 т/га або на 45,0 %, зерна пшениці ярої з 2,74 до 3,98 т/га або на 45,3 %, проса з 2,55 до 3,52 т/га або на 38,0 %. Реакція культур залежала від умов року: найбільший відносний приріст урожайності сої, 68,4 %, одержано у 2024 р.; пшениця яра забезпечила найбільший середній абсолютний приріст – 1,24 т/га; у проса комплексне удобрення зменшувало спад урожайності між 2023 і 2025 рр. із 45,8 % на контролі до 16,9 %, що свідчить про стабілізацію формування врожаю за погіршення умов вирощування.

12. З'ясовано, що вплив систем органічного удобрення на якість продукції залежав від культури та не мав однакової спрямованості за всіма показниками хімічного складу. За комплексного удобрення вміст білка в насінні сої підвищувався з 35,0 до 36,4 %, у зерні пшениці ярої з 12,2 до 13,3 %, а вміст клейковини з 24,1 до 26,3 %. Водночас у насінні сої частка жиру знижувалася з 19,7 до 18,2 %, а у пшениці ярої з 2,01 до 1,86 %. Хімічний склад зерна проса був

відносно стабільним: уміст білка змінювався лише від 11,0 до 11,2 %, тому позитивна дія удобрення у цієї культури реалізувалася переважно через збільшення рівня врожайності зерна.

13. Доведено, що комплексна система органічного удобрення забезпечувала найбільшу сукупну агробіологічну продуктивність сівозміни. У розрахунку на 1 га сівозмінної площі збір кормових одиниць зростав із 2,64 до 3,77 т або на 42,8 %, зернових одиниць із 2,45 до 3,51 т або на 43,1 %, перетравного протеїну з 0,27 до 0,38 т або на 40,7 %. Пшениця яра забезпечувала найбільший вихід кормових і зернових одиниць, соя завдяки високій білковості насіння відігравала провідну роль у формуванні збору перетравного протеїну, а просо доповнювало продуктивність сівозміни високою базовою врожайністю та стійкістю до сегетальної рослинності.

14. Найвищі показники економічної та енергетичної ефективності забезпечувало поєднання побічної продукції попередника, післяжнивного сидерату редьки олійної та біопрепарату. У середньому з 1 га сівозмінної площі умовно чистий прибуток становив 43 624 грн/га і перевищував контроль на 41,2 %, собівартість продукції становила 8176 грн/т за рівня рентабельності 193 %. Водночас застосування біопрепарату без сидерату забезпечувало найнижчу собівартість продукції – 7340 грн/т за найвищої рентабельності виробництва – 231 %. За комплексного органічного удобрення сукупні енерговитрати зростали порівняно з контролем до 12 283 МДж/га або на 18,4 %, тоді як енергомісткість урожаю зростала до 52 988 МДж/га або на 42,4 %, унаслідок чого коефіцієнт енергетичної ефективності підвищувався з 3,64 до 4,35.

15. За сукупністю ґрунтових, агробіологічних, фітосанітарних, продуктивних та економічних показників науково обґрунтовано доцільність застосування у короткоротаційній органічній сівозміні у системі удобрення побічної продукції попередника, післяжнивного посіву редьки олійної та позакореневого внесення біопрепарату (3,0 л/га) у два строки внесення: у фазу повних сходів та у фазі цвітіння культур.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агрокліматичний довідник по території України (середні обласні показники, 1986–2015 рр.) / за ред. Т. І. Адаменко, М. І. Кульбіди, А. Л. Прокопенка. Житомир : Полісся, 2019. 82 с.
2. Атлас «Агрокліматичні ресурси України» / за ред. Т. І. Адаменко, М. І. Кульбіди, А. Л. Прокопенка. Київ : Український гідрометеорологічний центр, 2016. 113 с.
3. Балаєв А. Д., Богданович Р. П., Олійник В. С. Сезонна динаміка органічних речовин чорнозему типового Лісостепу Правобережного залежно від рівня удобрення. Вісник аграрної науки. 2015. № 2. С. 16–19.
4. Балаєв А. Д., Піковська О. В. Використання соломи у відновленні родючості ґрунтів : монографія. Київ : ЦП «Компринт», 2016. 242 с. ISBN 978-966-929-362-6.
5. Балаєв А. Д., Тонха О. Л., Піковська О. В., Гаврилюк М. В., Шеметун К. Г. Гумусованість і фізико-хімічні властивості чорноземів Лісостепу за мінімізації обробітків і біологізації системи удобрення. Вісник аграрної науки. 2020. Т. 98, № 11. С. 24–31. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202011-03>
6. Балюк С. А., Носко Б. С., Скрильник Є. В. Сучасні проблеми біологічної деградації чорноземів і способи збереження їх родючості. Вісник аграрної науки. 2016. Т. 94, № 1. С. 11–17. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201601-02>
7. 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.
8. Біологізація землеробства в Україні: реалії та перспективи : наук.-вироб. вид. / В. В. Іванишин та ін. ; за заг. ред. В. В. Іванишина, І. А. Шувара. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2016. 284 с. ISBN 978-966-286-094-8.

9. Біологічне рослинництво: Навч. Посібник / О. І. Зінченко, О. С. Алексєєва, П. М. Приходько та ін.; За ред. О. І. Зінченка. Київ : Вища школа, 1996. 239 с.
10. Біопрепарат «Біогель-плюс, ГВ» // ІАС «Аграрії разом». URL: <https://agrarii-razom.com.ua/preparations/biogel-plyus-gv>
11. Бойко П. І., Коваленко Н. П. Науково-інноваційні аспекти сівозмін в Україні. Вісник аграрної науки. 2006. № 5. С. 24–28.
12. Бойко П. І., Коваленко Н. П. Проблеми екологічно врівноважених сівозмін. Вісник аграрної науки. 2003. № 8. С. 9–13.
13. Бойко П. І., Мартинюк І. В., Цимбал Я. С. Становлення сівозмінних принципів у системах землеробства. Вісник аграрної науки. 2021. Т. 99, № 3. С. 5–13. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202103-01>.
14. Бомба М. Я., Бомба М. І. Бур'яни в агрофітоценозах та екологізація заходів щодо контролювання їх чисельності. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2019. № 1. С. 15–20. DOI: <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2019-1-15-20>
15. Булигін С. Ю., Величко В. А., Демиденко О. В. Агрогенез чорнозему : монографія. Київ : Аграрна наука, 2016. 356 с.
16. Бур'яни України: визначник-довідник. Київ: Наукова думка, 1970. 508 с.
17. Василенко М. Г. Органо-мінеральні добрива і регулятори росту рослин в органічному землеробстві. *Вісник аграрної науки*. 2017. Т. 95, № 2. С. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201702-02>
18. Використання соломи – ефективні техніко-технологічні рішення : рекомендації / за ред. В. І. Кравчука ; УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2012. 75 с.
19. *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

20. Вишневський В. І., Доніч О. А. Кліматичний кадастр України – найбільше та найдостовірніше джерело даних про клімат держави. *Праці Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського*. 2023. Вип. 19 (33). С. 31–38.

21. Вінюков О. О., Орехівський В. Д., Бондарева О. Б., Вінюкова О. Б., Мамєдова Е. І. Економічна доцільність впровадження в сільськогосподарське виробництво східної частини Північного Степу елементів органічної технології вирощування ярих колосових культур. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 12. С. 60–65.

22. Власюк О. С. Ефективність біопрепаратів на посівах пшениці та ячменю ярих. *Вісник аграрної науки*. 2021. Т. 99, № 10. С. 23–30. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202110-03>.

23. Вожегова Р. А., Боровик В. О., Марченко Т. Ю., Рубцов Д. К. Вплив густоти рослин і доз добрив на фотосинтетичну діяльність і врожайність сої середньостиглого сорту Святогор в умовах зрошення. *Вісник аграрної науки*. 2020. Т. 98, № 4. С. 62–68. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202004-09>

24. Вожегова Р. А., Малярчук А. С., Котельников Д. І., Резніченко Н. Д. Забур'яненість пшениці озимої за мінімізованої та нульової систем основного обробітку ґрунту, удобрення та сидерації. *Аграрні інновації*. 2020. № 4. С. 5–9. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.4.1>.

25. Войтовик М. В., Панченко О. Б., Цюк О. А., Міщенко Ю. Г. Енергетична ефективність агротехнологій короткоротаційних сівозмін. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2023. Т. 19, № 5. DOI: [https://doi.org/10.31548/dopovidi5\(105\).2023.007](https://doi.org/10.31548/dopovidi5(105).2023.007)

26. Войтовик М. В., Примах І. Д., Цюк О. А., Мельник В. І. Родючість чорнозему типового за багаторічного основного обробітку ґрунту в короткоротаційній сівозміні. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2023. Т. 19, № 3. DOI: [https://doi.org/10.31548/dopovidi3\(103\).2023.008](https://doi.org/10.31548/dopovidi3(103).2023.008)

27. Волкогон В. В., Потапенко Л. В., Дімова С. Б., Волкогон К. І., Халеп Ю. М. Біологічні чинники оптимізації систем удобрення сільськогосподарських культур у сівозміні. Вісник аграрної науки. 2021. Т. 99, № 11. С. 33–41. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202111-04>.
28. 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.
29. Грановська Л. М., Резніченко Н. Д., Рой С. С. Забур'яненість посівів сої (*Glycine max*) за різних систем основного обробітку ґрунту та сидерації. *Агроекологічний журнал*. 2023. № 1. С. 127–135. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2023.276737>.
30. Гревцов В. Д. Справочник по планированию в агропромышленном комплексе. Киев: Урожай, 1991. 74 с.
31. Гудзь В. П., Примак І. Д., Будьонний Ю. В., Танчик С. П. Землеробство : підручник / за ред. В. П. Гудзя. 2-ге вид., перероб. та допов. Київ : Центр учбової літератури, 2010. 464 с. ISBN 978-611-01-0064-9. URL: <https://catalog.lounb.org.ua/bib/387032>
32. Гуртовенко В. О., Цюк О. А. Водний режим чорнозему типового залежно від агротехнічних заходів. *Аграрні інновації*. 2023. № 22. С. 36–40. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.22.6>
33. Гутянський Р. А. Нодуляційна здатність, маса рослин та врожайність сої залежно від комплексного застосування препаратів. Вісник аграрної науки. 2022. Т. 100, № 6. С. 23–29. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202206-03>.
34. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні : монографія / М. К. Шикула, Ю. П. Манько, С. С. Антонець та ін. ; за ред. М. К. Шикули. Київ : Оранта, 2000. 389 с.
35. Дегодюк С. Е., Дегодюк Е. Г., Літвінова О. А. Наукові основи відтворення родючості ґрунтів і екологічна безпека у системах землеробства Полісся та Лісостепу України : монографія / за ред. С. Е. Дегодюка. Київ : Аграрна наука, 2024. 260 с. DOI: <https://doi.org/10.31073/978-966-540-614-3>

36. Дегодюк С. Е., Дегодюк Е. Г., Проненко М. М., Ігнатенко Ю. О., Пипчук Н. М., Мулярчук А. О. Ефективність застосування відновлюваних місцевих ресурсів за органічного землеробства : наук.-метод. рек. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2020. 48 с. <https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2021/04/30-renewable-local-resources.pdf>
37. Дегодюк С. Е., Мулярчук А. О. Урожайність та енергетична ефективність в агроценозі пшениці озимої за різних систем удобрення в умовах північної частини Лісостепу. *Агробіологія*. 2023. № 2. С. 21–27. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2023-183-2-21-27>
38. Дегодюк С. Е., Мулярчук А. О., Літвінова О. А., Яремко О. М. Зміна агрохімічних властивостей сірого лісового ґрунту за різних систем удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2025. Т. 103, № 7. С. 5–16. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202507-01>
39. Дегтярьова З., Шевченко М., Дегтярьов Ю., Будьонний В. Ефективність короткоротаційних сівозмін з різним насиченням соняшником. *Scientific Horizons*. 2024. Т. 27, № 12. С. 47–55. DOI: <https://doi.org/10.48077/scihor12.2024.47>
40. Дем'янюк О. С., Шерстобоева О. В., Демидов О. А. Біологічна активність чорнозему типового залежно від виду органічного субстрату органо-мінеральної системи удобрення. *Наукові горизонти*. 2016. Т. 19, № 2 (56), т. 1. С. 17–25. URL: <https://sciencehorizon.com.ua/uk/journals/2-56-2016/biologichna-aktivnist-chornozyemu-tipovogo-zalyezhno-vid-vidu-organichnogo-substratu-organo-minyeralnoyi-sistyemi-udobryennya>
41. Демиденко О. В. Вуглецево-секвестраційна здатність чорнозему типового в агроценозах. *Вісник аграрної науки*. 2023. Т. 101, № 6. С. 5–17. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202306-01>.
42. Демиденко О. В. Залежність між показниками родючості чорнозему опідзоленого за різних систем удобрення в агроценозі Центрального Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2020. Т. 98, № 7. С. 17–24. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202007-02>.

43. Демиденко О. В. Продуктивність сільськогосподарських культур за змін клімату у центральному Лісостепу України. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2023. Вип. 1 (7). С. 75–91. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2023.01.09>

44. Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні [Електронний ресурс] // ЕкоСистема. URL: <https://eco.gov.ua/register/perelik-pesticidiv-i-agrohimikativ-dozvolenih-dlya-vikoristannya>

45. 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/reyestr-sortiv-roslin>

46. Деталізована поживність кормів зони Лісостепу України / М. М. Карпусь, В. П. Славов, М. А. Лапа, Г. М. Мартинюк / за ред. О. О. Созінова. Київ: Аграрна наука, 1995. 347 с.

47. Дідора В. Г., Смаглій О. Ф., Ермантраут Е. Р. та ін. Методика наукових досліджень в агрономії. Київ: «Центр учбової літератури». 2013. 264 с.

48. Дідур І. М. Технологічні прийоми вирощування та особливості вегетації сої в умовах Правобережного Лісостепу. Вісник аграрної науки. 2026. Т. 104, № 1. С. 40–47. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202601-04>.

49. Добрива в органічному землеробстві: історія, теорія, практика : навч. посіб. / І. Д. Примак та ін. ; за ред. І. Д. Примака. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2023. 262 с.

50. ДСТУ 3768:2019 Пшениця. Технічні умови [Чинний від 10.06.2019]. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2019. 19 с.

