НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

Кваліфікаційна
наукова
праця на правах
рукопису

ПОПЛАВСЬКИЙ ВЛАДИСЛАВ БОРИСОВИЧ

УДК 633.63:631.417:631.416.1:631.81

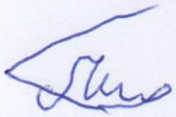
ДИСЕРТАЦІЯ

РОДЮЧІСТЬ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ СІВОЗМІН ЗА ЗАСТОСУВАННЯ ДОБРИВ У ЛІВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

201 Агрономія
20 Аграрні науки і продовольство

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



В.Б. Поплавський
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник – Іваніна Вадим Віталійович
доктор сільськогосподарських наук, професор

Київ - 2026

АНОТАЦІЯ

Поплавський В.Б. Родючість чорнозему типового та продуктивність сівозмін за застосування добрив у Лівобережному Лісостепу України. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі з галузі знань 20 «Аграрні науки і продовольство» за спеціальністю 201 «Агрономія» – Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, м. Київ, 2026.

Актуальність теми. Сталі врожаї сільськогосподарських культур в умовах глобального потепління потребують агротехнічних та агрохімічних заходів, які направлені на збереження родючості ґрунтів, накопичення грунтової вологи та раціональне використання її рослинами. У нових економічних реаліях, коли у структурі посівних площ домінує п’ять культур та відсутні багаторічні трави, дослідження направлені на оптимізацію структури сівозмін та системи удобрення набувають особливої актуальності і є на часі.

Наукова новизна одержаних результатів. *Уперше* встановлено ефективність систем удобрення з органічним та мінеральним компонентом у короткоротаційних сівозмінах Лівобережного Лісостепу України. За недостатнього зволоження найефективнішим визначено внесення побічної продукції та мінеральних добрив у плодозмінній сівозміні, яке забезпечує відтворення родючості ґрунту. За нестійкого зволоження ефективним під буряки цукрові визначено заробляння соломи пшениці озимої та мінеральних добрив з проведенням глибокої оранки на 30-32 см.

Удосконалено систему удобрення сільськогосподарських культур у короткоротаційних сівозмінах Лівобережного Лісостепу України.

Подальшого розвитку дістали питання впливу добрив та структури сівозмін на родючість ґрунту, водний та поживний режими; впливу глибини заробляння добрив на врожайність буряків цукрових.

Практичне значення одержаних результатів. За результатами стаціонарного польового досліду сформовано агрохімічні засади сталого вирощування культур у сівозмінах з короткою ротацією в умовах Лівобережного Лісостепу України. Для умов нестійкого зволоження встановлено, що солому пшениці озимої та мінеральні добрива під буряки цукрові найефективніше заробляти під глибоку оранку на глибину 30-32 см.

Результати наукових досліджень впроваджено на Веселоподільській дослідно-селекційній станції (Кременчуцький район, Полтавська область) на площі 9 га. Наукова розробка збільшила продуктивність сівозмін на 1,20 т к.од./га з отриманнням додаткової продукції на суму 8200 грн/га.

Основні результати досліджень. Встановлено, що в умовах недостатнього зволоження внесення упродовж 46 років 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га ріллі у плодозмінній сівозміні забезпечило розширене відтворення вмісту гумусу в чорноземі типовому слабкосолонцюватому: вміст гумусу – 4,78% з перевищенням контролю без добрив на 0,97%. Застосування побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га ріллі стабілізувало вміст гумусу на рівні 4,72%. У зерно-просапній та просапній сівозмінах вміст гумусу був значно меншим – 4,46% та 4,53%, відповідно, що є наслідком підвищеної його мінералізації.

Виявлено, що довготривале застосування органо-мінеральних систем удобрення у короткоротаційних сівозмінах значно покращило забезпеченість орного 0-30 см шару ґрунту рухомим фосфором та калієм. Найвищий їх вміст у ґрунті досягнуто за застосування 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га ріллі – 52,3 та 145 мг/кг ґрунту, відповідно. Вміст елементів живлення у ґрунті не залежав від структури сівозмін.

Встановлено, що органо-мінеральні системи удобрення збільшили запаси вологи у 1,5 м шарі ґрунту у весняний період у розрізі усіх сівозмін порівняно з контролем без добрив на 6-15 мм. У зерно-просапній та просапній сівозмінах запаси вологи були більші порівняно з плодозмінною сівозміною на 11-15 мм. Пшениця озима найефективніше вологу ґрунту використовувала у плодозмінній сівозміні за внесення побічна продукція +

$N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 424 м^3/т біологічного врожаю. У зерно-просапній та просапній сівозмінах витрати вологи на формування однієї тони врожаю були вищі порівняно з плодозмінною сівозміною на 68-69 м^3 і становили 492 і 493 м^3.

Виявлено, що за нестійкого зволоження глибока оранка на 30-32 см збільшила накопичення вологи у метровому шарі чорнозему типового весною порівнювало з мілким обробітком на 12-14 см – на 19-25 мм. За внесення добрив глибока оранка зменшила витрати вологи на формування однієї тони врожаю буряків цукрових порівнювало з мілким обробітком на 7-31 м^3.

Встановлено, що в умовах недостатнього зволоження на чорноземі типовому слабкосолонцюватому найвищу врожайність пшениці озимої отримали у плодозмінній сівозміні на тлі післядії 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ та побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – відповідно 3,74 та 3,76 т/га; а також у зерно-просапній сівозміні за попередника гороху на тлі післядії 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ – 3,77 т/га. Порівняно з контролем без добрив внесення під пшеницю озиму $N_{45}P_{45}K_{45}$ на тлі післядії органо-мінерального удобрення підвищило врожайність зерна у плодозмінній сівозміні – на 0,85-0,87 т/га, зерно-просапній – на 0,41 т/га.

Виявлено, що в умовах недостатнього зволоження найвищої продуктивності буряків цукрових досягли у плодозмінній сівозміні за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га ріллі: збір цукру – 5,93 т/га, що на 0,62 та 0,72 т/га було більше, ніж у просапній та зерно-просапній сівозмінах.

Встановлено, що за нестійкого зволоження врожайність буряків цукрових залежала від удобрення та глибини обробітку ґрунту. Найвищої продуктивності буряків цукрових досягли за проведення глибокої оранки на 30-32 см та внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Добрин», 2 л/га: врожайність коренеплодів – 41,9 т/га, цукристість – 19,2%, збір цукру – 7,96 т/га з підвищенням збору цукру до мілкого обробітку ґрунту на 12-14 см – на 0,93 т/га.

Виявлено, що застосування 6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ та ПП + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га ріллі у просапній сівозміні формувало найвищу кормову продуктивність – 6,71 та 6,72 т к.од./га сівозміни, що було вищим порівняно з контролем без добрив – на 1,33 та 1,34 т к.од./га, порівняно із зерно-просапною сівозміною – на 0,87 та 1,03, плодозмінною – на 0,61 та 0,64 т к.од./га сівозміни.

Встановлено, що в умовах недостатнього зволоження застосування 6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га ріллі формувало найкращий баланс елементів живлення у сівозмінах: додатній баланс азоту у плодозмінній та зерно-просапній сівозміні за інтенсивності балансу 140-152%, в усіх сівозмінах додатній баланс фосфору і калію за інтенсивності балансу – відповідно 158-187% та 100-143%. Натомість традиційна та альтернативна органо-мінеральні системи удобрення в усіх сівозмінах формували додатній баланс лише фосфору, від'ємний баланс калію за інтенсивності 63-95% та від'ємний баланс азоту у просапній сівозміні за інтенсивності 62-63%.

Досліджено, що внесення у плодозмінній сівозміні побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни забезпечило найвищу енергетичну та економічну ефективність вирощування сільськогосподарських культур: Кее – 4,3, рентабельність – 68,2% на 1 га сівозміни.

Ключові слова*: чорнозем, родючість, гумус, поживний режим, добрива, сівозміни, продуктивність, буряки цукрові, пшениця озима, ячмінь ярий, врожайність, елементи живлення, винос, баланс.*

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях України

1. Іваніна В.В., Поплавський В.Б. Обіг вуглецю та стан гумусу в чорноземі типовому за довготривалого застосування добрив у чотирипільних сівозмінах. *Вісник аграрної науки.* 2025. № 9(870). С. 5-11. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202509-01 *(частка здобувача у авторстві 83%, проведення та аналіз результатів досліджень, написання статті)*.

2. Іваніна В.В., Поплавський В.Б. Вплив добрив на врожайність та використання вологи пшеницею озимою в умовах чотирипільних сівозмін. *Зернові культури.* 2025. Т. 9. № 2. С. 358-364 https://doi.org/10.31867/2523-4544/0398 *(частка здобувача у авторстві 81%, проведення та аналіз результатів досліджень, написання статті)*.

3. Іваніна В.В., Поплавський В.Б. Вплив добрив на врожайність буряків цукрових та продуктивність чотирипільних сівозмін в умовах недостатнього зволоження. *Новітні агротехнології*. 2025. Т. 13. № 3. doi: 10.47414/na.13.3.2025.341816 *(частка здобувача у авторстві 85%, проведення та аналіз результатів досліджень, написання статті)*.

4. Іваніна В.В., Поплавський В.Б. Вплив соломи та глибини обробітку ґрунту на вологозабезпечення та врожайність буряків цукрових. *Вісник аграрної науки.* 2025. № 12(873). С. 5-11. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202512-01 *(частка здобувача у авторстві 84%, проведення та аналіз результатів досліджень, написання статті)*.