51. 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.

52. 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.
53. ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 01.01.2004]. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.
54. ДСТУ 4287:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 30.04.2004]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 9 с.
55. ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини [Чинний від 01.07.2005]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005.
56. ДСТУ 4362:2004 Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. [Чинний від 09.12.2004]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 33 с.
57. ДСТУ 4524:2006 Гречка. Технічні умови [Чинний від 01.01.2007]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 11 с.
58. 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.
59. ДСТУ 4964:2008 Соя. Технічні умови [Чинний від 01.07.2010]. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 12 с.
60. ДСТУ 7863:2015 Якість ґрунту. Визначення легкогідролізного азоту методом Корнфілда [Чинний від 01.07.2016]. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016.
61. ДСТУ 8066:2015 Корми для сільськогосподарських тварин. Методи визначення енергоємності і поживності [Чинний від 01.01.2017]. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2017. 11 с.
62. ДСТУ ISO 10390:2007 Якість ґрунту. Визначення рН (62879). [Чинний від 24.12.2007]. Київ: Держспоживстандарт України, 2012. 8 с.
63. 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.

64. Дубицька А. О., Качмар О. Й., Вавринович О. В., Дубицький О. Л., Щерба М. М. Вплив екологізованих систем удобрення на врожайність і якість зерна пшениці озимої. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2021. Вип. 69 (2). С. 41–57. DOI: [https://doi.org/10.32636/01308521.2021-\(69\)-2-3](https://doi.org/10.32636/01308521.2021-(69)-2-3).
65. Дубицький О. Л., Качмар О. Й., Дубицька А. О., Вавринович О. В. Вплив екологізованих систем удобрення на родючість сірого лісового ґрунту та врожайність пшениці озимої. Вісник аграрної науки. 2021. Т. 99, № 9. С. 55–63. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202109-08>.
66. Єщенко В. О. Роль сівозмін у сучасному землеробстві. Землеробство : міжвід. темат. наук. зб. Київ : ВП «Едельвейс», 2015. Вип. 1. С. 23–27.
67. 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.
68. Заришняк А. С., Сипко А. О., Стрілець О. П. та ін. Стабілізація кислотно-лужного балансу слабокислих ґрунтів за біологізації вирощування буряків цукрових в умовах Лісостепу України. Вісник аграрної науки. 2019. Т. 97, № 3. С. 20–27. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201903-03>.
69. Іутинська Г. О., Голобородько С. П., Титова Л. В., Дубинська О. Д. Ефективність бобово-ендофітно-ризобіального симбіозу і продуктивність різних за скоростиглістю сортів сої в умовах зрошення Південного Степу України. Вісник аграрної науки. 2022. Т. 100, № 11. С. 56–66. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202211-08>.
70. Камінський В. Ф., Бойко П. І. Роль сівозмін у сучасному землеробстві. Вісник аграрної науки. 2013. № 6. С. 5–9.
71. Камінський В. Ф., Буслаєва Н. Г. Основи прикладного математичного аналізу в сільськогосподарських дослідженнях: методичні рекомендації. Київ: ВД «ЕКМО», 2011. 24 с.
72. 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.

73. Квасніцька Л. С., Войтова Г. П. Продуктивність п'ятипільних сівозмін зони достатнього зволоження Правобережного Лісостепу. Вісник аграрної науки. 2023. Т. 101, № 2. С. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202302-01>.

74. Кващук О. В., Пастух О. Д. Вплив біопрепаратів на врожайність сумісних посівів проса і гречки. Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України. 2015. № 8. С. 141–144. <https://institut-zerna.com/library/pdf8/27.pdf>

75. Кирилюк В. П., Тимощук Т. М., Пташнік М. М. Оцінювання ефективності систем обробітку ґрунту та удобрення у забезпеченні продуктивності короткоротаційної сівозміни. Вісник аграрної науки. 2026. Т. 104, № 4. С. 16–26. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202604-02>

76. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ : Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.

77. 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.

78. Коноваленко Л. І., Вінюков О. О., Бондарева О. Б. Буферність ґрунтів агроландшафтів Донецького регіону до забруднення важкими металами. Вісник аграрної науки. 2020. Т. 98, № 9. С. 53–58. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202009-07>

79. Косолап М. П. Гербологія. Навчальний посібник. Київ: Арістей, 2004. 364 с.

80. 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.

81. 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>
82. Краковська С. В., Шпиталь Т. М., Савчук С. В., Чигарева А. Ю., Криштоп Л. Ю. Кліматичні характеристики термічних періодів в Україні до кінця ХХІ ст. Частина III: період активної вегетації рослин. *Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля*. 2025. № 1 (7). С. 4–18. DOI: <https://doi.org/10.15407/Meteorology2025.07.004>
83. Краковська С. В., Шпиталь Т. М., Чигарева А. Ю., Савчук С. В., Криштоп Л. Ю. Кліматичні характеристики термічних періодів в Україні до кінця ХХІ ст. Частина II: вегетаційний період. *Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля*. 2024. № 2 (6). С. 33–49. DOI: <https://doi.org/10.15407/Meteorology2024.06.033>
84. Кудря С. І. Продуктивність короткоротаційної сівозміни з різними бобовими культурами на чорноземі типовому. *Вісник аграрної науки*. 2020. Т. 98, № 1. С. 13–18. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202001-02>
85. 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/>
86. Лебідь Є. М., Андрусенко І. І., Пабат І. А. Сівозміни при інтенсивному землеробстві. Київ : Урожай, 1992. 224 с.
87. Літвінов Д. В., Літвінова О. А., Дегодюк С. Е., Дмитренко О. В. Вплив систематичного удобрення на біологічну активність сірого лісового ґрунту. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. Т. 11, № 3. С. 97–104. DOI: <https://doi.org/10.31548/agr2020.03.097>
88. Літвінова О. А., Дегодюк С. Е. Вплив систематичного внесення добрив на родючість ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2021. Т. 12, № 3. С. 76–84. DOI: <https://doi.org/10.31548/agr2021.03.0076>

89. Маринич О. М., Шищенко П. Г. Фізична географія України : підручник. Київ : Знання, 2005. 511 с.
90. Мартинюк І. В., Бойко П. І., Цимбал Я. С. Продуктивність ячменю ярого в короткоротаційній сівозміні Лівобережного Лісостепу залежно від системи удобрення. *Зернові культури*. 2021. Т. 5, № 2. С. 343–348. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0194>.
91. Мартинюк І. В., Савченко Є. Д. Ефективність органічних систем удобрення культур зернової сівозміни в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Журнал «Землеробство та рослинництво: теорія і практика»* ННЦ «ІЗ НААН». Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2026. Вип. 2 (20) С. 34–41. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2026.02.04>.
92. Мартинюк І. В., Савченко Є. Д. Запаси продуктивної вологи у ґрунті залежно від системи органічного удобрення культур короткоротаційної сівозміни. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Інноваційний розвиток землеробства на засадах еколого-економічної збалансованості» (м. Рівне, 11 червня 2026 р.). *Зб. наук. праць*. – Рівне, 2026. С. 13–15.
93. Мартинюк І. В., Савченко Є. Д. Продуктивність проса за різних органічних систем удобрення в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених з нагоди Дня науки в Україні: Інновації для сталого розвитку агросфери: наукові та технічні рішення* (м. Одеса, 15 травня 2026 року). Одеса: Олді+, 2026. С. 33–35.
94. Мартинюк І. В., Савченко Є. Д. Уміст мікроелементів і важких металів у ґрунті під зерновими культурами короткоротаційної органічної сівозміни. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Ресурсозберігаючі технології вирощування культурних рослин» (м. Біла-Церква, 04 червня 2026 року). Біла Церква: БНАУ, 2026. С. 37–39.

95. Мартинюк І. В., Цимбал Я. С. Короткоротаційні сівозміни для агроформувань різних форм власності. *Агробізнес Сьогодні*. 2021. № 6 (445). С. 66–68.

96. Мартинюк І. В., Цимбал Я. С., Савченко С. Д., Савченко Є. Д. Вирощування сої в короткоротаційній сівозміні за органічного землеробства. Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції: *Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і справедливого продажу якісної органічної продукції* (м. Іллінці, 17 червня 2025 року). Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2025. С. 19–22.

97. 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. Т. 102, № 11. С. 5–10. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202411-01>

98. 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. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2026. 56 с.

99. Мартинюк І. В., Савченко Є. Д. Вирощування проса у короткоротаційній сівозміні за органічного виробництва зерна. *Інноваційні напрями розвитку технологій управління землями сільськогосподарського призначення: теорія та практика*: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів (с-ще Чабани, 27 листопада 2023 р.). Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2023. С. 40–42. <https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2024/02/innovative-areas-of-development-2.pdf>

100. 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>

101. Мацибора В. І. Економіка сільського господарства: підручник. Київ: Вища школа, 1994. С. 136–153.
102. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ: Урожай. 1988. 203 с.
103. Мельничук А. О., Кучер Г. А., Савчук О. І., Кочик Г. М., Гуреля В. В., Ковальов В. Б. Оптимізація живлення культур в інтенсивній короткоротаційній сівозміні на дерново-середньопідзолистих ґрунтах Полісся. Вісник аграрної науки. 2021. Т. 99, № 11. С. 17–25. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202111-02>.
104. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур / За ред. В.В. Волкодава. Випуск другий (зернові, круп'яні та зернобобові культури). Київ. 2001. 65 с.
105. Методика суцільного ґрунтово-агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України / За ред. О. О. Созінова, Б. С. Прістера. Київ, 1994. 35 с.
106. Міщенко Ю. Г., Захарченко Е. А. Вплив післяжнивної сидерації на забур'яненість буряків цукрових. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія». 2019. № 4 (38). С. 41–49. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2019.4>.
107. Мойсейченко В. Ф., Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ: Вища школа. 1994. 334 с.
108. Москалевська Ю. П., Патика М. В. Біологічна активність та мікробна трансформація органічної речовини чорнозему типового за різних систем землеробства. Збалансоване природокористування. 2014. № 2. С. 68–72.
109. Наукові основи виробництва органічної продукції в Україні: монографія / за ред. Я.М. Гадзала, В.Ф. Камінського. Київ: Аграрна наука, 2016. 592 с.
110. Наукові основи сучасних систем вітчизняного землеробства : навчальний посібник / І. Д. Примаєв, І. В. Мартинюк, Ю. В. Федорук та ін. ; за

ред. І. Д. Примака. Вінниця : ТВОРИ, 2022. 320 с. ISBN 978-617-552-019-2. URL: <https://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/11430>

111. Національний атлас України / голов. ред. Л. Г. Руденко. Київ : ДНВП «Картографія», 2007. 440 с.

112. Новохацький М., Таргоня В., Бондаренко О., Мельник О. До питання розроблення біологізованих сівозмін біологічного агровиробництва. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2018. Вип. 23 (37). С. 168–173. DOI: [https://doi.org/10.31473/2305-5987-2018-2-23\(37\)-18](https://doi.org/10.31473/2305-5987-2018-2-23(37)-18).

113. Органічна пшениця : посібник / Х. Дірауер, Р. Закс ; адапт. Т. Ріхтер, А. Кравченко ; пер. О. Юкало. Київ : Дослідний інститут органічного сільського господарства (FiBL), 2016. 16 с. ISBN 978-966-2344-47-9. URL: https://orgprints.org/id/eprint/33042/1/Organic_wheat_UAt.pdf

114. Орещенко А. В. Методи оптимізації до створення веб-базованого атласу «Клімат і водні ресурси України». *Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля*. 2024. № 2 (6). С. 80–94. DOI: <https://doi.org/10.15407/Meteorology2024.06.080>

115. Паньків З. П., Іванюк Г. С. Ґрунти України. Практикум : навчальний посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2025. 224 с.

116. Писаренко В. М., Антонець А. С., Лук'яненко Г. В., Писаренко П. В. Система органічного землеробства агроєколога С. С. Антонця : наук.-вироб. вид. / за ред. В. М. Писаренка. Полтава : ГС «Полтавське товариство сільського господарства», 2016. 131 с.

117. Піковська О. В., Вітвіцька О. І. Вплив застосування соломи на показники родючості чорнозему типового. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Агрономія». 2016. Вип. 235. С. 160–166.

118. Позняк С. П. Ґрунтознавство і географія ґрунтів : підручник : у 2 ч. Ч. 2. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2010. 286 с.

119. Позняк С. П., Гавриш Н. С. Господареві про ґрунти і право на них : науково-практичний посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020. 250 с. <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/03/Pozniak-hospodar-soil-book-2020.pdf>
120. Полупан М. І., Соловей В. Б., Величко В. А. Класифікація ґрунтів України / за ред. М. І. Полупана. Київ : Аграрна наука, 2005. 300 с.
121. Правдива Л. А., Грабовський М. Б., Лозінський М. В., Качан Л. М. Контролювання забур'яненості посівів сої агротехнічними заходами в умовах Правобережного Лісостепу України. *Аграрні інновації*. 2023. № 20. С. 62–68. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.20.10>
122. Примак І. Д., Єзерковська Л. В., Войтовик М. В., Караульна В. М., Панченко О. Б., Качан Л. М., Ображій С. В. Вплив систем удобрення на масу рослинних решток агрофітоценозів короткоротаційної сівозміни, баланс ґрунтового гумусу і екологізацію рільництва. *Агробіологія*. 2023. № 2. С. 100–111. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2023-183-2-100-111>
123. Примак І. Д., Єщенко В. О., Манько Ю. П. Сівозміни в землеробстві України : навч. посіб. / за ред. І. Д. Примака. Київ : КВІЦ, 2008. 288 с. ISBN 978-966-2003-36-9. URL: <https://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/11397>
124. Примак І. Д., Косолап М. П., Рожко В. Г., Мазуркевич І. В. Визначник сходів і насіння бур'янів Київ: КВІЦ, 2008. 150 с.
125. Примак І. Д., Левандовська С. М., Панченко О. Б., Панченко І. А., Войтовик М. В., Карпенко В. Г., Мартинюк І. В. Біологічна активність чорнозему типового за різних систем основного обробітку та удобрення культур короткоротаційної сівозміни. *Агробіологія*. 2019. № 2. С. 43–58. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2019-153-2-43-58>
126. Примак І. Д., Панченко О. Б., Войтовик М. В., Ображій С. В., Панченко І. А. Баланс гумусу в короткоротаційній сівозміні Правобережного Лісостепу України залежно від систем удобрення чорнозему типового. *Агробіологія*. 2020. № 1. С. 151–159. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-157-1-151-159>

127. Примак І. Д., Панченко О. Б., Войтовик М. В., Панченко І. А. Продуктивність агрофітоценозів польової сівозміни за різних систем основного обробітку і удобрення у Правобережному Лісостепу України. *Агробіологія*. 2016. № 2 (128). С. 5–11.