Матеріали наукових конференцій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

5. Іваніна В.В., Стрілець О.П., Поплавський В.Б. Вплив тривалого удобрення сівозмін на обіг вуглецю та вміст гумусу в чорноземі типовому. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції яка присвячена 100-річчю проф. М.К. Шикули «Ґрунтозахисні технології як фактор родючості ґрунтів і високих врожаїв»* 20-21 лютого 2025; Київ, 2025. С. 66-68.

6. Іваніна В.В., Поплавський В.Б., Стрілець О.П. Родючість чорнозему типового за тривалого удобрення короткоротаційних сівозмін. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Актуальні напрями та проблематика у технологіях вирощування продукції рослинництва»* 7 травня 2025; Полтава, 2025. С. 55-57.

7. Іваніна В.В., Поплавський В.Б., Стрілець О.П. Вплив добрив та сівозмін на стан гумусу ґрунту та продуктивність буряків цукрових. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції* «Сучасні інноваційні тенденції розвитку землеробства» 11 червня 2025 року; Рівне, 2025. С. 75-77.

8. Поплавський В.Б. Вплив удобрення на врожайність пшениці озимої та буряків цукрових в умовах короткоротаційних сівозмін. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми сучасного землеробства, рослинництва і тваринництва»* 25 червня 2025; с. Оброшине, 2025. С. 160-162.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДСТУ – державний стандарт України;

ДСС – дослідно-селекційна станція;

ІБКіЦБ - Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків;

НААН – Національна академія аграрних наук України;

ННЦ «ІГА» - Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

Кее – коефіцієнт енергетичної ефективності.

ANNOTATION

Poplavsky V.B. Fertility of typical chernozem and productivity of crop rotations due to the use of fertilizers in the Left Bank Forest Steppe of Ukraine. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The thesis for getting the scientific degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 20 "Agrarian Sciences and Food" in the specialty 201 "Agronomy" – Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets NAAS, Kyiv, 2026.

Actuality of theme. Sustainable crop yields in the face of global warming require agrotechnical and agrochemical measures aimed at preserving soil fertility, accumulating soil moisture, and rationally using it by plants. In the new economic realities, when the structure of sown areas is dominated by five crops and perennial grasses are absent, research aimed at optimizing the structure of crop rotations and fertilisation systems becomes particularly relevant and timely.

Scientific novelty of the results. *For the first time*, the effectiveness of fertilisation systems with organic and mineral components in short-rotation crop rotations of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine has been determined. In case of insufficient moisture, the most effective method was determined to be the application of by-products and mineral fertilisers in a crop rotation, which ensures the restoration of soil fertility. In case of unstable moisture, the effective method for sugar beet was determined to be the incorporation of winter wheat straw and mineral fertilisers with deep plowing to 30-32 cm.

The system of fertilisation of agricultural crops in short-rotation crop rotations of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine has been improved.

The issues of the influence of fertilisers and the structure of crop rotations on soil fertility, water and nutrient regimes; the influence of the depth of fertiliser application on the yield of sugar beet has been further developed.

The practical significance of the results. Based on the results of a stationary field experiment, agrochemical principles for sustainable cultivation of crops in short-rotation crop rotations in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine were formed. For conditions of unstable moisture, it was

established that winter wheat straw and mineral fertilisers for sugar beet are most effectively applied under deep plowing to a depth of 30-32 cm.

The results of scientific research were implemented at the Veselopodilska Experimental and Breeding Station (Kremenchuk district, Poltava region) on an area of 9 hectares. Scientific development increased crop rotation productivity by 1.20 t of crop units/ha with additional production of 8200 UAH/ha.

The main results of research. It was established that under conditions of insufficient moisture, the application of 6.3 t/ha of manure + by-products + N33.6P33.6K33.6 per 1 ha of arable land in grass crop rotation for 46 years provided an expanded reproduction of the humus content in typical weakly saline chernozem: the humus content was 4.78%, exceeding the control without fertilizers by 0.97%. The application of by-products + N46.4P33.6K33.6 per 1 ha of arable land stabilized the humus content at 4.72%. In grain-row and row crop rotations, the humus content was significantly lower - 4.46% and 4.53%, respectively, which is a consequence of its increased mineralization.

It was found that long-term use of organic-mineral fertilizer systems in short-rotation crop rotations significantly improved the availability of mobile phosphorus and potassium in the arable 0-30 cm soil layer. Their highest content in the soil was achieved when 6.3 t/ha of manure + by-products + N33.6P33.6K33.6 was applied to 1 ha of arable land – 52.3 and 145 mg/kg of soil, respectively. The content of nutrients in the soil did not depend on the structure of the crop rotation.

It was found that organic-mineral fertilizer systems increased moisture reserves in the 1.5 m layer of soil in the spring period in the context of all crop rotations compared to the control without fertilizers by 6-15 mm. In grain-row and row crop rotations, moisture reserves were greater compared to grass crop rotation by 11-15 mm. Winter wheat used soil moisture most efficiently in crop rotation with the application of by-products + N46.4P33.6K33.6 per 1 ha of crop rotation - 424 m^3/t of biological yield. In grain-row and row crop rotations, moisture consumption for the formation of one ton of yield was higher compared to grass crop rotation by 68-69 m^3 and amounted to 492 and 493 m^3.

It was found that under unstable moisture conditions, deep plowing by 30-32 cm increased the accumulation of moisture in a meter layer of typical black soil in spring compared to shallow tillage by 12-14 cm - by 19-25 mm. With fertilizer application, deep plowing reduced the moisture consumption for the formation of one ton of sugar beet compared to shallow tillage by 7-31 m^3.

It was established that under conditions of insufficient moisture on typical weakly saline black soil, the highest yield of winter wheat was obtained in a grass crop rotation against the background of the aftereffect of 6.3 t/ha of manure + by-products + N33.6P33.6K33.6 and by-products + N46.4P33.6K33.6 per 1 ha of crop rotation - 3.74 and 3.76 t/ha, respectively; as well as in a grain-row crop rotation with a pea predecessor against the background of the aftereffect of 6.3 t/ha of manure + N33.6P33.6K33.6 - 3.77 t/ha. Compared to the control without fertilizers, the application of N45P45K45 under winter wheat against the background of the aftereffect of organic-mineral fertilizer increased grain yield in the crop rotation by 0.85-0.87 t/ha, and in the grain-row crop rotation by 0.41 t/ha.

It was found that under conditions of insufficient moisture, the highest productivity of sugar beet was achieved in a crop rotation with the application of by-products + N46.4P33.6K33.6 per 1 ha of arable land: sugar yield – 5.93 t/ha, which was 0.62 and 0.72 t/ha more than in row and grain-row crop rotations.

It was found that under unstable moisture conditions, the yield of sugar beet depended on fertilization and the depth of soil cultivation. The highest productivity of sugar beet was achieved with deep plowing at 30-32 cm and the application of 5 t/ha of straw + N90P90K90 + "Dobryn", 2 l/ha: the yield of roots was 41.9 t/ha, sugar content was 19.2%, sugar yield was 7.96 t/ha with an increase in sugar yield to shallow tillage at 12-14 cm - by 0.93 t/ha.

It was found that the application of 6.3 t/ha of manure + by-products + N33.6P33.6K33.6 and by-products + N46.4P33.6K33.6 per 1 ha of arable land in row crop rotation formed the highest forage productivity - 6.71 and 6.72 t of c.u./ha of crop rotation, which was higher compared to the control without fertilizers - by 1.33 and 1.34 t of c.u./ha, compared to grain-row crop rotation - by

0.87 and 1.03, and grass crop rotation - by 0.61 and 0.64 t of c.u./ha of crop rotation.

It was found that under conditions of insufficient moisture, the application of 6.3 t/ha of manure + by-products + N33.6P33.6K33.6 per 1 ha of arable land formed the best balance of nutrients in crop rotations: a positive balance of nitrogen in the grass and grain-row crop rotations at a balance intensity of 140-152%; in all crop rotations a positive balance of phosphorus and potassium at a balance intensity of 158-187% and 100-143%, respectively. In contrast, traditional and alternative organic-mineral fertilization systems in all crop rotations formed a positive balance of only phosphorus, a negative balance of potassium at an intensity of 63-95% and a negative balance of nitrogen in a row crop rotation at an intensity of 62-63%.

It was studied that the application of by-products + N46.4P33.6K33.6 per 1 ha of crop rotation in a grass crop rotation provided the highest energy and economic efficiency of growing agricultural crops: Kee – 4.3, profitability – 68.2% per 1 ha of crop rotation.