128. Примак І. Д., Панченко О. Б., Єзерковська Л. В., Караульна В. М., Войтовик М. В., Ображій С. В., Присяжнюк Н. М., Качан Л. М. Фізична будова та структура чорнозему типового за різних систем основного обробітку і удобрення агрофітоценозів польової сівозміни. *Агробіологія*. 2024. № 1. С. 140–152. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2024-187-1-140-15>

129. Примак І.Д., Манько Ю.П., Танчик С.П., Косолап М.П., Мартинюк І.В. Бур'яни в землеробстві України: прикладна гербологія. Біла Церква, 2005. 664 с.

130. Про основні принципи та вимоги до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції : Закон України від 10 лип. 2018 р. № 2496-VIII. Законодавство України / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2496-19#Text>

131. Про схвалення Стратегії 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. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhhvalennia-stratehii-rozvytku-silskoho-hospodarstva-ta-silskykh-terytorii-v-ukraini-na-period-i151124-1163>

132. Пташнік М. М., Дудник С. В., Брухаль Ф. Й., Борис Н. Є. Контролювання сегетальної рослинності за адаптивних систем обробітку ґрунту у зоні Лісостепу України. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2021. Вип. 1 (1). С. 32–42. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2021.01.05>

133. 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>

134. Раціональні сівозміни в сучасному землеробстві : навч. посіб. / І. Д. Примака та ін. ; за ред. І. Д. Примака. Біла Церква : Білоцерківський державний аграрний університет, 2003. 384 с. ISBN 966-7417-43-3.

135. Рекомендації щодо використання соломи, пожнивних решток і культивуації сидеральних культур для підвищення та збереження родючості ґрунтів / В. П. Ситник, М. Д. Безуглий, В. В. Адамчук та ін. Київ : ННЦ «ІМЕСГ», 2010. 36 с.

136. Рижук С. М., Кочик Г. М., Мельничук А. О., Савчук О. І., Кучер Г. А. Стратегічне управління продуктивністю агроценозів у системі осушуваного землеробства. Вісник аграрної науки. 2022. Т. 100, № 7. С. 62–74. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202207-09>

137. Рижук С. М., Савчук О. І., Мельничук А. О., Приймачук Т. Ю. Ефективність короткоротаційних сівозмін з економічно привабливими культурами на осушуваних дерново-підзолистих ґрунтах. Вісник аграрної науки. 2022. Т. 100, № 2. С. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202202-02>.

138. Рожков А. О. Пузік В. К., Каленська С. М. та ін. Дослідна справа в агрономії. / За ред. Рожкова А. О. / Харків. 2016. 315 с.

139. Рубін С. С., Михайловський А. Г., Ступаков В. П. Землеробство : підручник. Київ : Вища школа, 1980. 464 с.

140. Савченко Є. Д. Агрохімічний стан чорнозему типового малогумусного за різних систем органічного удобрення в короткоротаційній сівозміні. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Ресурсозберігаючі технології вирощування культурних рослин» (м. Біла-Церква, 04 червня 2026 року). Біла Церква: БНАУ, 2026. С. 66–70.

141. Савченко Є. Д. Вплив різних систем органічного удобрення на забур'яненість посівів зернових культур короткоротаційної сівозміни. Науково-теоретичний журнал «Вісник аграрної науки». Київ: «Аграрна наука». № 6 (879), 2026. С. 78–83. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202606-09>.

142. Савчук О. І., Приймачук Т. Ю., Дребот О. В., Кудрик А. П., Цуман Н. В. Агроекологічна та економічна оцінка органічної сівозміни в зоні Полісся.

Агроекологічний журнал. 2024. № 2. С. 166–173. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2024.305676>

143. Савчук О. І., Приймачук Т. Ю., Кошицька Н. А., Штанько Т. А., Меша К. В. Родючість осушеного дерново-підзолистого ґрунту в органічній сівозміні. *Вісник аграрної науки*. 2024. Т. 102, № 3. С. 67–73. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202403-10>.

144. Сайко В. Ф. Використання на удобрення побічної продукції рослинництва в Україні. *Землеробство*. 2009. Вип. 81. С. 3–10. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2009_81_3

145. Сидерати в сучасному землеробстві : наук.-вироб. вид. / І. А. Шувар та ін. ; за заг. ред. І. А. Шуvara. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2015. 156 с.

146. Сиромятников Ю. М., Куц О. В., Рудий С. А. Біологічна активність ґрунту в посівах буряку цукрового залежно від різних поєднань елементів агротехнологій. *Агробіологія*. 2024. № 2. С. 117–127. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2024-191-2-117-127>

147. Сівозміни у землеробстві України / за ред. В. Ф. Сайка, П. І. Бойка ; УААН, Ін-т землеробства. Київ : Аграрна наука, 2002. 146 с. ISBN 966-540-191-2. URL: <https://www.irbis-nbuv.gov.ua/publ/REF-0000054297>

148. Скрильник Є. В., Кутова А. М., Гетманенко В. А., Артем'єва 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. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-10>.

149. Смірнова К. Б., Фатєєв А. І. Основні принципи оцінювання якості ґрунтів за вмістом важких металів для їх бонітування. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2017. Вип. 86. С. 48–57. URL: https://agrosoil.yolasite.com/resources/2017-86/2017_AiG-86_48-57_Smirnova.pdf

150. Стеценко А. Р., Орихівська О. М., Кононенко Н. О. Сучасний стан та потенціал розвитку органічного сектору України в умовах глобальних викликів. *Агроекологічний журнал*. 2026. № 1. С. 22–32. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2026.354119>

151. Танчик С. П., Павлов О. С., Чумбей В. В. Потенційна забур'яненість ґрунту залежно від його обробітку за вирощування гречки посівної в Прикарпатті України. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2020. Т. 16, № 1. С. 59–70. DOI: <https://doi.org/10.31548/dopovidi2020.01.006>

152. Танчик С. П., Примак І. Д., Літвінов Д. В., Центило Л. В. Сівозміни : підручник. Київ : ЦП «Компрінт», 2019. 365 с. ISBN 978-966-929-962-8.

153. Танчик С. П., Центило Л. В., Цюк О. А. Вплив удобрення та обробітку ґрунту на врожайність культур сівозміни. *Вісник аграрної науки*. 2019. Т. 97, № 8. С. 11–16. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201908-02>

154. Танчик С. П., Цюк О. А., Центило Л. В. Наукові основи систем землеробства : монографія. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 314 с.

155. Тараріко Ю. О., Несмашна О. Є., Глущенко Л. Д. Енергетична оцінка систем землеробства і технологій вирощування сільськогосподарських культур : метод. рек. Київ : Нора-прінт, 2001. 60 с.

156. 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.

157. 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.

158. Ткачук В. П., Саюк О. А., Плотницька Н. М., Гурманчук О. В., Павлюк І. О. Вплив способів основного обробітку ґрунту та систем удобрення на забур'яненість посівів польових культур. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 1. С. 70–73. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.01.11>.

159. Ушкаренко В. О., Нікіщенко В. Л., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві: Навчальний посібник. Херсон: Айлант, 2008. 272 с.

160. Цвей Я. П., Іваніна В. В., Петрова О. Т. Груповий та фракційний склад гумусу чорнозему типового в різноротаційних сівозмінах. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 1. С. 15–19.

161. Цвей Я. П., Іваніна Р. В., Дубовий Ю. П. Екологічний контроль чисельності бур'янів у посівах пшениці озимої. *Карантин і захист рослин*. 2020. № 1. С. 16–19. DOI: <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2020.01.16-19>.

162. Цвей Я. П., Торліна О. М., Воронюк Н. М. Агрохімічні показники чорнозему залежно від системи удобрення буряків цукрових і ланок сівозмін. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 1. С. 23–26. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201601-04>.

163. Центилю Л. В. Вологозабезпеченість буряків цукрових залежно від систем обробітку ґрунту та удобрення. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2019. Т. 15, № 5. С. 94–100. DOI: <https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.05.010>

164. Центилю Л. В. Продуктивність сівозміни залежно від удобрення і обробітку ґрунту. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2019. Т. 23, № 3 (103). С. 52–60. DOI: [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2019-3\(103\)-7](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2019-3(103)-7).

165. Центилю Л. В., Цюк О. А. Азотний режим чорнозему типового залежно від удобрення і обробітку ґрунту. *Біоресурси і природокористування*. 2019. Т. 11, № 1–2. С. 107–114. DOI: <https://doi.org/10.31548/bio2019.01.012>

166. Цимбал Я. С., Бойко П. І., Мартинюк І. В., Пташнік М. М. Продуктивність короткоротаційних сівозмін у зоні Лісостепу за різних рівнів інтенсифікації. *Вісник аграрної науки*. 2022. Т. 100, № 4. С. 23–29. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202204-0>

167. Цимбал Я. С., Мартинюк І. В., Пташнік М. М., Шляхтуров Д. С., Оксимець О. Л. Продуктивність сої в різноротаційних сівозмінах Лівобережного Лісостепу України за органо-мінерального удобрення. *Зернові культури*. 2023. Т. 7, № 2. С. 343–349. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0296>

168. Цицюра Я. Г., Неїлик М. М., Дідур І. М., Поліщук М. І. Сидерація як базова складова біологізації сучасних систем землеробства : монографія. Вінниця : ТОВ «Друк», 2022. 770 с. <https://repository.vsau.org/getfile.php/31996.pdf>

169. Цюк О. А., Центило Л. В., Мельник В. І. Зміни агрофізичних властивостей чорнозему типового під впливом застосування добрив і обробітку ґрунту. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2021. Т. 17, № 5. С. 69–76. DOI: <https://doi.org/10.31548/dopovidi2021.05.007>
170. Чабанюк Я. В., Бровко І. С., Мазур С. О., Тимошенко В. В., Никифорова В. М. Біологічні властивості ґрунтів за дії агротехнічних чинників. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 1. С. 115–123. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2018.161415>
171. Шевніков М. Я., Міленко О. Г. Міжвидова конкуренція та забур'яненість посівів сої залежно від моделі агрофітоценозу. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2015. Вип. 3 (86). С. 116–123.
172. Шувар І. А. Наукові основи сівозмін інтенсивно-екологічного землеробства. Львів : Каменяр, 1998. 223 с. ISBN 5-7745-0748-3.
173. 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
174. Abdalla M., Hastings A., Cheng K., Yue Q., Chadwick D., Espenberg M., Truu J., Rees R. M., Smith P. A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. *Global Change Biology*. 2019. Vol. 25, No. 8. P. 2530–2543. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14644>.
175. Andrew I. K. S., Storkey J., Sparkes D. L. A review of the potential for competitive cereal cultivars as a tool in integrated weed management. *Weed Research*. 2015. Vol. 55, No. 3. P. 239–248. DOI: <https://doi.org/10.1111/wre.12137>
176. Backer R., Rokem J. S., Ilangumaran G., Lamont J., Praslickova D., Ricci E., Subramanian S., Smith D. L. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. Art. 1473. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>.

177. Barański M., Średnicka-Tober D., Volakakis N. et al. Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses. *British Journal of Nutrition*. 2014. Vol. 112, No. 5. P. 794–811. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114514001366>
178. Barbosa J. Z., Hungria M., Sena J. V. da S., Poggere G., dos Reis A. R., Corrêa R. S. Meta-analysis reveals benefits of co-inoculation of soybean with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* spp. in Brazil. *Applied Soil Ecology*. 2021. Vol. 163. Art. 103913. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103913>.
179. Basche A. D., DeLonge M. S. Comparing infiltration rates in soils managed with conventional and alternative farming methods: a meta-analysis. *PLoS ONE*. 2019. Vol. 14, No. 9. Art. e0215702. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215702>
180. Bhowmik A., Fortuna A.-M., Cihacek L. J., Bary A. I., Cogger C. G. Use of biological indicators of soil health to estimate reactive nitrogen dynamics in long-term organic vegetable and pasture systems. *Soil Biology and Biochemistry*. 2016. Vol. 103. P. 308–319. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.09.004>.
181. Blanco-Canqui H., Ruis S. J. Cover crop impacts on soil physical properties: a review. *Soil Science Society of America Journal*. 2020. Vol. 84, No. 5. P. 1527–1576. DOI: <https://doi.org/10.1002/saj2.20129>
182. Bolan N., Kunhikrishnan A., Thangarajan R., Kumpiene J., Park J., Makino T., Kirkham M. B., Scheckel K. Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils – to mobilize or to immobilize? *Journal of Hazardous Materials*. 2014. Vol. 266. P. 141–166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.12.018>
183. Bünemann E. K., Bongiorno G., Bai Z., Creamer R. E., De Deyn G. B., de Goede R. G. M., Flesskens L., Geissen V., Kuyper T. W., Mäder P., Pulleman M. M., Sukkel W., van Groenigen J. W., Brussaard L. Soil quality – a critical review. *Soil Biology and Biochemistry*. 2018. Vol. 120. P. 105–125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>

184. Cavigelli M. A., Teasdale J. R., Conklin A. E. Long-term agronomic performance of organic and conventional field crops in the Mid-Atlantic region. *Agronomy Journal*. 2008. Vol. 100, No. 3. P. 785–794. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0373>.

185. Chmelíková L., Schmid H., Anke S., Hülsbergen K.-J. Energy-use efficiency of organic and conventional plant production systems in Germany. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Art. 1806. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51768-3>

186. Choudhary M., Panday S. C., Meena V. S., Singh S., Yadav R. P., Mahanta D., Mondal T., Mishra P. K., Bisht J. K., Pattanayak A. Long-term effects of organic manure and inorganic fertilization on sustainability and chemical soil quality indicators of soybean–wheat cropping system in the Indian mid-Himalayas. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2018. Vol. 257. P. 38–46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.029>.