Key words: *black soil, fertility, humus, nutrient regime, fertilizers, crop rotations, productivity, sugar beet, winter wheat, spring barley, yield, nutrients, removal, balance*

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА СИМВОЛІВ …… 8
ВСТУП ……. 15
РОЗДІЛ 1 ЗАСАДИ СТАЛИХ ВРОЖАЇВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР У СУЧАСНИХ СІВОЗМІНАХ (огляд літератури) …… 19
1.1 Збереження родючості ґрунтів – основа сталого виробництва ……... 19
1.2 Вплив удобрення і сівозмін на врожайність культур 26
1.3 Осучаснене органо-мінеральне удобрення сівозмін – основа сталості і високої продуктивності культур ..…… 31
РОЗДІЛ 2 УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ …….. 37
2.1 Ґрунтові умови та методика проведення досліджень …… 37
2.2 Агрометеорологічні умови у роки досліджень …….. 42
Висновки до розділу 2 …… 46
РОЗДІЛ 3 СТАН РОДЮЧОСТІ ТА ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЧОРНОЗЕМНИХ ҐРУНТІВ ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ І СІВОЗМІН …….. 47
3.1 Вплив добрив та сівозмін на стан гумусу чорнозему типового слабкосолонцюватого …… 47
3.2 Поживний режим чорноземних ґрунтів залежно від удобрення і сівозмін ……. 55
3.2.1 Вміст поживних речовин в чорноземі типовому слабкосолонцюватому …… 55
3.2.2 Вплив глибини заробляння добрив на поживний режим чорнозему типового …… 67
3.3 Водний режим чорноземних ґрунтів залежно від удобрення і сівозмін …… 72
3.3.1 Запаси вологи у чорноземі типовому слабкосолонцюватому та використання її пшеницею озимою …….. 72
3.3.2 Накопичення вологи у чорноземі типовому та використання її

буряками цукровими залежно від удобрення та обробітку ґрунту …… 76
Висновки до розділу 3 …… 79
РОЗДІЛ 4 ВПЛИВ ДОБРИВ І СТРУКТУРИ СІВОЗМІН НА ВРОЖАЙНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ….. 83
4.1 Врожайність культур на чорноземі типовому слабкосолонцюватому залежно від удобрення і сівозмін ……... 83
4.1.1 Пшениця озима …….. 83
4.1.2 Буряки цукрові …… 87
4.1.3 Ячмінь ярий …… 96
4.1.4 Кукурудза на силос та бобові культури …….. 98
4.2 Продуктивність буряків цукрових на чорноземі типовому залежно від удобрення і обробітку ґрунту …….. 101
Висновки до розділу 4 …… 104
РОЗДІЛ 5 ПРОДУКТИВНІСТЬ КОРОТКОРОТАЦІЙНИХ СІВОЗМІН ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ …….. 107
Висновки до розділу 5 …… 116
РОЗДІЛ 6 БАЛАНС ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ У СІВОЗМІНАХ ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ ……... 118
Висновки до розділу 6 …… 130
РОЗДІЛ 7 ЕНЕРГЕТИЧНА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ДОБРИВ У СІВОЗМІНАХ 132
7.1 Енергетична ефективність …… 132
7.2 Економічна ефективність ……. 136
7.3 Енергетична та економічна ефективність вирощування буряків цукрових залежно від обробітку ґрунту та удобрення …… 140
Висновки до розділу 7 …… 142
ВИСНОВКИ …….. 144
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ ……. 147
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ …….. 148
ДОДАТКИ …….. 166

ВСТУП

Родючість ґрунту є одним із головних чинників, що забезпечує сталість аграрного виробництва та високу його продуктивність. Дослідження Г.М. Господаренка [16, 17], В.В. Іваніни [39], І.Д. Примака [94], Я.П. Цвея [124], О.А. Цюка [125] свідчать, що підбір оптимальних попередників, формування структури сівозмін, насичення системи удобрення органічним компонентом, оптимізація доз мінеральних добрив та способів їх застосування формують природну та ефективну родючість грунтів, визначають обсяги накопичення та ефективне використання грунтової вологи, що є основою високої продуктивності сільськогосподарських культур. В умовах недостатнього зволоження за короткої ротації сівозмін питання удобрення сільськогосподарських культур вивчені недостатньо, що і стало предметом цих досліджень.

Актуальність теми. Сталі врожаї сільськогосподарських культур в умовах глобального потепління потребують агротехнічних та агрохімічних заходів, які направлені на збереження родючості ґрунтів, накопичення грунтової вологи та раціональне використання її рослинами. У нових економічних реаліях, коли у структурі посівних площ домінує п’ять культур та відсутні багаторічні трави, дослідження направлені на оптимізацію структури сівозмін та системи удобрення набувають особливої актуальності і є на часі.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН в рамках ПНД НААН «Буряки цукрові та інші нішеві культури» за завданням 27.00.03.03.Ф «Біологічні основи відтворення природних процесів та функцій чорноземних ґрунтів в умовах глобального потепління», 2021-2025 рр. (№ДР 0121U100593) та завданням 27.00.03.04.Ф «Особливості зміни родючості ґрунту за довготривалого антропогенного навантаження в агроекосистемах Лісостепу в умовах кліматичних змін», 2021-2025 рр. (№ДР 0121U100594).

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є встановити вплив систем удобрення на родючість чорнозему типового та досягти високої продуктивності культур у чотирипільних сівозмінах Лівобережного Лісостепу України, мінімізувати енергетичні витрати, досягти високої економічної ефективності

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виявити вплив удобрення та структури сівозмін на стан гумусу, агрохімічні властивості та водний режим чорнозему типового слабкосолонцюватого;
- встановити врожайність сільськогосподарських культур у чотирипільних сівозмінах залежно від їх структури та удобрення;
- встановити вплив глибини заробляння добрив на продуктивність буряків цукрових;
- виявити зміни продуктивності чотирипільних сівозмін залежно від удобрення та їх структури;
- дослідити вплив удобрення та структури сівозмін на винос та баланс елементів живлення;
- дати економічну та енергетичну оцінку застосування добрив у чотирипільних сівозмінах Лівобережного Лісостепу України.

Об'єкт дослідження – процеси, що формують родючість ґрунту та врожайність сільськогосподарських культур у сівозмінах залежно від удобрення.

Предмет дослідження – чорнозем типовий слабкосолонцюватий, чотирипільні сівозміни, органо-мінеральні системи удобрення, гумус, водний та поживний режими грунту, врожайність пшениці озимої, буряків цукрових, ячменю ярого, гороху, продуктивність сівозмін, енергетична та економічна ефективність.

Методи дослідження: *польовий* – використовували у довготривалому стаціонарному досліді в умовах недостатнього зволоження для вивчення впливу добрив та структури сівозмін на родючість чорнозему типового, врожайність культур та продуктивність сівозмін; тимчасовому досліді в

умовах нестійкого зволоження для вивчення впливу способів обробітку ґрунту та удобрення на вологозабезпеченість чорнозему типового та врожайність буряків цукрових.

Лабораторний – для визначання агрохімічних та фізико-хімічних показників ґрунту, хімічного складу рослин сільськогосподарських культур, показників технологічної якості коренеплодів. *Математично–статистичний* – для визначення достовірності отриманих наукових результатів. *Розрахунково-порівняльний* – для визначення виносу та балансу елементів живлення, встановлення енергетичної та економічної ефективності досліджуваних систем удобрення у посівах сільськогосподарських культур.

Наукова новизна одержаних результатів. *Уперше* встановлено ефективність систем удобрення з органічним та мінеральним компонентом у короткоротаційних сівозмінах Лівобережного Лісостепу України. За недостатнього зволоження найефективнішим визначено внесення побічної продукції та мінеральних добрив у плодозмінній сівозміні, яке забезпечує відтворення родючості ґрунту. За нестійкого зволоження ефективним під буряки цукрові визначено заробляння соломи пшениці озимої та мінеральних добрив з проведенням глибокої оранки на 30-32 см.

Удосконалено систему удобрення сільськогосподарських культур у короткоротаційних сівозмінах Лівобережного Лісостепу України.

Подальшого розвитку дістали питання впливу добрив та структури сівозмін на родючість ґрунту, водний та поживний режими; впливу глибини заробляння добрив на врожайність буряків цукрових.

Практичне значення одержаних результатів. За результатами стаціонарного польового досліду сформовано агрохімічні засади сталого вирощування культур у сівозмінах з короткою ротацією в умовах Лівобережного Лісостепу України. Для умов нестійкого зволоження встановлено, що солому пшениці озимої та мінеральні добрива під буряки цукрові найефективніше заробляти під глибоку оранку на глибину 30-32 см.

Результати наукових досліджень впроваджено на Веселоподільській дослідно-селекційній станції (Кременчуцький район, Полтавська область) на площі 9 га. Наукова розробка збільшила продуктивність сівозмін на 1,20 т к.од./га з отриманнням додаткової продукції на суму 8200 грн/га.

Особистий внесок здобувача. Здобувач розробив індивідуальний науковий план аспіранта, провів польові та аналітичні дослідження, опрацював українську та світову наукову літературу за темою дисертації, узагальнив наукові результати, підготував наукові звіти за роки досліджень, опублікував статті, впровадив результати досліджень у виробництво.

Апробація результатів дисертації. Результати наукових досліджень та ключові положення дисертації висвітлено на міжнародній науково-практичній конференції, яка присвячена 100-річчю проф. М.К. Шикули «Грунтозахисні технології як фактор родючості грунтів і високих врожаїв» (м. Київ, 21-22 лютого 2025 року); IV Міжнародній науково-практичній інтенрнет-конференції «Актуальні напрями та проблематика у технологіях вирощування продукції рослинництва» (м. Полтава, 7 травня 2025 року); Всеукраїнській науково-практичній інтенрнет-конференції «Сучасні інноваційні тенденції розвитку землеробства» (м. Рівне, 11 червня 2025 року); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми сучасного землеробства, рослинництва і тваринництва» (с. Оброшине, 25 червня 2025року).

Публікації. Результати дисертаційоного дослідження опубліковані у 8 наукових працях, із них: 4 – статті у фахових виданнях України, 4 – тези науково-практичних конференцій.

Структура і обсяг роботи: дисертаційна робота має обсяг 178 сторінок машинопису, включає вступ, сім розділів, висновки, список використаних джерел, додатки. Основновний текст займає 147 сторінок. Робота містить 54 таблиці (з них 11 таблиць у додатках) та 6 рисунків. Список літературних джерел налічує 172 найменування, з них кирилицею – 132, латиницею – 40.

РОЗДІЛ 1
ЗАСАДИ СТАЛИХ ВРОЖАЇВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР У СУЧАСНИХ СІВОЗМІНАХ (огляд літератури)

1. Збереження родючості ґрунтів – основа сталого виробництва

Основу родючості грунтів складають вміст гумусу та рухомих форм елементів живлення, які здатні забезпечити мінеральне живлення сільськогосподарських культур упродовж періоду вегетації [13, 21, 146]. Гумус у грунті відіграє особливу роль і виступає переважно як фактор, що створює умови для мінерального живлення рослин. За високого вмісту гумусу грунти формують сприятливу структуру, здатні накопичувати високі обсяги грунтової вологи, істотно зростає мікробіологічна активність грунтів. У грунті формується трофічне середовище у якому мітяться значні обсяги продуктивної вологи з високим вмістом поживних речовин, що створює спритливі умови для живлення рослин, їх росту і розвитку [22, 48, 152].

На думку Цвея Я.П. [124] гумус є інтегрованим показником природної родючості грунту. Він відіграє провідну роль у формуванні повітряного, водного та поживного режиму грунту, грунтової структури, впливає на фізико-хімічні властивості, визначає ємність і елементний склад грунтово-вбирного комплексу. У сукупності зазначені фактори посилюють буферні властивості грунтів, збільшують їх резистентність протистояти стресовим чинникам, як надмірно високі температури, посушливість, а також надмірні опади, які можуть руйнувати структуру грунту, спричиняти утворення грунтової кірки та запливання грунтів [80].

На думку Медвєдєва В.В. [97] погіршення структури та фізико-хімічних властивостей послаблює мікробіологічну активність у грунті, що є підгрунтям для розвитку деградаційних процесів і поступової втрати його природної родючості.

Дослідження проведені Носком Б.С., Бацулою А.А., Чесняком Г.Я. [76] показали, що чорноземи Лісостепу України містять гумусу від 4,0% до

6,0%. Порівнючи з першими обстеженнями грунтів проведеними Докучаєвим Д.М. у Полтавській та Харківській губерніях у кінці XIX століття вміст гумусу зменшився удвічі. Розвиток аграрних технологій, інтенсивний обробіток грунтів, недостатні обсяги надходження органічної речовини порушили рівновагу між процесами утворення гумусу та його мінералізацією, що спричинило значне падіння вмісту гумусу.

За даними Цвея Я.П., Мирошниченка М.С., Кісілевської М.О. [101] інтенсивний обробіток грунтів у сільськогосподарському виробництві є першопричиною зменшення запасів гумусу. Обробіток грунту істотно посилює мікробіологічну активність, мінералізацію органічної речовини, а часом супроводжується розорюванням менш родючого підорного шару, що призводить до падіння вмісту гумусу у верхньому орному шарі.

На думку Мазура Г.А. [62], Чесняка Г.Я., Сєрокурова Ю.І., Бацули О.О. [127] серед факторів, що посилюють мінералізацію гумусу у грунті окрім інтенсивного обробітку слід зазначити порушення структури сівозмін, збільшення частки просапних культур у сівозмінах, порушення балансу між внесенням та винесенням елементів живлення. Кожен із зазначених факторів має свій вплив на стабілізацію та інтенсивність процесів гумусоутворення.

Багаторічні дослідження Панченка В.Ф., Вербицького В.В., Власенка С.І. [85] показали, що господарювання людини є ключовим фактором, що порушує природний процес утворення гумусу, спричиняє значні втрати гумусу із ґрунту, призводить до погіршення структури та водно-фізичних властивостей грунтів. У сівозмінах насичених просапними культурами, як буряки цукрові, кукурудза, соняшник, процеси мінералізації органічної речовини у грунті набувають особливо високої інтенсивності, що спричиняє значну деградацію грунтів.

Дослідження Іваніни В.В. [39], Іваніни В.В., Поплавського В.Б. [43], показали, що серед багатьох факторів, які впливають на стан гумусу у ґрунті слід відмітити сівозміни, обробіток ґрунту та систему удобрення. Зменшення частки просапних культур у сівозмінах, зменшення кількості обробітків

грунту упродовж вегетації, застосування органо-мінеральних систем удобрення збагачених на органічний компонент та біологічний азот є запорукою стабілізації та відновлення гумусу у грунті.

Чисельні дослідження відчизняних та зарубіжних учених відмічають особливо важливу роль органо-мінеральних систем удобрення [13, 32, 38]. В умовах сівозмін важливо, щоб системи удобрення залучали до удобрення грунтів побічну продукцію сільськогосподарських культур, а до структури сівозмін вводились бобові трави та зерно-бобові культури [39, 107, 169].

Дослідження Цвея Я.П., Іваніни В.В., Леньшина А.Г. [107] показали, що позитивного балансу гумусу у грунті можна досягти лише за органо-мінерального удобрення, коли внесення органічної речовини у грунт перевищує її мінералізацію, а внесення поживних елементів перевищує їх винос культурами. Внесення у короткоротаційній сівозміні 7,5 т/га гною + $N_{45}P_{30}K_{35}$ на 1 га ріллі за частки просапних культур у сівозміні 25%, багаторічних трав – 25%, зернових – 50% стабілізувало вміст гумусу у грунті. За достатнього зволоження внесенням соломи озимої пшениці, зеленої маси гірчиці білої та мінеральних добрив під буряки цукрові забезпечило стабільність вмісту гумусу у чорноземі вилугуваному.

В дослідженнях Барштейна Л.А., Шкаредного І.С., Якименка В.М. [5] вирощування сільськогосподарських культур у зерно-буряковій сівозміні на Носівській дослідній станції без внесення добрив упродовж 10 років супроводжувалось зменшенням вмісту гумусу в орному шарі на 0,3%, за щорічного внесення мінеральних добрив $N_{71}P_{40}K_{84}$ – на 0,1%. За низького рівня агротехніки втрати гумусу за період 25-30 років становили 18-25% від загальних запасів, за середнього рівня агротехніки – 9-23%. Підвищення культури землеробства і застосування мінеральних добрив послаблювало мінералізацію гумусу у грунті порівняно з неудобреними варіантами.

За даними Чесняка Г.Я., Сєрокурова Ю.І., Бацули О.О. [127] збільшення інтенсивності обробітків ґрунту у сівозмінах посилило мінералізацію гумусу у грунті. На зменшення вмісту гумусу впливали дози

органічних і мінеральних добрив та способи обробітку ґрунту під окремі культури і у сівозміні в цілому. Носко Б.С. в дослідженнях проведених у Харківській області [76] зазначає, що під просапними культурами мінералізація гумусу була істотно вища, ніж під зерновими культурами. У посівах буряків цукрових річна мінералізація гумусу у чорноземі типовому становила 0,16 т/га. Учений зазначає, що збільшення частки просапних культур у сівозміні на 10% збільшує щорічні втрати гумусу на 0,2-0,4 т/га.

В дослідженнях Цвея Я.П., Мирошниченка М.С., Кісілевської М.О. [103] в агроценозі буряків цукрових щорічні втрати гумусу становили 3,14 т/га. Порівняно з пшеницею озимою втрати гумусу у посівах буряків цукрових були вищі на 25%.

Вивчення динаміки вмісту гумусу у грунті упродовж вегетації показало, що весною на початок вегетації втрати гумусу в посівах буряків цукрових були високі і до змикання листків у рядках продовжували зростати. У більш пізні фази, у фазі нагромадження цукру в коренеплодах, вміст гумусу у грунті зростав [49, 107].

Важливу роль у перетворенні органічної речовини добрив у гумус відіграють водно-фізичні та фізико-хімічні властивості грунту та мікробіологічні процеси, які протікають у верхньому орному шарі. Проведення інтенсивних обробітків посилює мінералізації процеси і зменшує щорічні обсяги утворення гумусу у грунті [2, 136]. Різноглибинний плоскорізний обробіток ґрунту більшість органічних решток розподіляє у верхній 0-10 см шар – 54%, тоді як у шар 10-20 і 20-30 см – відповідно 29% і 17%. Полицевий обробіток грунту 65% органічних решток розподіляє у нижній 10-30 см шар і лише 35% у 0-10 см шар ґрунту [9, 63]. Проведення глибокої оранки створює передумови для глибшого заробляння органічних добрив і їх рівномірному розподілу у верхньому 0-30 см шарі [81, 138]. За традиційної глибокої оранки створюються більш сприятливі умови для протікання процесів утворення гумусу в орному шарі грунту [145, 154].

Рівномірний розподіл органіки в орному шарі за проведення оранки рівномірно насичує вбирний комплекс кальцієм (Ca^{2+}) та магнієм (Mg^{2+}), що сприяє формуванню нейтрального середовища. За таких умов, органічні добрива більше трансформуються у гумінові кислоти, що супроводжується утворенням гуматного типу гумусу [4, 81, 120].