187. Commission Implementing Regulation (EU) 2021/1165 of 15 July 2021 authorising certain products and substances for use in organic production and establishing their lists. *Official Journal of the European Union*. 2021. L 253. P. 13–48. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2021/1165/oj/eng

188. Crowder D. W., Reganold J. P. Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2015. Vol. 112, No. 24. P. 7611–7616. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1423674112>

189. Dayananda B., Fernandez M. R., Lokuruge P., Zentner R. P., Schellenberg M. P. Economic analysis of organic cropping systems under different tillage intensities and crop rotations. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2021. Vol. 36, No. 5. P. 509–516. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1742170521000120>

190. de Ponti T., Rijk B., van Ittersum M. K. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems*. 2012. Vol. 108. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.12.004>

191. Dong F., Zeng W. Effects of fall and winter cover crops on weed suppression in the United States: a meta-analysis. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, No. 8. Art. 3192. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16083192>

192. Drinkwater L. E., Wagoner P., Sarrantonio M. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*. 1998. Vol. 396, No. 6708. P. 262–265. DOI: <https://doi.org/10.1038/24376>.

193. European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on an Action Plan for the Development of Organic Production. COM(2021) 141 final. Brussels, 25 March 2021. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021DC0141>

194. European Commission. Organic farming in the EU: a decade of organic growth. Agricultural Market Brief. Brussels : Directorate-General for Agriculture and Rural Development, 2023. No. 20. 32 p. URL: https://agriculture.ec.europa.eu/system/files/2023-04/agri-market-brief-20-organic-farming-eu_en.pdf

195. Finney D. M., White C. M., Kaye J. P. Biomass production and carbon/nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures. *Agronomy Journal*. 2016. Vol. 108, No. 1. P. 39–52. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj15.0182>.

196. Fließbach A., Oberholzer H.-R., Gunst L., Mäder P. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2007. Vol. 118, No. 1–4. P. 273–284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.022>.

197. Gagliardi L., Tramacere L. G., Antichi D., Frasconi C., Sbrana M., Sileoni G., Monacci E., Pagano L., Darra N. et al. Alternative tactics to herbicides in integrated weed management: a Europe-centered systematic literature review. *Agronomy*. 2026. Vol. 16, No. 2. Art. 220. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy16020220>

198. Goulding K. W. T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use and*

Management. 2016. Vol. 32, No. 3. P. 390–399. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12270>

199. Hartmann M., Frey B., Mayer J., Mäder P., Widmer F. Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *The ISME Journal*. 2015. Vol. 9, No. 5. P. 1177–1194. DOI: <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.210>

200. Hijbeek R., van Ittersum M. K., ten Berge H. F. M., Gort G., Spiegel H., Whitmore A. P. Do organic inputs matter — a meta-analysis of additional yield effects for arable crops in Europe. *Plant and Soil*. 2017. Vol. 411. P. 293–303. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3031-x>.

201. Hoang T. N., Konvalina P., Kopecký M., Ghorbani M., Nguyen T. G., Bernas J., Murindangabo Y. T., Capouchová I., Shim S., Hlásná Čepková P. Assessing the quality and grain yield of winter wheat in the organic farming management under wheat–legume intercropping practice. *Heliyon*. 2024. Vol. 10, No. 10. Art. e31234. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31234>.

202. Jian J., Du X., Reiter M. S., Stewart R. D. A meta-analysis of global cropland soil carbon changes due to cover cropping. *Soil Biology and Biochemistry*. 2020. Vol. 143. Art. 107735. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107735>

203. Kallenbach C. M., Frey S. D., Grandy A. S. Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysiological controls. *Nature Communications*. 2016. Vol. 7. Art. 13630. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms13630>

204. Karlsson M., Carrié R., Wetterlind J., Bergkvist G., Ekroos J., Smith H. G. Weed–crop competition under improved nutrient management reveals trade-off between yields and weed diversity in organic farming. *Biological Agriculture & Horticulture*. 2025. Vol. 41, No. 3. P. 201–220. DOI: <https://doi.org/10.1080/01448765.2025.2505896>.

205. Kätterer T., Bolinder M. A., Andrén O., Kirchmann H., Menichetti L. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agriculture, Ecosystems &*

Environment. 2011. Vol. 141, No. 1–2. P. 184–192. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.029>.

206. Kaur P., Sachan S., Sharma A. Weed competitive ability in wheat: a peek through in its functional significance, present status and future prospects. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2021. Vol. 27, No. 10. P. 2165–2179. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12298-021-01079-y>

207. Khalep Yu., Moskalenko A. Ecological and economic aspects of the efficiency of Polissia organic plant models. *Agricultural and Resource Economics*. 2020. Vol. 6, No. 4. P. 5–19. DOI: <https://doi.org/10.51599/are.2020.06.04.01>

208. Khan M. T., Aleinikovienė J., Butkevičienė L.-M. Innovative organic fertilizers and cover crops: perspectives for sustainable agriculture in the era of climate change and organic agriculture. *Agronomy*. 2024. Vol. 14, No. 12. Art. 2871. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14122871>

209. Knapp S., van der Heijden M. G. A. A global meta-analysis of yield stability in organic and conservation agriculture. *Nature Communications*. 2018. Vol. 9. Art. 3632. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05956-1>

210. Krause H.-M., Stehle B., Mayer J., Mayer M., Steffens M., Mäder P., Fließbach A. Biological soil quality and soil organic carbon change in biodynamic, organic, and conventional farming systems after 42 years. *Agronomy for Sustainable Development*. 2022. Vol. 42. Art. 117. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00843-y>.

211. Kravchenko A. N., Snapp S. S., Robertson G. P. Field-scale experiments reveal persistent yield gaps in low-input and organic cropping systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2017. Vol. 114, No. 5. P. 926–931. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1612311114>.

212. Lairon D. Nutritional quality and safety of organic food: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2010. Vol. 30. P. 33–41. DOI: <https://doi.org/10.1051/agro/2009019>

213. Lehmann J., Kleber M. The contentious nature of soil organic matter. *Nature*. 2015. Vol. 528. P. 60–68. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature16069>

214. Li B.-Y., Huang S.-M., Wei M.-B., Zhang H.-L., Shen A.-L., Xu J.-M., Ruan X.-L. Dynamics of soil and grain micronutrients as affected by long-term fertilization in an Aquic Inceptisol. *Pedosphere*. 2010. Vol. 20, No. 6. P. 725–735. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(10\)60063-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(10)60063-X).
215. Liebman M., Davis A. S. Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Research*. 2000. Vol. 40, No. 1. P. 27–47. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2000.00164.x>
216. Lori M., Symnaczik S., Mäder P., De Deyn G. B., Gattinger A. Organic farming enhances soil microbial abundance and activity—a meta-analysis and meta-regression. *PLoS ONE*. 2017. Vol. 12, No. 7. Art. e0180442. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180442>
217. Lotter D. W., Seidel R., Liebhardt W. The performance of organic and conventional cropping systems in an extreme climate year. *American Journal of Alternative Agriculture*. 2003. Vol. 18, No. 3. P. 146–154. DOI: <https://doi.org/10.1079/AJAA200345>.
218. Ma D., Yin L., Ju W., Li X., Liu X., Deng X., Wang S. Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China. *Field Crops Research*. 2021. Vol. 266. Art. 108146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108146>.
219. MacLaren C., Storkey J., Menegat A., Metcalfe H., Dehnen-Schmutz K. An ecological future for weed science to sustain crop production and the environment: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2020. Vol. 40. Art. 24. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00631-6>
220. Mäder P., Fließbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P., Niggli U. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*. 2002. Vol. 296, No. 5573. P. 1694–1697. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1071148>.
221. Mahar A., Wang P., Ali A., Awasthi M. K., Lahori A. H., Wang Q., Li R., Zhang Z. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016. Vol. 126. P. 111–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.023>

222. Maqueda C., Herencia J. F., Ruiz J. C., Hidalgo M. F. Organic and inorganic fertilization effects on DTPA-extractable Fe, Cu, Mn and Zn, and their concentration in the edible portion of crops. *The Journal of Agricultural Science*. 2011. Vol. 149, No. 4. P. 461–472. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859610001085>.

223. Marriott E. E., Wander M. M. Total and labile soil organic matter in organic and conventional farming systems. *Soil Science Society of America Journal*. 2006. Vol. 70, No. 3. P. 950–959. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0241>.

224. Martínez-García L. B., Korthals G., Brussaard L., Jørgensen H. B., De Deyn G. B. Organic management and cover crop species steer soil microbial community structure and functionality along with soil organic matter properties. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2018. Vol. 263. P. 7–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.04.018>.

225. Mazzoncini M., Canali S., Giovannetti M. et al. Comparison of organic and conventional stockless arable systems: a multidisciplinary approach to soil quality evaluation. *Applied Soil Ecology*. 2010. Vol. 44, No. 2. P. 124–132. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.11.001>.

226. McDaniel M. D., Tiemann L. K., Grandy A. S. Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. *Ecological Applications*. 2014. Vol. 24, No. 3. P. 560–570. DOI: <https://doi.org/10.1890/13-0616.1>.

227. Meemken E.-M., Qaim M. Organic agriculture, food security, and the environment. *Annual Review of Resource Economics*. 2018. Vol. 10. P. 39–63. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100517-023252>

228. Novaković T., Milić D., Novaković D., Tomaš Simin M., Zekić V. Eco-efficiency of crop production in the European Union and Serbia. *Agriculture*. 2025. Vol. 15, No. 20. Art. 2158. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture15202158>

229. 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>.

230. Peng Y., Wang L., Jacinthe P.-A., Ren W. Global synthesis of cover crop impacts on main crop yield. *Field Crops Research*. 2024. Vol. 310. Art. 109343. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109343>.
231. Pimentel D., Hepperly P., Hanson J., Douds D., Seidel R. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience*. 2005. Vol. 55, No. 7. P. 573–582. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0573:EEAECO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0573:EEAECO]2.0.CO;2).
232. Płaza A., Górski R., Niewiadomska A., Wolna-Maruwka A., Swędrzyńska D., Głuchowska K., Rosa R. Influence of plant growth-promoting bacteria and green manures on the degree of weed infestation in *Triticum spelta* in organic farming. *International Agrophysics*. 2026. Vol. 40, No. 1. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.31545/intagr/210293>
233. Poeplau C., Don A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – a meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2015. Vol. 200. P. 33–41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>
234. Polishchuk V., Zhuravel S., Kravchuk M., Kropyvnytskyi R., Trembitska O. Efficiency of organic technologies of winter rye cultivation in Ukraine's Polissya in the context of climate change adaptation. *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 26, No. 1. P. 19–30. DOI: [https://doi.org/10.48077/scihor.26\(1\).2023.19-30](https://doi.org/10.48077/scihor.26(1).2023.19-30)
235. Ponisio L. C., M'Gonigle L. K., Mace K. C., Palomino J., de Valpine P., Kremen C. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2015. Vol. 282, No. 1799. Art. 20141396. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396>
236. Reckling M., Bergkvist G., Watson C. A., Stoddard F. L., Zander P. M., Walker R. L., Pristeri A., Toncea I., Bachinger J. Trade-offs between economic and environmental impacts of introducing legumes into cropping systems. *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. Art. 669. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00669>
237. Reganold J. P., Wachter J. M. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*. 2016. Vol. 2. Art. 15221. DOI: <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>

238. Regulation (EU) 2018/848 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on organic production and labelling of organic products and repealing Council Regulation (EC) No 834/2007. Official Journal of the European Union. 2018. L 150. P. 1–92. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/848/oj/eng>

239. Rosa-Schleich J., Loos J., Mußhoff O., Tschardt T. Ecological-economic trade-offs of diversified farming systems: a review. *Ecological Economics*. 2019. Vol. 160. P. 251–263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.03.002>

240. Savchenko E. D. «Soybean cultivation in short rotation organic crop rotation under different fertilisation systems». Журнал «Землеробство та рослинництво: теорія і практика» ННЦ «ІЗ НААН». Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2024. Вип. 2 (12). С. 16–19. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2024.02.02>.

241. Savić J., Aćin V., Miroslavljević M., Šeremešić S., Jaćimović G., Milić S., Pavlović J., Radović M. Soybean pre-crop effect on winter wheat grain yield and micronutrient density: insights from a long-term crop rotation experiment without fertilisation. *The Journal of Agricultural Science*. 2026. Vol. 164. Art. e8. P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859625100452>.

242. Schütz L., Gattinger A., Meier M., Müller A., Boller T., Mäder P., Mathimaran N. Improving crop yield and nutrient use efficiency via biofertilization — a global meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 8. Art. 2204. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02204>.

243. Seufert V., Ramankutty N., Foley J. A. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*. 2012. Vol. 485, No. 7397. P. 229–232. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature11069>

244. Smith L. G., Williams A. G., Pearce B. D. The energy efficiency of organic agriculture: a review. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2015. Vol. 30, No. 3. P. 280–301. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1742170513000471>

245. Stagnari F., Maggio A., Galieni A., Pisante M. Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2017. Vol. 4. Art. 2. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1>

246. Tamburini G., Bommarco R., Wanger T. C., Kremen C., van der Heijden M. G. A., Liebman M., Hallin S. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science Advances*. 2020. Vol. 6, No. 45. Art. eaba1715. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba1715>

247. Teasdale J. R. Contribution of cover crops to weed management in sustainable agricultural systems. *Journal of Production Agriculture*. 1996. Vol. 9, No. 4. P. 475–479. DOI: <https://doi.org/10.2134/jpa1996.0475>.

248. Tiemann L. K., Grandy A. S., Atkinson E. E., Marin-Spiotta E., McDaniel M. D. Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem. *Ecology Letters*. 2015. Vol. 18, No. 8. P. 761–771. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12453>.

249. Venter Z. S., Jacobs K., Hawkins H.-J. The impact of crop rotation on soil microbial diversity: a meta-analysis. *Pedobiologia*. 2016. Vol. 59, No. 4. P. 215–223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2016.04.001>.

250. Wang L., Liu S., Li J., Li S. Effects of several organic fertilizers on heavy metal passivation in Cd-contaminated gray-purple soil. *Frontiers in Environmental Science*. 2022. Vol. 10. Art. 895646. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.895646>.

251. Watson C. A., Atkinson D., Gosling P., Jackson L. R., Rayns F. W. Managing soil fertility in organic farming systems. *Soil Use and Management*. 2002. Vol. 18, Suppl. 1. P. 239–247. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2002.tb00265.x>.