Отже, застосування органічних добрив, зменшення частки просапних культур у сівозміні та проведення глибокої оранки створюють найкращі передумови для відтворення гумусу у грунті.

Важливим компонентом родючості грунтів є формування сприятливого для росту і розвитку сільськогосподарських культур азотного режиму ґрунту [13, 23, 32, 170]. Джерелом азоту у грунті є запаси гумусу, а елементами щорічного збагачення грунту на азот є азотні добрива, органічні добрива та біологічний азот, який є похідним за вирощування бобових та зерно-бобових культур [39].

У сівозмінах найбільший вміст азоту у ґрунті спостерігається у ланках де вирощують бобові культури та застосовують органо-мінеральну систему удобрення [105, 158]. За короткої ротації сівозмін баланс азоту у грунті формується кращий, ніж у сівозмінах з довгою ротацією. При цьому спостерігається зменшення газоподібних втрат азоту із грунту [147, 149, 164].

Чисельні дослідження свідчать, що застосування органо-мінеральної системи удобрення є найбільш вагомим фактором формування азотного режиму грунту в умовах сівозмін [31, 56, 143, 156, 159]. Внесення на 1 га сівозмінної площі 9 т/га гною + $N_{61}P_{61}K_{61}$ в умовах зерно-бурякової сівозміни супроводжувалось врівноваженим балансом азоту у грунті і формувало посилене азотне живлення рослин упродовж вегетаційного періоду [113].

Застосування органо-мінеральних систем удобрення посилює мікробіологічну активність грунту, інтенсифікує амоніфікаційну та нітрифікаційну мікрофлору, що сприяє утворенню мінерального азоту у грунті, який є основою азотного живлення сільськогосподарських культур [84, 151, 171, 172].

В умовах сучасного виробництва, за гострого дефіциту гною, для удобрення сільськогосподарських культур у сівозмінах застосовують побічну продукцію. Побічна продукція збіднена на сполуки азоту, що потребує внесення компенсаційної дози азотних добрив з розрахунку 10 кг азоту на тону побічної продукції [37, 137].

Отже, органо-мінеральна систма удобрення та збільшення частки бобових культур у сівозмінах створюють найкращі передумови для формування азотного режиму грунту та азотного живлення сільськогосподарських культур.

У мінеральному живленні рослин вагоме місце посідає фосфор. У грунті фосфор перебуває в органічній та мінеральній формах. Мінеральні сполуки фосфору у своїй більшості є недоступні рослинам із-за низької їх розчинності. Тому у сівозмінах для покращення фосфорного живлення сільськогосподарських культур необхідно застосовувати фосфорні добрива. При внесенні фосфорних добрив важливо враховувати забезпеченість грунту рухомими формами фосфору, а дози добрив потрібно диференціювати, враховуючи планову врожайність культур та їх потреби [105, 152].

Дослідження проведені в умовах достатнього зволоження на Уладово-Люлинецькій станції показали, що внесення на 1 га сівозмінної площі $N_{50}P_{20}K_{30}$ + сидерат + побічна продукція підвищило вміст рухомого фосфору у грунті на 11,1-13,4% [42].

За даними Лопушняка В.І. [61] внесення 60 кг діючої речовини фосфорних добрив на 1 га ріллі формувало додатній баланс фосфору у грунті та істотно підвищило врожайність сільськогосподарських культур.

Отже, для підтримання належного рівня забезпечення грунтів рухомим фосфором необхідно вносити органічні та мінеральні добрива за сумарної дози фосфору у них понад 60 кг/га.

Калій у живленні сільськогосподарських культур посідає особливе місце як чинник, що зберігає тургор клітин, підтримує водний баланс та активує окисно-відновні реакції у рослинах. Низькі дози внесення калійних

добрив упродовж останніх років спричинили відємний баланс калію у грунті та зменшили рівень забезпечення грунтів рухомими формами калію [107, 141].

Підвищення фонду рухомого калію у грунті за даними чисельних досліджень залежить від доз внесення органічних та мінеральних добрив [17, 77].

За даними Цвея Я.П., Іваніни В.В., Петрової О.Т., Дубового Ю.П. [111] внесення на Білоцерківській ДСС упродовж 40 років на 1 га сівозмінної площі $N_{53}P_{42}K_{42}$ + 6,7 т гною забезпечило вміст рухомого калію в чорноземі вилугуваному 102 мг/кг грунту, підвищивши його вміст порівняно з внесенням лише мінеральних добрив на 20,1 мг/кг ґрунту.

В дослідженнях Єрмолаєва М.М., Шиліної Л.І., Літвінова Д.В. [28] додатній баланс калію у грунті забезпечило внесення на 1 га ріллі 10 т гною + $N_{45}P_{42}K_{55}$.

В дослідженнях на Веселоподільській ДСС в умовах недостатнього зволоження встановлено, що на формування калійного режиму грунту окрім добрив впливає структура сівозміни. За внесення $N_{33,8}P_{45}K_{33,8}$ + 6,25 т гною на 1 га сівозмінної площі по завершенню другої ротації вміст рухомого калію в чорноземі типовому до висхідного показника у плодозмінній сівозміні підвищився на 32 мг/кг, у просапній – на 28 мг/кг ґрунту [114, 153].

Отже, формування калійного режиму грунту залежить від дози внесення органічних і мінеральних добрив, а також від структури сівозміни, де плодозмінна сівозміна має переваги над іншими типами сівозмін.

Окрім забезпечення гумусом та елементами живлення родючість грунтів істотно залежить від їх здатності накопичувати та зберігати вологу, що особливо гостро проявляється в останні роки зі зростанням посушливості клімату [74, 98, 166].

За даними Іоніцоя Ю.С. [50] для буряків цукрових оптимальне вологозабезпечення грунту у червні становить 60% від повної вологоємності (ППВ), липні-серпні – 60-75%, вересні – 75%.

За даними Цвея Я.П., Іваніни Р.В., Сенчук С.М. [112], Іваніни В.В., Поплавського В.Б. [46] накопиченню та збереженню вологи у грунті сприяє внесення органічних та мінеральних добрив. Застосування мінеральних добрив під пшеницю озиму зменшило споживання вологи рослинами у 2-2,4 рази.

За даними Мірошниченка М.М., Носка Б.С., Гладкіх Є.Ю., Панасенка Є.В., Круподеря Ю.О., Арцих Р.С., Голота Є.В. [72] за внесення добрив витрати вологи різняться в агроценозах вирощуваних культур: у посівах пшениці озимої добрива зменшили витрати вологи на одиницю врожаю – на 16%, ячменю – на 31%, проса – на 25%. Врожайність зерна за удобрення культур зросла на 0,4-0,5 т/га.

Отже, ключовими факторами збереження та відтворення родючості грунтів є органо-мінеральна система удобрення, збільшення частки бобових культур у сівозмінах та ширше впровадження плодозмінних сівозмін у виробництво.

1.2 Вплив удобрення і сівозмін на врожайність культур

Упродовж багатьох десятиліть, переважно в часи радянської спільноти, основою сільськогосподарського виробництва були десятипільні сівозміни у яких застосовували традиційну на основі гною органо-мінеральну систему удобрення [16, 38, 110]. Ефективним у сівозмінах з довгою ротацією є збільшення частки бобових культур та зменшення частки просапних [132, 161, 163].

За результатами досліджень Мирошниченка М.С. [69] найвищої врожайності сільськогосподарських культур в умовах Лісостепу досягали у плодозмінній сівозміні за внесення на 1 га ріллі 10 т/га гною + $N_{46}P_{49}K_{55}$, що супроводжувалось також збереженням родючості грунтів.

За даними Цвея Я.П., Горобця А.М. [110] в умовах нестійкого зволоження найефективнішим у зерно-бурякових сівозмінах визначено

внесення 6,25 т гною + $N_{33,8}P_{45}K_{33,8}$ на 1 га ріллі: плодозмінна сівозміна мала продуктивність – 6,70 т к.од./га, зерно-просапна – 5,23, просапна – 5,82 т к.од./га. За наявності бобових культур у сівозміні їх продуктивність зростала на 0,67-1,45 т к.од./га.

За даними Польового В.М. [89] у сірому лісовому грунті в умовах десятипільної зерно-бурякової сівозміни ефективним визначено внесення на 1 га ріллі 3 т гною + $N_{47}P_{68}K_{38}$: продуктивність сівозміни зросла на 2,60 т к.од./га до контролю без добрив або 32,6%.

Результати досліджень Петрової О.Г., Одрехівського В.Р., Дубового Ю.П. [88] показали, що за внесення на 1 га ріллі 6 т гною + $N_{50}P_{61}K_{66}$ у чорноземі вилугуваному формувався позитивний баланс фосфору, натомість баланс калію та азоту формувався від'ємним. За дози мінеральних добрив $N_{100}P_{132}K_{132}$ на тлі гною у сівозміні досягався додатній баланс усіх елементів живлення.

Довготривале більшш ніж 20 років застосування мінеральних добрив і гною у зерно-буряковій сівозміни істотно підвищило ефективну родючість грунту, збільшивши до висхідного показника врожайність буряків цукрових на 25-30%, ячменю ярого – на 44%, кукурудзи на зерно – на 20-25%, вико-вівса – на 37%. У порівнянні з мінеральною системою удобрення, коли вносили лише мінеральні добрива, врожайність культур зросла – відповідно на 8-10%, 22-24%, 15-16% та 12% [64].

На думку Заришняка А.С., Савчук К.І. [36], щоб досягти максимальної віддачі від внесення органічних і мінеральних добрив у сівозмінах, необхідна продумана стратегія їх застосування. Потрібно раціонально розподілити добрива між культурами сівозміни з внесенням гною під просапні культури, визначити оптимальні дози мінеральних добрив з урахуванням родючості грунту та фізіологічних потреб культур.

Буряки цукрові є провідною культурою у зерно-бурякових сівозмінах. Врожайність буряків цукрових залежить від удобрення, внесення гною, його дози, а також дози і співвідношення мінеральних добрив [106, 142, 144, 162,

165]. За даними Цвея Я.П., Торлиної А.Н., Левченка Л.Н. [123] максимальної продуктивності буряків цукрових у сівозмінах досягали у ланці з чорним паром за внесення 25 т/га гною + $N_{90}P_{120}K_{90}$ – 64,6 т/га, що є наслідком активної мінералізації органічної речовини добрив та високої мобільності елементів живлення.

В умовах недостатнього зволоження високої врожайності буряків цукрових досягали у ланці з багаторічними бобовими травами [45, 122]. За травяного передпопередника в посівах буряків цукрових відмічали зростання вмісту сполук азоту у грунті та покращення водного режиму грунту [133, 142].

Дослідження Abbas M. S., Soliman A. S., Moustafa Z. R., Abd El-Reheem K. M. [133] показали, що врожайність буряків цукрових істотно залежить від насичення сівозміни цією культурою. В Україні за існуючих умов господарювання, частка буряків цукрових у сівозмінах зменшилась із 30% до 10–20%, а їх місце зайняли кукурудза та соняшник [121].

За даними Armstrong M., Miford G., Jackstone J. [135], Muller S. [155] під буряки цукрові найефективнішим є поєднане внесення органічних і мінеральних добрив, при цьому необхідно звертати особливу увагу на оптимізацію доз мінеральних добрив.

Узагальнення досліджень з удобрення буряків цукрових проведені в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків показали, що для врожайності коренеплодів більше ніж 50 т/га доза мінеральних добрив на темно-сірому грунті та чорноземі опідзоленому має становити $N_{90\text{-}100}P_{80\text{-}110}K_{100\text{-}130}$, чорноземі вилугуваному – $N_{80\text{-}100}P_{90\text{-}110}K_{70\text{-}110}$ [102].

Дослідження проведені у Німеччині на дерново-підзолистому грунті показали, що для досягнення врожайності коренеплодів 55 т/га необхідно вносити мінеральні добрива в дозі $N_{120}P_{100}K_{140}$ [150], у Франції за аналогічної врожайності мінеральні добрива в дозі $N_{130}P_{110}K_{200}$ та 20 т/га гною [167], у Великобританії мінеральні добрива в дозі $N_{120}K_{150}$ та 30 т/га гною [139].

При визначенні доз мінеральних добрив під буряки цукрові, окрім

родючості грунту, планової врожайності необхідно враховувати насиченість сівозміни цією культурою. За частки буряків цукрових у сівозміні 10-20% необхідно вносити 20 т/га гною + $N_{90}P_{90}K_{90}$, частки 30% – 20 т/га гною + $N_{120}P_{120}K_{120}$ [132].

При визначенні дози гною під буряки цукрові важливо враховувати умови зволоження у зоні Лісостепу, оскільки з посушливістю кліматичних умов віддача від гною може зменшуватись на 40-65%. За достатнього зволоження ефективним є внесення високих доз гною 30-40 т/га, за нестійкого зволоження доза гною не повинна перевищувати 30 т/га, за недостатнього зволоження оптимальною є доза 20-30 т/га [116].

У сучасному виробництві із-за дефіциту гною під буряки цукрові усе частіше вносять солому пшениці озимої, основного попередника цієї культури [35, 46]. Дані Білоцерківської ДСС свідчать, що на чорноземі вилугуваному система удобрення на основі соломи поступалась за врожайністю внесенню гною під буряки цукрові, однак значно підвищувала цукристість коренеплодів, тому вихід цукру був майже однаковим в цих варіантах [131].

Дані Хмельницької ДСС показали, що на темно-сірому опідзоленому ґрунті гній був ефективнішим, ніж внесення соломи і післяжнивного сидерату гірчиці білої у поєднанні з мінеральними добривами. За внесення 40 т/га гною + $N_{120}P_{120}K_{120}$ врожайність коренеплодів становила 45,7 т/га, внесення 5 т/га соломи + сидерат гірчиця біла + $N_{120}P_{120}K_{120}$ врожайність була 39,0 т/га, що на 6,7 т/га було меншим [89].

Отже, найвищої врожайності буряків цукрових у сівозмінах можна досягти лише за органо-мінеральної системи удобрення, де внесення гною має переваги перед альтернативним удобренням, як, наприклад, внесення соломи пшениці озимої.

Пшениця озима у сівозміні є попередником буряків цукрових. У структурі аграрного виробництва вона посідає третє місце за площею посівів і є стратегічним продуктом у харчовому раціоні людини. Врожайність

пшениці озимої у сівозмінах залежить від сортових особливостей, попередника та системи удобрення. Найкращими попередниками для неї є багаторічні бобові трави, горох, вико-вівсяна сумішка та чистий пар, який сьогодні майже не застосовується [109, 117, 124, 161].

За даними Господаренка Г.М., Машинника С.В. [16], Литвиненка М.А. [59], Моргуна В.В., Саніна Є.В., Швартау В.В. [65] сучасні інтенсивні сорти пшениці озимої за впровадження інтенсивних технологій здатні давати врожайність зерна понад 10 т/га.

Досягнення високих врожаїв пшениці озимої потребує ефективних попередників, оптимізації системи удобрення та структури сівозмін [60, 73, 92, 93, 104].

Дані досліджень Цвея Я.П. [124] показали, що в умовах нестійкого зволоження за впровадження ефективних попередників, як багаторічні трави, горох та вико-овес, оптимальна частка пшениці озимої у структурі сівозмін має становити 30%.

За даними Гангура В.В., Браженка І.П. [14], Русанова В.І. [99] за підбору оптимальних попередників та сприятливої структури сівозміни врожайність пшениці озимої можна підвищити на 0,34-1,53 т/га, за оптимізації удобрення цієї культури – на 1,3-2,0 т/га [10, 33].

Дослідження Протопіш І.Г. [96] свідчать, що найвищої врожайності пшениці озимої можна досягти за попередника чорного пару – 5,25 т/га, тоді як за попередника багаторічних бобових трав – 4,61 т/га, що на 0,64 т/га менше. Проте, з економічних міркувань використання чорного пару є нераціональним, а з позицій родючості грунтів – диструктивним.

Вирощування пшениці озимої після стерньового попередника, як, напрклад, ячмінь ярий, із застосуванням на добриво соломи ячменю посилює іммобілізацію азоту у ґрунті. При цьому у весняний період у посівах пшениці озимої спостерігаються ознаки дефіциту азоту і без підживлення азотними добривами врожайність зерна пшениці знижується на 0,27-0,38 т/га [83].

За даними Бондар С.О. [11] внесення під пшеницю озиму у плодозмінній сівозміні $N_{60}P_{60}K_{60}$ на тлі заорювання побічної продукції врожайність зерна пшениці озимої у післядії альтернативного органічного добрива становила 4,97-5,10, що не поступалось за ефективністю післядії гною.

Ефективним під пшеницю озиму визначено багаторазове внесення азотних добрив весною [1, 57, 157, 168]. Внесення по мерзлоталому грунту весною дози азоту N_{30}, у фазу виходу у трубку N_{30} забезпечили врожайність зерна пшениці озимої – 5,67-5,74 т/га, вміст білка в зерні – 8,9-10,9% [8, 58].

Ячмінь ярий є важливою культурою у сучасних сівозмінах. Його вирощують після просапної культури переважно за післядії добрив. Ефективним для ячменю ярого є внесення органічних добрив під попередник, дія яких проявляється упродовж 3 років [134, 140, 160].

На думку Гораш О.С., Климишена Р.І. [15], Климишена Р.І. [52] ячмінь ярий добре реагує на пряме внесення мінеральних добрив і значно підвищує врожайність зерна. За вирощування ячменю без внесення добрив врожайність зерна становила 4,44 т/га, тоді як за дози добрив $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 5,78, $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 6,94, $N_{90}P_{90}K_{90}$ – 7,85, $N_{120}P_{120}K_{120}$ – 8,56 т/га.

Отже, застосування гною і мінеральних добрив у сівозмінах, оптимізація доз внесення добрив з урахуванням потреб сільськогосподарських культур під їх планову врожайність є основою сталого виробництва сільськогосподарської продукції.

1.3 Осучаснене органо-мінеральне удобрення сівозмін – основа сталості і високої продуктивності культур

Сучасне аграрне виробництво в Україні, пройшовши тривалий час трансформації, зосередилось на звуженому переліку вирощуваних культур, що призвело до домінування короткоротаційних сівозмін з системою удобрення у якій практично відсутнє внесення гною [39].

На думку Цвея Я.П., Бондар С.А., Колібабчук Т.В., Костенко С.С., Карпенка Я.Л. [109] у сучасних сівозмінах за умов дефіциту гною ефективним є заорювання побічної продукції сільськогосподарських культур на добриво. Найпродуктивнішою структурою сівозмін в умовах Лісостепу є сівозміна з часткою зернових та бобових – 60%, буряків цукрових – 20%, вико-вівса – 20%. За внесення на 1 га ріллі $N_{50}P_{43}K_{50}$ + побічна продукція продуктивність сівозміни перевищила 9,6 т/га к.о. [34, 40].