252. Watson C. A., Reckling M., Preissel S., Bachinger J., Bergkvist G., Kuhlman T., Lindström K., Nemecek T., Topp C. F. E., Vanhatalo A., Zander P., Murphy-Bokern D., Stoddard F. L. Grain legume production and use in European agricultural systems. *Advances in Agronomy*. 2017. Vol. 144. P. 235–303. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.00>

253. Wittwer R. A., Bender S. F., Hartman K., Hydbom S., Lima R. A. A., Loaiza V., Nemecek T., Oehl F., Olsson P. A., Petchey O., Prechsl U. E., Schlaeppli K., Scholten T., Seitz S., Six J., van der Heijden M. G. A. Organic and conservation

agriculture promote ecosystem multifunctionality. *Science Advances*. 2021. Vol. 7, No. 34. Art. eabg6995. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.abg6995>.

254. Zander P., Amjath-Babu T. S., Preissel S., Reckling M., Bues A., Schläfke N., Kuhlman T., Bachinger J., Uthes S., Stoddard F. L., Murphy-Bokern D., Watson C. A. Grain legume decline and potential recovery in European agriculture: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2016. Vol. 36. Art. 26. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0365-y>

ДОДАТКИ

Додаток А Характеристика агрокліматичних умов в роки проведення
досліджень

А.1 Характеристика агрокліматичних умов за 2023 р.
(за даними метеорологічної станції Яготин, м. Яготин, Бориспільський р-н
Київської області)

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

А.2 Характеристика агрокліматичних умов за 2024 р.
(за даними метеорологічної станції Яготин, м. Яготин, Бориспільський р-н
Київської області)

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

А.3 Характеристика агрокліматичних умов за 2025 р.
(за даними метеорологічної станції Яготин, м. Яготин, Бориспільський р-н
Київської області)

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 Запаси продуктивної вологи в ґрунті в посівах культур короткоротаційної сівозміни

Б.1 Запаси продуктивної вологи в ґрунті на час сівби культур короткоротаційної сівозміни, мм, за 2023–2025 рр.

Культура сівозміни	Система органічного удобрення	2023 рік			2024 рік			2025 рік		
		Шар ґрунту, см								
		0–20	0–50	0–100	0–20	0–50	0–100	0–20	0–50	0–100
Соя	п.п.п (контроль)*	26,8	63,6	142,4	27,8	81,0	146,7	27,3	84,2	156,4
	п.п.п + сидерат**	27,0	69,8	144,4	32,9	83,2	149,0	32,4	77,7	152,7
	п.п.п + біопрепарат***	27,5	66,3	150,1	32,2	83,1	151,2	32,1	78,0	151,8
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	32,5	64,4	156,9	32,7	84,6	155,5	33,6	82,1	152,2
	<i>S</i>	2,7	2,8	6,5	2,4	1,5	3,7	2,8	3,2	2,1
	<i>V, %</i>	9,5	4,2	4,4	7,7	1,8	2,5	8,9	4,0	1,4
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	26,2	67,7	150,1	27,6	76,1	157,4	42,0	60,6	158,5
	п.п.п + сидерат	29,1	71,8	153,2	28,3	79,0	167,2	41,1	66,2	169,7
	п.п.п + біопрепарат	25,3	75,4	158,7	27,5	80,0	169,3	44,0	66,3	165,0
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	32,6	81,7	161,5	33,6	85,2	174,5	46,0	71,0	171,9
	<i>S</i>	3,3	5,9	5,2	2,9	3,8	7,2	2,2	4,3	5,9
	<i>V, %</i>	11,6	8,0	3,3	10,0	4,7	4,3	5,0	6,4	3,6
Просо	п.п.п (контроль)	26,2	87,7	160,1	24,5	68,8	146,3	28,6	55,6	128,5
	п.п.п + сидерат	29,1	71,8	153,2	25,1	69,4	150,0	29,7	61,3	132,0
	п.п.п + біопрепарат	30,1	70,1	155,8	25,8	70,0	153,4	28,7	60,0	131,1
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	32,6	81,7	161,5	26,7	72,7	158,4	29,3	60,9	132,2
	<i>S</i>	2,6	8,3	3,8	0,9	1,7	5,1	0,5	2,6	1,7
	<i>V, %</i>	9,0	10,7	2,4	3,7	2,5	3,4	1,8	4,4	1,3

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Б.2 Запаси продуктивної вологи в ґрунті на час збирання, мм, за 2023–2025 рр.

Культура сівозміни	Система органічного удобрення	2023 рік			2024 рік			2025 рік		
		Шар ґрунту, см								
		0–20	0–50	0–100	0–20	0–50	0–100	0–20	0–50	0–100
Соя	п.п.п (контроль)*	4,4	22,5	58,6	10,5	12,6	23,1	11,0	17,1	49,1
	п.п.п + сидерат**	8,4	34,0	63,7	11,8	10,7	22,6	9,1	15,1	45,3
	п.п.п + біопрепарат***	7,3	26,9	61,2	12,0	11,4	25,2	10,8	15,3	46,2
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	10,7	38,1	71,0	15,0	14,4	29,3	14,4	15,8	41,7
	<i>S</i>	2,6	7,0	5,3	1,9	1,6	3,0	2,2	0,9	3,1
	<i>V, %</i>	34,0	23,0	8,4	15,4	13,2	12,2	19,6	5,7	6,7
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	44,2	89,7	128,7	5,2	6,7	11,9	13,4	11,9	34,7
	п.п.п + сидерат	44,3	85,8	121,5	4,6	6,9	11,4	13,6	14,8	38,5
	п.п.п + біопрепарат	43,8	86,2	123,6	5,0	5,9	10,6	12,8	12,5	35,1
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	45,2	85,6	127,2	6,3	6,9	10,1	13,8	18,0	43,6
	<i>S</i>	0,6	1,9	3,3	0,7	0,5	0,8	0,4	2,8	4,1
	<i>V, %</i>	1,3	2,2	2,6	13,8	7,2	7,3	3,2	19,3	10,8
Просо	п.п.п (контроль)	18,4	40,9	83,9	9,4	20,5	29,9	6,3	15,7	27,3
	п.п.п + сидерат	15,6	38,0	82,7	9,9	17,3	27,2	7,3	12,9	33,9
	п.п.п + біопрепарат	16,2	44,1	80,1	8,5	17,6	25,8	7,0	14,2	30,6
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	23,0	50,1	81,0	9,5	18,8	26,3	11,8	22,8	44,7
	<i>S</i>	3,4	5,2	1,7	0,6	1,5	1,8	2,5	4,4	7,5
	<i>V, %</i>	18,3	12,0	2,1	6,3	7,8	6,7	30,9	26,9	22,1

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Додаток В Вологозабезпеченість і водоспоживання культур короткоротаційної сівозміни залежно від системи органічного удобрення, за 2023–2025 рр.

В.1 Вологозабезпеченість і водоспоживання культур короткоротаційної сівозміни залежно від системи органічного удобрення, 2023 р.

Культура сівозміни	Система органічного удобрення	Запаси вологи в ґрунті, мм		Витрати вологи з ґрунту, мм	Випало опадів за період вегетації, мм	Загальні витрати вологи, мм	Витрати вологи на формування 1 т зерна, м ³
		перед сівбою	в кінці вегетації				
Соя	п.п.п (контроль)*	142,4	58,6	83,8	308,5	392,3	3018
	п.п.п + сидерат**	144,4	63,7	80,7	308,5	389,2	2561
	п.п.п + біопрепарат***	150,1	61,2	88,9	308,5	397,4	2564
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	156,9	71,0	85,9	308,5	394,4	2362
	<i>S</i>	6,5	5,3	3,5	–	3,5	278
	<i>V, %</i>	4,4	8,4	4,1	–	0,9	10,6
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	150,1	128,7	21,4	256,0	277,4	1508
	п.п.п + сидерат	153,2	121,5	31,7	256,0	287,7	1155
	п.п.п + біопрепарат	158,7	123,6	35,1	256,0	291,1	1124
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	161,5	127,2	34,3	256,0	290,3	984
	<i>S</i>	5,2	3,3	6,3	–	6,3	223
	<i>V, %</i>	3,3	2,6	20,6	–	2,2	18,7
Просо	п.п.п (контроль)	160,1	83,9	76,2	308,0	384,2	1120
	п.п.п + сидерат	153,2	82,7	70,5	308,0	378,5	1037
	п.п.п + біопрепарат	155,8	80,1	75,7	308,0	383,7	1046
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	161,5	81,0	80,5	308,0	388,5	981
	<i>S</i>	3,8	1,7	4,1	–	4,1	57
	<i>V, %</i>	2,4	2,1	5,4	–	1,1	5,5

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – поживний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

В.2 Вологозабезпеченість і водоспоживання культур короткоротаційної сівозміни залежно від системи органічного удобрення, 2024 р.

Культура сівозміни	Система органічного удобрення	Запаси вологи в ґрунті, мм		Витрати вологи з ґрунту, мм	Випало опадів за період вегетації, мм	Загальні витрати вологи, мм	Витрати вологи на формування 1 т зерна, м ³
		перед сівбою	в кінці вегетації				
Соя	п.п.п (контроль)*	146,7	23,1	123,6	134,5	258,1	2634
	п.п.п + сидерат**	149,0	22,6	126,4	134,5	260,9	1962
	п.п.п + біопрепарат***	151,2	25,2	126,0	134,5	260,5	1915
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	155,5	29,3	126,2	134,5	260,7	1580
	<i>S</i>	3,7	3,0	1,3	—	1,3	441
	<i>V, %</i>	2,5	12,2	1,0	—	0,5	21,8
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	157,4	11,9	145,5	147,3	292,8	983
	п.п.п + сидерат	167,2	11,4	155,8	147,3	303,1	871
	п.п.п + біопрепарат	169,3	10,6	158,7	147,3	306,0	857
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	174,5	10,1	164,4	147,3	311,7	836
	<i>S</i>	7,2	0,8	7,9	—	7,9	66
	<i>V, %</i>	4,3	7,3	5,1	—	2,6	7,4
Просо	п.п.п (контроль)	146,3	29,9	116,4	134,5	250,9	1059
	п.п.п + сидерат	150,0	27,2	122,8	134,5	257,3	900
	п.п.п + біопрепарат	153,4	25,8	127,6	134,5	262,1	895
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	158,4	26,3	132,1	134,5	266,6	805
	<i>S</i>	5,1	1,8	6,7	—	6,7	105
	<i>V, %</i>	3,4	6,7	5,4	—	2,6	11,5

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – поживний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

В.3 Вологозабезпеченість і водоспоживання культур короткоротаційної сівозміни залежно від системи органічного удобрення, 2025 р.

Культура сівозміни	Система органічного удобрення	Запаси вологи в ґрунті, мм		Витрати вологи з ґрунту, мм	Випало опадів за період вегетації, мм	Загальні витрати вологи, мм	Витрати вологи на формування 1 т зерна, м ³
		перед сівбою	в кінці вегетації				
Соя	п.п.п (контроль)*	156,4	49,1	107,3	212,0	319,3	2008
	п.п.п + сидерат**	152,7	45,3	107,4	212,0	319,4	1646
	п.п.п + біопрепарат***	151,8	46,2	105,6	212,0	317,6	1620
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	152,2	41,7	110,5	212,0	322,5	1408
	<i>S</i>	2,1	3,1	2,0	–	2,0	249
	<i>V, %</i>	1,4	6,7	1,9	–	0,6	14,9
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	158,5	34,7	123,8	246,3	370,1	1085
	п.п.п + сидерат	169,7	38,5	131,2	246,3	377,5	944
	п.п.п + біопрепарат	165,0	35,1	129,9	246,3	376,2	881
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	171,9	43,6	128,3	246,3	374,6	714
	<i>S</i>	5,9	4,1	3,2	–	3,2	154
	<i>V, %</i>	3,6	10,8	2,5	–	0,9	17,0
Просо	п.п.п (контроль)	128,5	27,3	101,2	242,0	343,2	1845
	п.п.п + сидерат	132,0	33,9	98,1	242,0	340,1	1246
	п.п.п + біопрепарат	131,1	30,6	100,5	242,0	342,5	1149
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	132,2	44,7	87,5	242,0	329,5	1002
	<i>S</i>	1,7	7,5	6,4	–	6,4	370
	<i>V, %</i>	1,3	22,1	6,6	–	1,9	28,3

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – поживний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Додаток Г Уміст гумусу в чорноземі типовому залежно від системи органічного
удобрення, %, за 2023–2025 рр.

Система органічного удобрення	2023 р.		2024 р.		2025 р.	
	Шар ґрунту, см					
	0–20	20–40	0–20	20–40	0–20	20–40
Соя						
П.п.п (контроль)*	3,11	2,65	2,89	2,60	3,15	2,61
П.п.п + сидерат**	3,15	2,69	2,96	2,69	3,22	2,70
П.п.п + біопрепарат***	3,16	2,70	2,96	2,71	3,23	2,72
П.п.п + сидерат + біопрепарат	3,20	2,75	3,01	2,77	3,28	2,78
<i>S</i>	0,04	0,04	0,05	0,07	0,05	0,07
<i>V, %</i>	1,17	1,52	1,67	2,62	1,66	2,61
Пшениця яра						
П.п.п (контроль)	3,24	2,71	3,01	2,68	3,23	2,69
П.п.п + сидерат	3,27	2,74	3,05	2,75	3,29	2,77
П.п.п + біопрепарат	3,29	2,80	3,10	2,81	3,32	2,83
П.п.п + сидерат + біопрепарат	3,32	2,83	3,13	2,85	3,35	2,87
<i>S</i>	0,03	0,05	0,05	0,07	0,05	0,08
<i>V, %</i>	1,0	2,0	1,7	2,7	1,6	2,8
Просо						
П.п.п (контроль)	3,16	2,67	2,94	2,64	3,15	2,65
П.п.п + сидерат	3,18	2,69	3,00	2,71	3,21	2,70
П.п.п + біопрепарат	3,20	2,71	3,02	2,73	3,23	2,73
П.п.п + сидерат + біопрепарат	3,26	2,77	3,08	2,80	3,30	2,81
<i>S</i>	0,04	0,04	0,06	0,07	0,06	0,07
<i>V, %</i>	1,35	1,59	1,92	2,42	1,92	2,46
У середньому по сівозміні						
П.п.п (контроль)	3,17	2,68	2,95	2,64	3,18	2,65
П.п.п + сидерат	3,20	2,71	3,00	2,72	3,24	2,72
П.п.п + біопрепарат	3,22	2,74	3,03	2,75	3,26	2,76
П.п.п + сидерат + біопрепарат	3,26	2,78	3,07	2,81	3,31	2,82
<i>S</i>	0,04	0,05	0,05	0,07	0,06	0,07
<i>V, %</i>	1,17	1,67	1,75	2,55	1,70	2,60

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної;
*** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Додаток Д Запаси гумусу в чорноземі типовому залежно від системи
органічного удобрення, т/га, за 2023–2025 рр.