За даними Lemke R. L., Bygaart A. J., Campbell C. A., Lafond G. P., Grant B. [148] застосування добрив у сівозмінах повинно враховувати пряму дію добрив і їх післядію. За використання на добриво побічної продукції зростає роль прямого удобрення сільськогосподарських культур у сівозмінах, оскільки рослинні рештки збіднені на азот, містять значну кількість лігнінових комплексів, що потребує прискорення процесів мінералізації рослинних решток та збалансування їх елементного поживного складу.

Дані досліджень свідчать, що системи альтернативного органічного удобрення сівозмін можуть бути ефективними у збереженні та відтворенні родючості грунтів [24, 47]. За заорювання на добриво усієї побічної продукції сільськогосподарських культур у сівозміні формувався додатній баланс гумусу з річним збільшенням органічної речовини у грунті на 0,22–0,39 т/га. У разі відчуження побічної продукції з полів у сівозміні баланс гумусу у грунті формувався від'ємним, при цьому в посівах кукурудзи він був найбільш відємним – 2,08-3,73 т/га [94].

Деякі дослідники вважають, що за достатньої кількості опадів улітку ефективним у відтворенні органічної речовини грунту є поєднане внесення побічної продукції та пожнивних сидератів. Додавання мінеральних добрив до органічного компонента, оптимізація доз добрив та їх складу, збільшення частки азоту у складі мінеральних добрив сприяє гумусоутворенню та забезпечує позитивну сезонну динаміку з відновлення органічної речовини у грунті [3, 55].

Окрім альтернативного удобрення структуру сучасних сівозмін

необхідно наповнювати бобовими та зерно-бовими культурами, збільшуючи, тим самим, частку біологічного азоту у грунті та активуючи процеси гумусоутворення [125]. За даними Петрової О.Т. [87] найбільш оптимальною для вітворення гумусу грунту є плодозмінна сівозміна. Внесення на 1 га ріллі 6 т гною + $N_{50}P_{66}K_{66}$ у плодозмінній сівозміні підвищило на кінець ротації вміст гумусу у ґрунті порівняно з висхідним показником на 0,16% і було достатнім для відтворення органічної речовини у чорноземі вилугуваному.

Іншою умовою, що сприяє збереженню органічної речовини у грунті є низька частка просапних культур у сівозміні [90, 100]. За даними Сеньків Г.Й., Дуки Л.В., Мацишина М.М. [103] пшениця яра, овес та ячмінь спричиняють мінералізацію гумусу упродовж вегетації – 0,5 т/га, пшениця озима – 0,7 т/га, кукурудза – 1,0 т/га, буряки цукрові – 1,5 т/га. За зростання у сівозміні частки просапних культур на 10% річні втрати гумусу у ґрунті збільшуються на 0,2-0,4 т/га.

За даними Цвея Я.П., Кісілєвської М.О., Ременюка Ю.О. [116] збільшення частки просапних культур у сівозміні на 20% в умовах нестійкого зволоження підвищило втрати гумусу у ґрунті за три ротації сівозміни на 0,08-0,20%.

Дослідження проведені у різних типах сівозмін показали, що за 20 років у чорноземі типовому в умовах плодозмінної сівозміни втрати гумусу на контролі без добрив становили 0,16%, зерно-просапної – 0,20%, просапної – 0,40%. На думку дослідників, для збереження гумусу у грунті і досягнення його врівноваженого балансу необхідно збільшувати дози внесення органічних добрив та мінеральних добрив у сівозмінах, де частка просапних культур є вищою. При цьому дослідники відмічають, що плодозмінна сівозміна найкраще зберігає гумус у грунті, а просапна – найгірше [47, 121].

Отже, в сучасному землеробстві у сівозмінах з короткою ротацією для збереження і відтворення гумусу у грунті необхідно широко застосовувати альтернативні органічні добрива – побічну продукцію та сидерати, збільшувати частку бобових культур та вносити мінеральні добрива збагачені

на азот та в оптимальних дозах.

Про позитивну практику альтернативного органо-мінерального удобрення сільськогосподарських культур, впливу альтернативних добрив на врожайність свідчать чисельні дослідження [6, 101, 115]. За даними Я.П. Цвея, В.П. Карачки, О.Т. Петрової [114] внесення під буряки цукрові 5 т/га соломи + $N_{80}P_{100}K_{100}$ визначено ефективним в умовах нестійкого зволоження на чорноземі вилугуваному, що супроводжувалось підвищенням врожайності коренеплодів на 15,7 т/га, збору цукру – на 3,4 т/га.

За умов достатнього зволоження ефективним під буряки цукрові, які вирощують після пшениці озимої, визначено застосування соломи пшениці, зеленої маси гірчиці білої та мінеральних добрив [6, 7, 86]. Проміжна сидеральна культура гірчиця біла за достатнього зволоження формує вегетативну масу понад 20 т/га. Використання її на добриво у поєднанні з соломою та мінеральними добривами підвищило врожайність буряків цукрових – на 18,2-23,4 т/га, збір цукру – на 4,0-4,7 т/га [124].

На тлі вирощування у сівозмінах бобових та зерно-бобових культур ефективність застосування на добриво побічної продукції, проміжних сидеральних культур та мінеральних добрив значно зростає. За умов біологізації сівозміни зростає наповнення грунту біологічним азотом, посилюються процеси гуміфікації, покращується структура, фізико-хімічні та водно-фізичні властивості грунту, що сприяє зростанню врожайності сільськогосподарських культур та формує сталі засади їх вирощування [156].

Альтернативні органо-мінеральні системи удобрення сівозмін за збалансованих доз застосування мінеральних добрив здатні формувати високий рівень забезпечення сільськогосподарських культур азотом, достатнє калійне живлення та не потребуть високих доз фосфорних добрив. Поєднане застосування побічна продукція + $N_{53}P_{42}K_{42}$ на 1 га ріллі формувало у плодозмінній і просапній сівозмінах баланс азоту з інтенсивністю балансу – 94-103%, позитивний баланс фосфору з інтенсивністю балансу – 112-124% та дефіцит калію 33-41 кг/га з інтенсивністю балансу 73-78% [41, 95].

Ефективність альтернативних органо-мінеральних систем удобрення залежить від їх здатності накопичувати, зберігати та раціонально використовувати вологу ґрунту [12, 18, 25, 44, 100]. Дослідження Носка Б.С., Медвєдєва В.В., Непочатова О.П. [78] показали, що тільки системи удобрення, які містять органічний компонент здатні покращити водні властивості ґрунту. Органічні добрива комплексно впливають на ґрунт. Вони сприяють утворенню гумусу, покращують структуру та збільшують капілярний простір грунту, що забезпечує краще накопичення вологи та її використання. Застосування органічних добрив у системі удобрення культур сівозміни знизило використання вологи на формування одиниці біологічного врожаю на 30%.

В умовах плодозмінної сівозміни застосування упродовж 15 років на 1 га ріллі 5 т побічної продукції істотно розущільнило ґрунт, покращило агрегатний стан, посилило водостійкість грунтових агрегатів, збільшило накопичення вологи у ґрунті та забезпечило її ефективне використання рослинами [26, 27, 35].

В системі удобрення сільськогосподарських культур важливе місце посідає спосіб та глибина внесення добрив [21, 82]. За даними Цвея Я.П., Бойчука О.В., Мартинюка Л.С. [108] у короткоротаційних сівозмінах внесення фосфорних і калійних добрив найефективнішим визначено з осені під глибоку оранку, азотних за недостатнього зволоження – з осені під оранку, нестійкого та достатнього зволоження – весною у передпосівну культивацію.

Більшість дослідників вважає, що глибока оранка на 30-32 см як спосіб заробляння добрив є найефективнішою під буряки цукрові [91], [117], [170]. Вона формує оптимальну грунтову структуру, рівномірно розподіляє елементи живлення в орному шарі, посилює біологічну активність та створює сприятливі умови мінерального живлення рослин упродовж вегетації [171]. Зменшення глибини основного обробітку ґрунту та глибини внесення добрив до 12-14 см обумовило зниження врожайності коренеплодів

– на 1,7 т/га, збору цукру – на 0,28 т/га [108]. Причиною зниження продуктивності буряків цукрових є погіршення фізичних властивостей грунту, біологічної активності внизу орного шару та мінерального живлення рослин [144, 165].

Отже, структура сівозмін насичена бобовими культурами та органо-мінеральна система удобрення збагачена на органічний компонент є провідними факторами, що забезпечують збереження та відтворення родючості грунтів, сприяють істотному підвищенню врожайності сільськогосподарських культур та забезпечують сталі засади їх вирощування. В умовах сучасних короткоротаційних сівозмін та дефіциту гною актуальності набувають питання альтернативного органо-мінерального удобрення культур та способів внесення добрив. У нових реаліях виробництва ці питання недостатньо вивчені, що спонукало до проведення досліджень за напрямом альтернативного удобрення культур у сівозмінах та на тлі їх біологізації.