Система органічного удобрення	2023 р.		2024 р.		2025 р.	
	Шар ґрунту, см					
	0–20	20–40	0–20	20–40	0–20	20–40
Соя						
П.п.п (контроль)*	74,6	66,3	69,4	65,0	75,6	65,3
П.п.п + сидерат**	75,6	67,3	71,0	67,3	77,3	67,5
П.п.п + біопрепарат***	75,8	67,5	71,0	67,8	77,5	68,0
П.п.п + сидерат + біопрепарат	76,8	68,8	72,2	69,3	78,7	69,5
<i>S</i>	0,89	1,03	1,18	1,76	1,28	1,76
<i>V, %</i>	1,17	1,52	1,67	2,62	1,66	2,61
Пшениця яра						
П.п.п (контроль)	77,8	67,8	72,2	67,0	77,5	67,3
П.п.п + сидерат	78,5	68,5	73,2	68,8	79,0	69,3
П.п.п + біопрепарат	79,0	70,0	74,4	70,3	79,7	70,8
П.п.п + сидерат + біопрепарат	79,7	70,8	75,1	71,3	80,4	71,8
<i>S</i>	0,81	1,37	1,28	1,85	1,23	1,96
<i>V, %</i>	1,0	2,0	1,7	2,7	1,6	2,8
Просо						
П.п.п (контроль)	75,8	66,8	70,6	66,0	75,6	66,3
П.п.п + сидерат	76,3	67,3	72,0	67,8	77,0	67,5
П.п.п + біопрепарат	76,8	67,8	72,5	68,3	77,5	68,3
П.п.п + сидерат + біопрепарат	78,2	69,3	73,9	70,0	79,2	70,3
<i>S</i>	1,04	1,08	1,39	1,65	1,48	1,68
<i>V, %</i>	1,35	1,59	1,92	2,42	1,92	2,46
У середньому по сівозміні						
П.п.п (контроль)	76,1	66,9	70,7	66,0	76,2	66,3
П.п.п + сидерат	76,8	67,7	72,1	67,9	77,8	68,1
П.п.п + біопрепарат	77,2	68,4	72,6	68,8	78,2	69,0
П.п.п + сидерат + біопрепарат	78,2	69,6	73,8	70,2	79,4	70,5
<i>S</i>	0,90	1,14	1,26	1,74	1,32	1,78
<i>V, %</i>	1,2	1,7	1,7	2,6	1,7	2,6

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної;
*** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Додаток Е Уміст сполук рухомого фосфору в чорноземі типовому залежно від системи органічного удобрення, мг/кг, за
2023–2025 рр.

Система органічного удобрення	На час сівби						На час збирання					
	2023 р.		2024 р.		2025 р.		2023 р.		2024 р.		2025 р.	
	0–20	20–40	0–20	20–40	0–20	20–40	0–20	20–40	0–20	20–40	0–20	20–40
Соя												
п.п.п (контроль)*	264,0	218,5	292,5	270,0	337,0	306,3	250,0	208,5	275,0	234,5	288,8	229,5
п.п.п + сидерат**	270,0	237,0	282,6	229,5	342,5	296,3	259,0	215,0	275,0	194,5	325,0	256,3
п.п.п + біопрепарат***	269,4	226,2	280,0	210,5	336,3	285,0	255,1	202,1	265,3	214,5	324,5	255,1
п.п.п + сидерат + біопрепарат	280,5	232,0	287,0	197,5	350,0	260,0	245,0	218,3	255,0	190,0	331,0	243,5
S	6,9	8,0	5,5	31,6	6,3	19,9	6,1	7,2	9,5	20,4	19,2	12,5
V, %	2,5	3,5	1,9	13,9	1,9	6,9	2,4	3,4	3,6	9,8	6,1	5,1
Пшениця яра												
п.п.п (контроль)	325,0	312,5	300,0	259,5	312,5	285,0	280,0	245,0	280,0	255,0	255,0	224,5
п.п.п + сидерат	296,3	285,0	296,3	270,0	300,0	272,5	260,0	228,8	275,2	250,0	270,0	220,0
п.п.п + біопрепарат	290,5	280,0	282,3	262,0	280,2	260,1	251,4	220,1	270,0	245,0	265,1	235,0
п.п.п + сидерат + біопрепарат	285,0	265,0	275,0	264,5	270,0	259,5	248,8	206,3	260,0	240,0	258,0	222,0
S	17,8	19,8	11,7	4,5	19,2	12,1	14,1	16,2	8,6	6,5	6,8	6,7
V, %	6,0	6,9	4,1	1,7	6,6	4,5	5,4	7,2	3,2	2,6	2,6	3,0
Просо												
п.п.п (контроль)	273,0	230,0	300,0	287,0	306,3	270,0	234,0	202,0	267,0	260,0	280,1	240,0
п.п.п + сидерат	264,5	225,0	325,0	281,5	306,3	264,5	225,0	202,0	255,0	258,0	272,5	250,0
п.п.п + біопрепарат	250,3	202,5	280,2	275,1	300,2	270,2	220,2	195,0	250,5	241,3	262,1	245,0
п.п.п + сидерат + біопрепарат	229,5	177,5	262,5	269,1	296,3	275,0	212,0	189,0	242,5	224,5	250,1	252,5
S	19,0	24,0	26,8	7,8	4,9	4,3	9,2	6,3	10,2	16,6	13,0	5,5
V, %	7,5	11,5	9,2	2,8	1,6	1,6	4,1	3,2	4,0	6,7	4,9	2,2

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Додаток Ж Уміст сполук рухомого калію в чорноземі типовому залежно від системи органічного удобрення, мг/кг, за 2023–2025 рр.

Система органічного удобрення	На час сівби						На час збирання					
	2023 р.		2024 р.		2025 р.		2023 р.		2024 р.		2025 р.	
	0–20	20–40	0–20	20–40	0–20	20–40	0–20	20–40	0–20	20–40	0–20	20–40
Соя												
п.п.п (контроль)*	192,5	110,0	292,5	270,0	345,0	292,5	198,8	105,0	143,8	117,5	260,0	96,3
п.п.п + сидерат**	203,8	117,5	275,0	229,5	325,0	307,5	197,5	113,8	112,5	107,5	280,3	90,0
п.п.п + біопрепарат***	205,3	120,1	255,4	211,3	321,4	300,1	188,2	109,4	108,2	112,5	273,2	93,2
п.п.п + сидерат + біопрепарат	212,5	122,5	225,0	197,5	337,5	290,0	193,8	102,5	132,5	117,5	292,5	113,8
S	8,3	5,4	28,9	31,5	11,0	7,9	4,7	5,0	16,8	4,8	13,6	10,6
V, %	4,1	4,6	11,0	13,9	3,3	2,7	2,4	4,6	13,5	4,2	4,9	10,8
Пшениця яра												
п.п.п (контроль)	301,3	222,5	275,0	229,5	181,3	141,2	280,5	190,0	202,5	133,8	142,5	92,5
п.п.п + сидерат	316,3	216,3	296,3	270,0	175,0	136,3	290,7	186,3	185,8	120,5	130,8	97,5
п.п.п + біопрепарат	310,1	225,7	285,4	268,3	165,3	134,8	285,7	174,5	180,1	116,1	125,1	94,1
п.п.п + сидерат + біопрепарат	307,5	243,8	285,0	264,5	176,2	132,4	253,8	167,5	195,2	127,5	137,5	108,1
S	6,2	11,8	8,7	19,2	6,7	3,7	16,5	10,4	9,9	7,8	7,6	7,0
V, %	2,0	5,2	3,0	7,4	3,8	2,7	5,9	5,8	5,2	6,3	5,7	7,2
Просо												
п.п.п (контроль)	195,7	122,5	300,0	260,0	307,5	127,5	137,5	108,9	256,3	165,4	143,8	95,0
п.п.п + сидерат	183,8	110,2	310,0	279,4	281,3	130,0	115,7	100,9	260,8	170,0	127,5	92,5
п.п.п + біопрепарат	185,3	108,1	305,8	261,1	245,1	128,8	112,4	96,3	257,1	166,3	126,1	90,2
п.п.п + сидерат + біопрепарат	216,3	117,5	292,5	254,5	265,0	135,5	110,0	92,7	250,0	153,8	117,5	85,0
S	15,0	6,6	7,6	10,8	26,4	3,5	12,6	7,0	4,5	7,0	11,0	4,3
V, %	7,7	5,8	2,5	4,1	9,6	2,7	10,6	7,0	1,8	4,3	8,5	4,7

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Додаток К Уміст рухомих форм мікроелементів і важких металів у чорноземі
типовому, мг/кг ґрунту

Додаток К. 1 Уміст рухомих форм мікроелементів і важких металів у чорноземі
типовому, мг/кг ґрунту, 2023 рік

Система удобрення	Шар ґрунту, 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	1,02	0,82	0,12	10,91	2,31
	20–40	0,16	0,62	0,88	0,78	0,13	13,32	1,72
П. п. п. + сидерат**	0–20	0,14	0,59	0,82	0,88	0,12	9,18	2,12
	20–40	0,15	0,81	0,91	1,01	0,11	10,79	2,11
П. п. п. + біопрепарат***	0–20	0,15	0,61	0,83	0,89	0,12	10,06	2,21
	20–40	0,15	0,79	0,93	0,94	0,11	11,21	2,01
П. п. п. + сидерат + біопрепарат	0–20	0,17	0,61	0,82	0,82	0,12	11,32	2,52
	20–40	0,16	0,51	0,88	0,79	0,13	12,31	1,88
S		0,01	0,10	0,07	0,08	0,01	1,27	0,25
V, %		6,0	15,9	7,7	9,2	6,3	11,4	11,8
Пшениця яра								
П. п. п. (контроль)	0–20	0,14	0,72	0,89	0,61	0,11	13,11	2,62
	20–40	0,16	0,59	0,78	0,81	0,12	12,28	2,61
П. п. п. + сидерат	0–20	0,15	0,68	0,88	0,69	0,12	13,88	2,53
	20–40	0,14	0,52	0,82	0,99	0,13	7,53	1,58
П. п. п. + біопрепарат	0–20	0,14	0,69	0,86	0,71	0,13	11,44	2,48
	20–40	0,17	0,55	0,81	0,81	0,13	10,21	1,65
П. п. п. + сидерат + біопрепарат	0–20	0,14	0,71	1,02	0,71	0,10	11,41	2,11
	20–40	0,18	1,01	0,83	0,68	0,13	8,11	2,22
S		0,02	0,15	0,07	0,12	0,01	2,26	0,42
V, %		10,4	22,2	8,6	15,6	9,3	20,6	18,8
Просо								
П. п. п. (контроль)	0–20	0,15	0,72	1,21	0,72	0,12	10,22	3,02
	20–40	0,14	0,68	1,09	1,01	0,13	10,28	3,31
П. п. п. + сидерат	0–20	0,14	0,58	1,11	0,82	0,13	8,72	2,72
	20–40	0,15	0,83	0,91	0,62	0,10	6,41	1,63
П. п. п. + біопрепарат	0–20	0,15	0,57	1,08	0,84	0,12	8,89	2,81
	20–40	0,14	0,81	0,95	0,69	0,11	7,85	1,71
П. п. п. + сидерат + біопрепарат	0–20	0,16	0,62	0,82	0,83	0,11	9,51	2,63
	20–40	0,14	0,58	0,88	0,63	0,12	6,32	1,34
S		0,01	0,10	0,14	0,13	0,01	1,55	0,73
V, %		5,1	15,5	13,4	17,0	8,8	18,2	30,5
ГДК		3,0	23,0	6,0	4,0	0,7	140,0	–

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної;
*** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Додаток К. 2 Уміст рухомих форм мікроелементів і важких металів у чорноземі
типовому, мг/кг ґрунту, 2024 рік

Система удобрення	Шар ґрунту, см	Мідь, (Cu)	Цинк, (Zn)	Свинець, (Pb)	Нікель, (Ni)	Кадмій, (Cd)	Марганець, (Mn)	Залізо, (Fe)
Соя								
П. п. п. (контроль)*	0–20	0,15	0,51	1,01	0,73	0,13	5,60	1,71
	20–40	0,12	0,44	1,18	0,61	0,11	5,22	1,58
П. п. п. + сидерат**	0–20	0,13	0,48	1,02	0,59	0,11	4,81	1,81
	20–40	0,10	0,33	0,81	0,53	0,10	4,11	1,12
П. п. п. + біопрепарат***	0–20	0,14	0,49	0,99	0,71	0,13	5,33	1,69
	20–40	0,12	0,37	0,85	0,56	0,11	4,85	1,52
П. п. п. + сидерат + біопрепарат	0–20	0,15	0,53	1,01	0,73	0,10	4,44	1,63
	20–40	0,10	0,34	0,81	0,58	0,10	4,80	1,22
S		0,02	0,08	0,13	0,08	0,01	0,48	0,24
V, %		15,8	18,2	13,4	12,8	11,2	9,9	15,8
Пшениця яра								
П. п. п. (контроль)	0–20	0,13	0,51	0,99	0,53	0,11	13,31	1,81
	20–40	0,14	0,34	0,82	0,44	0,13	12,72	1,09
П. п. п. + сидерат	0–20	0,14	0,61	0,78	0,52	0,13	10,60	2,22
	20–40	0,12	0,42	1,08	0,61	0,11	11,78	1,52
П. п. п. + біопрепарат	0–20	0,13	0,58	0,92	0,55	0,14	11,02	2,18
	20–40	0,11	0,43	0,84	0,62	0,11	10,88	1,61
П. п. п. + сидерат + біопрепарат	0–20	0,11	0,52	0,84	0,51	0,12	10,83	2,12
	20–40	0,12	0,41	0,89	0,52	0,13	11,08	1,44
S		0,01	0,09	0,10	0,06	0,01	0,99	0,41
V, %		9,6	19,4	11,1	10,7	9,5	8,6	23,2
Просо								
П. п. п. (контроль)	0–20	0,12	0,53	1,11	0,52	0,13	7,44	1,33
	20–40	0,14	0,33	1,98	0,44	0,11	6,82	1,18
П. п. п. + сидерат	0–20	0,16	0,48	1,12	0,71	0,13	8,81	1,52
	20–40	0,13	0,61	1,07	0,62	0,12	7,93	1,12
П. п. п. + біопрепарат	0–20	0,15	0,55	1,05	0,69	0,12	8,94	1,55
	20–40	0,12	0,59	1,01	0,61	0,12	8,11	1,14
П. п. п. + сидерат + біопрепарат	0–20	0,15	0,51	1,10	0,50	0,12	11,21	1,74
	20–40	0,13	0,44	0,91	0,47	0,11	12,22	1,53
S		0,01	0,09	0,33	0,10	0,01	1,87	0,23
V, %		10,8	17,8	28,6	17,8	6,3	20,9	16,5
ГДК		3,0	23,0	6,0	4,0	0,7	140,0	–

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної;
*** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Додаток К. 3 Уміст рухомих форм мікроелементів і важких металів у чорноземі
типовому, мг/кг ґрунту, 2025 рік

Система удобрення	Шар ґрунту, см	Мідь, (Cu)	Цинк, (Zn)	Свинець, (Pb)	Нікель, (Ni)	Кадмій, (Cd)	Марганець, (Mn)	Залізо, (Fe)
Соя								
П. п. п. (контроль)*	0–20	0,10	0,31	0,81	0,62	0,12	5,62	1,61
	20–40	0,11	0,22	0,72	0,51	0,13	4,21	1,32
П. п. п. + сидерат**	0–20	0,09	0,33	0,71	0,61	0,13	4,29	1,41
	20–40	0,11	0,21	0,82	0,41	0,12	4,01	1,13
П. п. п. + біопрепарат***	0–20	0,10	0,31	0,83	0,60	0,13	4,38	1,42
	20–40	0,11	0,23	0,71	0,52	0,12	4,28	1,31
П. п. п. + сидерат + біопрепарат	0–20	0,10	0,29	0,81	0,62	0,13	4,41	1,42
	20–40	0,11	0,22	0,72	0,49	0,12	4,32	1,13
S		0,01	0,05	0,06	0,08	0,01	0,49	0,16
V, %		7,2	18,7	7,2	14,1	4,3	11,1	11,9
Пшениця яра								
П. п. п. (контроль)	0–20	0,08	0,31	1,01	0,44	0,13	7,51	1,68
	20–40	0,11	0,25	0,82	0,58	0,11	5,78	1,13
П. п. п. + сидерат	0–20	0,10	0,32	0,91	0,52	0,12	7,40	1,78
	20–40	0,11	0,27	0,82	0,43	0,11	6,59	1,24
П. п. п. + біопрепарат	0–20	0,10	0,31	0,85	0,56	0,12	7,44	1,65
	20–40	0,11	0,24	0,73	0,45	0,11	5,98	1,25
П. п. п. + сидерат + біопрепарат	0–20	0,11	0,30	1,01	0,61	0,12	7,01	1,61
	20–40	0,08	0,31	0,82	0,43	0,12	5,73	1,13
S		0,01	0,03	0,10	0,07	0,01	0,77	0,27
V, %		13,1	10,7	11,3	14,7	6,0	11,5	18,9
Просо								
П. п. п. (контроль)	0–20	0,11	0,31	0,75	0,44	0,12	4,93	1,51
	20–40	0,10	0,27	0,71	0,39	0,13	2,84	1,07
П. п. п. + сидерат	0–20	0,09	0,32	0,82	0,51	0,13	3,72	1,87
	20–40	0,10	0,29	0,78	0,43	0,12	2,74	1,42
П. п. п. + біопрепарат	0–20	0,11	0,32	0,82	0,55	0,13	3,71	1,61
	20–40	0,11	0,25	0,71	0,46	0,12	2,75	1,43
П. п. п. + сидерат + біопрепарат	0–20	0,12	0,30	0,82	0,43	0,13	3,32	1,81
	20–40	0,10	0,28	0,72	0,41	0,12	2,23	1,24
S		0,01	0,02	0,05	0,05	0,01	0,84	0,27
V, %		8,8	8,5	6,5	11,7	4,3	25,7	18,0
ГДК		3,0	23,0	6,0	4,0	0,7	140,0	–

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – пожнивний посів редьки олійної;
*** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Додаток Л Забур'яненість посівів культур короткоротаційної сівозміни залежно від системи органічного удобрення

Л.1 Забур'яненість посівів культур короткоротаційної сівозміни у фазі повних сходів залежно від системи органічного удобрення, шт./м², 2023 р.

Культура сівозміни	Система органічного удобрення	Кількість бур'янів, шт/м²							
		всього	в т. ч.					однодолльні	дводолльні
			плоскуха звичайна	мишій сизий	лобода біла	редька дика	щириця звичайна		
Соя	п.п.п* (контроль)	208	105	86	8	7	2	191	17
	п.п.п + сидерат (редька олійна)	186	94	70	9	9	4	164	22
	п.п.п + біопрепарат**	203	106	82	7	6	2	188	15
	п.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	182	93	69	10	8	2	162	20
	<i>S</i>	12,7	7,0	8,5	1,3	1,3	1,0	15,4	3,1
	<i>V, %</i>	6,5	7,0	11,1	15,2	17,2	40,0	8,7	16,8
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	275	107	74	37	29	28	181	94
	п.п.п + сидерат (редька олійна)	168	65	45	16	18	24	110	58
	п.п.п + біопрепарат	276	106	75	35	30	30	181	95
	п.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	163	66	42	15	18	22	108	55
	<i>S</i>	63,5	23,7	17,9	11,9	6,7	3,7	41,6	22,0
	<i>V, %</i>	28,8	27,5	30,4	46,1	28,0	14,0	28,7	29,1
Просо	п.п.п (контроль)	130	48	29	13	19	21	77	53
	п.п.п + сидерат (редька олійна)	102	39	34	8	11	10	73	29
	п.п.п + біопрепарат	125	50	26	11	18	20	76	49
	п.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	99	40	35	6	10	8	75	24
	<i>S</i>	15,8	5,6	4,2	3,1	4,7	6,7	1,7	14,4
	<i>V, %</i>	13,8	12,6	13,7	32,7	32,1	45,4	2,3	37,1

Примітка. * – побічна продукція попередника;** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Л.2 Забур'яненість посівів культур короткоротаційної сівозміни у фазі повних сходів залежно від системи органічного
удобрення, шт./м², 2024 р.

Культура сівозміни	Система удобрення	Кількість бур'янів, шт/м ²							
		всього	в т. ч.					однодольні	дводольні
			плоскуха звичайна	мишій сизий	лобода біла	редька дика	щириця звичайна		
Соя	п.п.п* (контроль)	102	47	26	9	11	9	73	29
	п.п.п + сидерат (редька олійна)	90	38	29	8	7	8	67	23
	п.п.п + біопрепарат**	95	47	23	7	9	9	70	25
	п.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	82	38	27	6	5	6	65	17
	<i>S</i>	8,4	5,2	2,5	1,3	2,6	1,4	3,5	5,0
	<i>V, %</i>	9,1	12,2	9,5	17,2	32,3	17,7	5,1	21,3
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	86	28	18	15	18	7	46	40
	п.п.п + сидерат (редька олійна)	66	21	15	9	11	10	36	30
	п.п.п + біопрепарат	83	27	15	17	18	6	42	41
	п.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	58	20	16	6	8	8	36	22
	<i>S</i>	13,5	4,1	1,4	5,1	5,1	1,7	4,9	9,0
	<i>V, %</i>	18,4	17,0	8,8	43,6	36,8	22,0	12,2	27,1
Просо	п.п.п (контроль)	39	14	13	3	4	5	27	12
	п.п.п + сидерат (редька олійна)	25	11	8	2	3	1	19	6
	п.п.п + біопрепарат	34	14	10	4	2	4	24	10
	п.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	22	10	9	1	1	1	19	3
	<i>S</i>	7,9	2,1	2,2	1,3	1,3	2,1	3,9	4,0
	<i>V, %</i>	26,2	16,8	21,6	51,6	51,6	75,0	17,7	52,0

Примітка. * – побічна продукція попередника;** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Л.3 Забур'яненість посівів культур короткоротаційної сівозміни у фазі повних сходів залежно від системи органічного
удобрення, шт./м², 2025 р.

Культура сівозміни	Система удобрення	Кількість бур'янів, шт/м ²							
		всього	в т. ч.					однодольні	дводольні
			плоскуха звичайна	мишій сизий	лобода біла	редька дика	щириця звичайна		
Соя	п.п.п* (контроль)	271	169	66	28	3	5	235	36
	п.п.п + сидерат (редька олійна)	182	126	32	16	3	5	158	24
	п.п.п + біопрепарат**	260	165	64	26	2	3	229	31
	п.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	174	126	28	15	2	3	154	20
	<i>S</i>	50,8	23,7	20,3	6,7	0,6	1,2	44,0	7,1
	<i>V, %</i>	22,9	16,2	42,7	31,5	23,1	28,9	22,7	25,7
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	260	165	56	33	4	2	221	39
	п.п.п + сидерат (редька олійна)	184	118	38	26	1	1	156	28
	п.п.п + біопрепарат	243	158	51	30	2	2	209	34
	п.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	173	112	35	24	1	1	147	26
	<i>S</i>	42,9	27,1	10,1	4,0	1,4	0,6	37,2	5,9
	<i>V, %</i>	20,0	19,6	22,4	14,3	70,7	38,5	20,3	18,6
Просо	п.п.п (контроль)	172	105	39	25	1	2	144	28
	п.п.п + сидерат (редька олійна)	121	89	20	8	1	3	109	12
	п.п.п + біопрепарат	164	102	35	24	1	2	137	27
	п.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	111	85	18	7	—	1	103	8
	<i>S</i>	30,5	9,7	10,6	9,8	0,5	0,8	20,3	10,2
	<i>V, %</i>	21,5	10,2	37,7	61,4	66,7	40,8	16,4	54,6

Примітка. * – побічна продукція попередника;** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Л.4 Забур'яненість посівів культур короткоротаційної сівозміни на час збирання залежно від системи органічного
удобрення, шт./м², 2023 р.

Культура сівозміни	Система удобрення	Кількість бур'янів, шт/м ²								Суха маса бур'янів, г/м ²		
		всього	в т. ч.					одно- дольні	дво- дольні	всього	одно- дольні	дво- дольні
			плоскуха звичайна	мишій сизий	лобода біла	редька дика	щириця звичайна					
Соя	п.п.п* (контроль)	172	95	61	7	3	6	156	16	151,8	56,5	95,3
	п.п.п + сидерат***	140	76	48	8	4	4	124	16	107,6	49,0	58,6
	п.п.п + біопрепарат***	136	70	58	3	2	3	128	8	104,8	46,2	58,6
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	104	51	41	5	1	6	92	12	85,2	30,5	54,7
	<i>S</i>	27,8	18,1	9,2	2,2	1,3	1,5	26,2	3,8	28,1	10,9	19,1
	<i>V, %</i>	20,2	24,8	17,7	38,6	51,6	31,6	21,0	29,5	25,0	24,0	28,6
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	184	97	71	7	4	5	168	16	124,8	59,9	64,9
	п.п.п + сидерат	124	82	30	4	4	4	112	12	73,2	28,6	44,6
	п.п.п + біопрепарат	120	85	31	2	1	1	116	4	71,3	37,5	33,8
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	92	45	35	5	3	4	80	12	62,8	25,9	36,9
	<i>S</i>	38,7	22,5	19,6	2,1	1,4	1,7	36,4	5,0	28,2	15,4	14,0
	<i>V, %</i>	29,8	29,1	47,0	46,3	47,1	49,5	30,6	45,8	34,0	40,6	31,1
Просо	п.п.п (контроль)	32	18	6	3	2	3	24	8	54,8	25,0	29,8
	п.п.п + сидерат	24	11	9	2	1	1	20	4	35,2	12,0	23,2
	п.п.п + біопрепарат	24	14	6	2	—	2	20	4	34,0	13,5	20,5
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	16	8	4	2	1	1	12	4	29,2	10,9	18,3
	<i>S</i>	6,5	4,3	2,1	0,5	0,8	1,0	5,0	2,0	11,3	6,5	5,0
	<i>V, %</i>	27,2	33,5	33,0	22,2	81,6	54,7	26,5	40,0	29,5	42,5	21,7

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – поживний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Л.5 Забур'яненість посівів культур короткоротаційної сівозміни на час збирання залежно від системи органічного
удобрення, шт./м², 2024 р.

Культура сівозміни	Система удобрення	Кількість бур'янів, шт/м ²								Суха маса бур'янів, г/м ²		
		всього	в т. ч.					одно- дольні	дво- дольні	всього	одно- дольні	дво- дольні
			плоскуха звичайна	мишій сизий	лобода біла	редька дика	щириця звичайна					
Соя	п.п.п* (контроль)	19	—	2	12	3	2	2	17	58,8	24,1	34,7
	п.п.п + сидерат***	10	1	1	5	2	1	2	8	39,7	11,5	28,2
	п.п.п + біопрепарат***	9	—	—	6	2	1	—	9	38,3	10,1	28,2
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	6	—	1	4	—	1	1	5	28,6	9,5	19,1
	<i>S</i>	5,6	0,5	0,8	3,6	1,3	0,5	1,0	5,1	12,6	6,9	6,4
	<i>V, %</i>	50,9	200,0	81,6	53,2	71,9	40,0	76,6	52,5	30,6	50,1	23,3
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	32	9	12	3	5	3	21	11	92,1	36,7	55,4
	п.п.п + сидерат	18	4	4	4	3	3	8	10	62,0	27,2	34,8
	п.п.п + біопрепарат	18	5	2	5	4	2	7	11	57,6	20,0	37,6
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	14	5	3	3	2	1	8	6	46,5	19,6	26,9
	<i>S</i>	7,9	2,2	4,6	1,0	1,3	1,0	6,7	2,4	19,5	8,0	12,0
	<i>V, %</i>	38,5	38,6	87,1	25,5	36,9	42,6	60,8	25,1	30,2	31,0	31,1
Просо	п.п.п (контроль)	11	1	1	5	2	2	2	9	41,1	19,5	21,6
	п.п.п + сидерат	6	1	1	2	1	1	2	4	30,2	13,0	17,2
	п.п.п + біопрепарат	7	1	2	3	—	1	3	4	29,2	13,5	15,7
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	4	1	—	1	1	1	1	3	18,2	10,6	7,6
	<i>S</i>	2,9	—	0,8	1,7	0,8	0,5	0,8	2,7	9,4	3,8	5,8
	<i>V, %</i>	42,1	—	81,6	62,1	81,6	40,0	40,8	54,2	31,5	26,7	37,7

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – поживний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Л.6 Забур'яненість посівів культур короткоротаційної сівозміни на час збирання залежно від системи органічного
удобрення, шт./м², 2025 р.

Культура сівозміни	Система удобрення	Кількість бур'янів, шт/м ²								Суха маса бур'янів, г/м ²		
		всього	в т. ч.					одно- дольні	дво- дольні	всього	одно- дольні	дво- дольні
			плоскуха звичайна	мишій сизий	лобода біла	редька дика	щириця звичайна					
Соя	п.п.п* (контроль)	164	92	54	12	1	5	146	18	160,0	79,9	80,1
	п.п.п + сидерат***	133	83	36	7	4	3	119	14	129,8	56,7	73,1
	п.п.п + біопрепарат***	128	79	34	8	3	4	113	15	118,2	55,0	63,2
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	94	63	21	5	2	3	84	10	91,0	39,8	51,2
	<i>S</i>	28,7	12,1	13,6	2,9	1,3	1,0	25,4	3,3	28,6	16,5	12,6
	<i>V, %</i>	22,1	15,3	37,4	36,8	51,6	25,5	22,0	23,2	22,9	28,6	18,8
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	41	17	15	5	2	2	32	9	35,6	14,5	21,1
	п.п.п + сидерат	31	14	9	4	1	3	23	8	23,5	8,9	14,6
	п.п.п + біопрепарат	25	12	8	2	2	1	20	5	21,3	8,0	13,3
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	18	8	5	2	2	1	13	5	13,1	5,5	7,6
	<i>S</i>	9,7	3,8	4,2	1,5	0,5	1,0	7,9	2,1	9,3	3,8	5,5
	<i>V, %</i>	33,9	29,6	45,3	46,2	28,6	54,7	35,8	30,5	39,8	41,2	39,2
Просо	п.п.п (контроль)	52	26	12	6	3	5	38	14	43,4	15,8	27,6
	п.п.п + сидерат	34	14	9	5	2	4	23	11	30,5	10,6	19,9
	п.п.п + біопрепарат	28	13	8	3	1	3	21	7	25,2	11,2	14,0
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	20	8	7	3	1	1	15	5	17,7	8,0	9,7
	<i>S</i>	13,6	7,6	2,2	1,5	1,0	1,7	9,8	4,0	10,8	3,2	7,8
	<i>V, %</i>	40,6	50,0	24,0	35,3	54,7	52,5	40,3	43,6	37,1	28,5	43,6

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – поживний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Додаток М Морфометричні показники та накопичення сухої біомаси культур сівозміни залежно від системи органічного удобрення

М.1 Морфометричні показники та накопичення сухої біомаси культур сівозміни залежно від системи органічного удобрення, 2023 р.

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)	98	64	5	446	105	211	130
	п.п.п + сидерат***	103	68	4	564	120	291	152
	п.п.п + біопрепарат***	104	70	2	577	128	294	155
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	105	73	2	619	131	322	167
	<i>S</i>	3,1	3,8	1,5	74,3	11,6	47,7	15,5
	<i>V, %</i>	3,1	5,5	46,2	13,5	9,6	17,1	10,3
Пшениця яра	п.п.п (контроль)	82	360	28	603	85	334	184
	п.п.п + сидерат	89	392	12	729	91	389	249
	п.п.п + біопрепарат	90	404	8	777	123	395	259
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	94	416	4	845	135	415	295
	<i>S</i>	5,3	24,1	10,5	102,2	24,3	34,7	46,2
	<i>V, %</i>	6,0	6,1	80,9	13,8	22,4	9,1	18,7
Просо	п.п.п (контроль)	102	204	20	886	86	457	343
	п.п.п + сидерат	108	220	12	962	106	491	365
	п.п.п + біопрепарат	108	232	8	978	115	496	367
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	110	244	6	1082	126	560	396
	<i>S</i>	3,2	17,1	6,2	80,7	17,0	42,9	21,8
	<i>V, %</i>	3,0	7,6	53,8	8,3	15,7	8,6	5,9

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – поживний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

М.2 Морфометричні показники та накопичення сухої біомаси культур сівозміни залежно від системи органічного удобрення, 2024 р.

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
Со́я	п.п.п* (контроль)	69	68	4	366	88	180	98
	п.п.п + сидерат***	74	69	3	438	94	211	133
	п.п.п + біопрепарат***	76	71	3	445	96	213	136
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	85	72	3	518	113	240	165
	<i>S</i>	6,8	1,8	0,5	62,2	10,7	24,5	27,5
	<i>V, %</i>	9,0	2,6	15,4	14,1	11,0	11,6	20,7
Пшени́ця яра	п.п.п (контроль)	90	510	25	805	85	422	298
	п.п.п + сидерат	93	562	16	880	91	441	348
	п.п.п + біопрепарат	102	574	12	930	123	450	357
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	107	580	10	1008	145	490	373
	<i>S</i>	8,0	31,9	6,7	85,4	28,1	28,7	32,4
	<i>V, %</i>	8,1	5,7	42,2	9,4	25,4	6,4	9,4
Просо́	п.п.п (контроль)	92	237	7	748	62	449	237
	п.п.п + сидерат	98	265	4	831	69	476	286
	п.п.п + біопрепарат	99	288	4	868	75	500	293
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	107	311	2	941	88	522	331
	<i>S</i>	6,4	31,7	2,1	80,3	11,0	31,4	38,6
	<i>V, %</i>	6,5	11,5	48,5	9,5	15,0	6,5	13,5

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – поживний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

М.3 Морфометричні показники та накопичення сухої біомаси культур сівозміни залежно від системи органічного удобрення, 2025 р.

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
Со́я	п.п.п* (контроль)	66	67	8	568	118	291	159
	п.п.п + сидерат***	75	85	4	660	147	318	194
	п.п.п + біопрепарат***	76	89	3	666	148	322	196
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	84	95	3	757	157	371	229
	<i>S</i>	7,2	12,1	2,4	77,0	17,1	33,0	28,5
	<i>V, %</i>	9,6	14,4	52,9	11,6	12,0	10,1	14,6
Пшени́ця яра	п.п.п (контроль)	85	390	6	902	124	437	341
	п.п.п + сидерат	96	398	4	1046	168	478	400
	п.п.п + біопрепарат	99	403	3	1110	184	499	427
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	111	425	3	1260	196	539	525
	<i>S</i>	10,5	15,0	1,4	148,6	31,5	42,7	76,8
	<i>V, %</i>	10,8	3,7	35,4	13,8	18,7	8,7	18,1
Просо́	п.п.п (контроль)	99	181	8	723	83	454	186
	п.п.п + сидерат	108	212	6	922	102	547	273
	п.п.п + біопрепарат	110	220	4	970	110	562	298
	п.п.п + сидерат + біопрепарат	118	231	4	1052	122	601	329
	<i>S</i>	7,7	21,5	1,9	139,8	16,6	62,1	61,4
	<i>V, %</i>	7,1	10,2	34,8	15,3	15,9	11,5	22,6

Примітка. * – побічна продукція попередника; ** – поживний посів редьки олійної; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Додаток М Показники якості зерна пшениці ярої, проса та насіння сої залежно від системи органічного удобрення, %, за
2023–2025 рр.

Система удобрення	Роки досліджень								
	2023			2024			2025		
	білок, %	клітковина / клейковина*, %	жир, %	білок, %	клітковина / клейковина, %	жир, %	білок, %	клітковина / клейковина, %	жир, %
Соя									
п.п.п** (контроль)	39,5	7,10	21,3	34,8	6,91	19,0	30,8	7,05	18,8
п.п.п + сидерат (редька олійна)	40,3	6,95	21,0	35,2	6,94	18,6	31,5	7,12	18,2
п.п.п + біопрепарат***	40,9	7,35	19,8	35,4	6,90	18,6	31,2	7,08	18,3
п.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	41,6	7,50	18,7	35,9	6,95	18,3	31,9	7,17	17,7
<i>S</i>	0,87	0,25	1,18	0,48	0,02	0,32	0,43	0,05	0,46
<i>V, %</i>	2,2	3,4	5,9	1,4	0,3	1,7	1,4	0,7	2,5
Пшениця яра									
п.п.п (контроль)	12,0	26,0	2,02	13,8	24,2	2,06	10,8	22,2	1,94
п.п.п + сидерат (редька олійна)	12,7	27,2	1,93	14,0	24,5	2,05	11,4	22,9	1,82
п.п.п + біопрепарат	12,8	28,0	1,85	14,7	24,5	2,05	10,9	22,9	1,90
п.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	13,2	30,2	1,79	14,8	24,6	2,04	11,9	24,2	1,76
<i>S</i>	0,48	1,75	0,10	0,52	0,16	0,01	0,51	0,85	0,08
<i>V, %</i>	3,8	6,3	5,3	3,6	0,7	0,4	4,5	3,7	4,3
Просо									
п.п.п (контроль)	11,5	5,50	3,41	10,7	6,09	3,46	10,8	4,82	3,90
п.п.п + сидерат (редька олійна)	11,3	5,65	3,45	10,8	6,18	3,53	10,9	4,88	3,82
п.п.п + біопрепарат	11,3	5,60	3,44	10,8	6,16	3,51	10,9	4,85	3,87
п.п.п + сидерат (редька олійна) + біопрепарат	11,7	5,70	3,50	10,9	6,20	3,70	10,9	4,85	3,86
<i>S</i>	0,20	0,09	0,04	0,07	0,05	0,10	0,04	0,02	0,03
<i>V, %</i>	1,7	1,5	1,1	0,7	0,8	2,9	0,3	0,5	0,9

Примітка. * – клітковина у зерні проса та насінні сої, клейковина у зерні пшениці ярої; ** – побічна продукція попередника; *** – біологічний препарат на основі комплексу корисної ґрунтової мікрофлори у поєднанні з органічними речовинами родючих ґрунтів.

Додаток О

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор

ТОВ «Лист-Ручки»

Олександр ХОМЕНКО



«12» листопада 2025 р.

АКТ № 1

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 Євген Дмитрович з другого боку, склали цей акт, щодо впровадження наукової розробки, виконаної на підставі результатів досліджень, які викладено в дисертаційній роботі Савченко Є. Д.

Результати впровадження. Результати досліджень Савченка Є. Д. впроваджено в 2024–2025 рр. на загальній площі 30 га у ТОВ «Лист-Ручки» Миргородського району Полтавської області.

Коротка характеристика розробки: короткоротаційна сівозміна (соя – пшениця яра – просо) за удобрення органічного спрямування: *побічна продукція попередника (п.п.п.) + пожнивний сидерат (редька олійна) + біодобриво «Біо-Гель» в дозі 3,0 л/га (1,5 л/га у фазі повних сходів + 1,5 л/га у фазі цвітіння).*

За результатами впровадження урожайність сої становила 2,65 т/га, пшениці ярої – 4,68 т/га і проса – 4,72 т/га за комплексного застосування органічного удобрення (п.п.п. + сидерат + «Біо-Гель»). Умовно чистий прибуток за внесення п.п.п. + сидерат + «Біо-Гель» становив: для сої – 8,94 тис. грн/га, для пшениці ярої – 12,39 тис. грн/га і для проса – 12,62 тис. грн/га, що на 9,5; 12,2 і 15,8 % більше, ніж за прийнятої у господарстві короткоротаційної сівозміни. Рівень рентабельності становив 108; 190 і 185 % відповідно.

Представник ТОВ «Лист-Ручки»
НААН»

Віктор Кузьменко
(підпис)

Віктор КУЗЬМЕНКО

Представник ННЦ «ІЗ

Євген Савченко
(підпис)

Євген САВЧЕНКО

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор

Фермерського господарства «Русь»

Микола ШАНДРУК

(підпис)



«19» листопада 2025 р.

АКТ 2

впровадження наукової розробки

Ми, що нижче підписалися, представник Фермерського господарства «Русь» (Київська обл.), директор Шандрук Микола Григорович, з одного боку та представник ННЦ «ІЗ НААН» аспірант відділу сівозмін і землеробства на меліорованих землях Савченко Євген Дмитрович з другого боку, склали цей акт, щодо впровадження наукової розробки: **«Продуктивність короткоротаційної зернової сівозміни за різних систем органічного удобрення в умовах Лівобережного Лісостепу»**, виконаної за завданням 02.04.01.02 Ф «Теоретично обґрунтувати і розробити короткоротаційні сівозміни за органічного виробництва сільськогосподарської продукції в умовах зміни клімату».

Коротка техніко-економічна характеристика розробки: короткоротаційна 3-пільна сівозміна (соя – пшениця яра – просо) за органічної системи удобрення: *побічна продукція попередника (п.п.п.) – контроль і п.п.п. + сидерат + «Біо-Гель»*.

Термін виконання 2025 р.

Обсяг 60 га.

Результати впровадження:

За результатами впровадження урожайність сої на варіанті комплексного внесення органічних добрив (п.п.п. + сидерат + «Біо-Гель») становила 1,8 т/га; пшениці ярої – 3,8 т/га і проса 3,5 т/га, що на 0,9 і 0,7 т/га відповідно більше, ніж на контрольних варіантах, де застосовували лише побічну продукцію попередника (п.п.п.).

Умовно чистий прибуток становив: за вирощування сої – 5,05; пшениці ярої – 7,00 і проса – 5,45 тис. грн/га за рівня рентабельності 77; 170 і 70 % відповідно.

Акт складено «19» листопада 2025 р.

Представник Фермерського господарства «Русь»

Микола ШАНДРУК

(підпис)

Аспірант ННЦ «ІЗ НААН»

Євген САВЧЕНКО

(підпис)