РОЗДІЛ 2
УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Ґрунтові умови та методика проведення досліджень

Дослідження проводили упродовж 2022-2024 рр. в умовах стаціонарного досліду на Веселоподільській ДСС та упродовж 2023-2025 рр. у тимчасовому досліді на Іванівській ДСС. У стаціонарному досліді площа посівної ділянки 250 м^2, облікової – 100 м^2, повторність – чотириразова; тимчасовому досліді – 75 м^2, 50 м^2 та триразова повторність, відповідно.

На Веселоподільській ДСС грунт дослідного поля був чорнозем типовий слабкосолонцюватий, який мав таку агрохімічну характеристику верхнього 0-30 см шару: pH сольове – 7,4-7,6, вміст гумусу за Тюріним – 4,4-4,9%, рухомого фосфору за Мачигіним – 41-50 мг/кг ґрунту, рухомого калію за Чиріковим – 102-130 мг/кг ґрунту, лужногідролізованого азоту за Корнфілдом – 130-135 мг/кг ґрунту.

На Іванівській ДСС грунт дослідного поля був чорнозем типовий важкосуглинковий, який мав таку агрохімічну характеристику верхнього 0-30 см шару: pH сольове – 6,5-6,7, гумус за Тюріним – 5,0-5,1%, лужногідролізований азот за Корнфілдом – 146 мг/кг ґрунту, рухомий фосфор і калій за Чиріковим – відповідно 136-140 та 84-90 мг/кг ґрунту.

У науково-дослідній роботі використовули: 1- польовий метод при закладанні польових дослідів (стаціонарного та тимчасового); 2- лабораторний метод для проведення агрохімічних аналізів ґрунту та рослин, встановлення показників родючості грунту, визначення виносу та балансу елементів живлення; 3- математично-статистичний метод для аналізу та статистичної обробки даних досліджень, встановлення найменшої істотної різниці, визначення достовірності впливу факторів добрив та структури сівозмін на врожайність культур, обґрунтування рекомендацій виробництву щодо ефективності застосування добрив та обробітків ґрунту у короткоротаційних сівозмінах.

Аналізи ґрунту та рослин проводили у лабораторії агрохімічних досліджень Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. Лабораторія забезпечена необхідними реактивами, обладнанням і має фаховий персонал.

Вплив довготривалого внесення добрив та структури короткоротаційних зерно-бурякових сівозмін на родючість чорнозему типового слабкосолонцюватого, врожайність культур та продуктивність сівозмін вивчали в умовах стаціонарного польового досліду ВПДСС (табл. 2.1). Дослідження проводили у трьох типах 4-пільних сівозмін:

- плодозмінна сівозміна включала такі культури: 1 – еспарцет; 2 – пшениця озима; 3 – буряки цукрові; 4 – ячмінь ярий;

- просапна сівозміна: 1 – кукурудза на силос; 2 – пшениця озима; 3 – буряки цукрові; 4 – ячмінь ярий;

- зерно-просапна сівозміна: 1 – пшениця озима; 2 – пшениця озима; 3 – буряки цукрові; 4 – горох.

Система удобрення культур у сівозмінах включала чотири варіанти: 1 – контроль (без добрив), 2 – 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6,}$ 3 – 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6,}$ 4 – Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$.

В умовах тимчасового польового досліду ІДСС вивчали вплив способів обробітку ґрунту та системи удобрення на вологозабезпеченість чорнозему типового та врожайність буряків цукрових. Під буряки цукрові застосовували два способи основного обробітку ґрунту: мілкий обробіток на глибину 12-14 см та оранку на 30-32 см. Дослідження проводили на тлі дози мінеральних добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$ (фон) та альтернативного органо-мінерального удобрення, яке передбачало додаткове внесення соломи ($N_{90}P_{90}K_{90}$ + 5 т/га соломи) та її поєднання гуматним мікродобривом ($N_{90}P_{90}K_{90}$ + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га) (табл. 2.2).

Таблиця 2.1

Стаціонарний польовий дослід з вивчення впливу систем удобрення на родючість чорнозему типового та продуктивність короткоротаційних сівозмін зони недостатнього зволоження Лівобережного Лісостепу, ВПДСС, 2022-2024 рр.

№ вар.	Удобрення на 1 га сівозміни	Удобрення під сільськогосподарські культури			
		Поле 1	Поле 2	Поле 3	Поле 4
Плодозмінна сівозміна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)					
9	Контроль (без добрив)	без добрив	без добрив	без добрив	без добрив
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	без добрив	$N_{45}P_{45}K_{45}$	25 т/га гною + $N_{90}P_{90}K_{90}$	без добрив
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	солома ячменю	$N_{45}P_{45}K_{45}$	25 т/га гною + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + солома	гичка
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	солома ячменю	$N_{45}P_{45}K_{45}$	$N_{140}P_{90}K_{90}$ + солома	гичка
Просапна сівозміна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)					
27	Контроль (без добрив)	без добрив	без добрив	без добрив	без добрив
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	без добрив	$N_{45}P_{45}K_{45}$	25 т/га гною + $N_{90}P_{90}K_{90}$	без добрив
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	солома ячменю	$N_{45}P_{45}K_{45}$	25 т/га гною + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + солома	гичка
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	солома ячменю	$N_{45}P_{45}K_{45}$	$N_{140}P_{90}K_{90}$ + солома	гичка
Зерно-просапна сівозміна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)					
63	Контроль (без добрив)	без добрив	без добрив	без добрив	без добрив
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	без добрив	$N_{45}P_{45}K_{45}$	25 т/га гною + $N_{90}P_{90}K_{90}$	без добрив
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	солома гороху	$N_{45}P_{45}K_{45}$	25 т/га гною + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + солома	гичка
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	солома гороху	$N_{45}P_{45}K_{45}$ + солома	$N_{140}P_{90}K_{90}$ + солома	гичка

Таблиця 2.2

Тимчасовий польовий дослід з вивчення впливу добрив та глибини обробітку ґрунту на врожайність буряків цукрових, ІДСС, 2023-2025 рр.

№ вар	Глибина обробітку ґрунту (фактор А)	Добрива (фактор В)
1	Мілкий обробіток 12-14 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон
2		Фон + 5 т/га соломи
3		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га
4	Оранка 30-32 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон
5		Фон + 5 т/га соломи
6		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га

У короткоротаційних сівозмінах стаціонарного досліду ВПДСС сіяли сорт пшениці озимої – Єсенія, ячменю ярого – Аграрій, гороху – Оплот, еспарцету – Медино, гібрид буряків цукрових – Булава, гібрид кукурудзи на силос – Серенада; у тимчасовому досліді ІДСС – гібрид буряків цукрових – ІЦБ 0801. Вирощування культур у польових дослідах проводило згідно агротехніки загальноприйнятої для зони Лівобережного Лісостепу України.

Органічні та мінеральні добрива у польових дослідах вносили під основний обробіток грунту. Азотні добрива вносили у формі сечовини, фосфорні – простого суперфосфату, калійні – калію хлористого. У стаціонарному досліді вносили напіврозкладений гній ВРХ, заорювали побічну продукцію культур сівозміни. У тимчасовму досліді в якості альтернативного органічного добрива вносили солому пшениці озимої та використовували гуматне мікродобриво «Добрин» в дозі 2 л/га.

У стаціонарному досліді (ВПДСС) для встановлення показників родючості чорнозему типового слабкосолонцюватого зразки ґрунту відбирали з шарів 0-30 та 30-40 см. У стаціонарному та тимчасовому польових дослідах (ІДСС) для визначення вологозабезпечення чорнозему типового зразки ґрунту відбирали пошарово через 10 см на глибину 1,5 та 1 м з наступним визначенням вмісту вологи термостатно-ваговим методом (висушування грунту за температури 105ºС до постійної маси). Дослідження проводили згідно з методиками проведення досліджень у буряківництві [60].

Аналіз зразків грунту та рослин проводили у лабораторії агрохімічних досліджень ІБКіЦБ за методичними вказівками Інституту цукрових буряків «Збірник методів досліджень грунту і рослин» (2010) [54].

Агрохімічний аналіз ґрунтів проводили з використанням таких методик: pH сольове – на pH-метрі згідно з ДСТУ ISO 10390: 2007 [128], вміст гумусу – за Тюріним згідно з ДСТУ 4289:2004 [130], азот нітратний та амонійний – згідно з ДСТУ 4729:2007 [129], рухомий фосфор – за Мачигіним згідно з ДСТУ 4114-2002 [19] (ВПДСС), рухомий фосфор та калій – за Чиріковим згідно з ДСТУ 4115-2002 [20].

Сиру масу рослин визначали ваговим методом; вміст сухої речовини – термостатично-ваговим методом; загальний азот у рослинних зразках після мокрого озолення за Гінзбург визначали згідно з ДСТУ 7169:2010 [53], фосфор – на фотоколориметрі, калій – на полуменевому фотометрі. Біологічну врожайність сільськогосподарських культур у кормові одиниці переводили за довідником (М.М. Карпусь, 1995 р.) [51]. Надходження органічної речовини кореневих решток сільськогосподарських культур у грунт визначали згідно нормативів (О.Г. Тараріко, М.Г. Лобаса, 1998 р.) [75].

Для визначення балансу елементів живлення у сівозмінах використовували метод співставлення – порівнювали джерела надходження елементів живлення у грунт (з добривами, насінням, опадами, за рахунок симбіотичної та асимбіотичної фіксації азоту) та джерела втрат елементів живлення (винос врожаєм, газоподібні втрати та вимивання азоту). Енергетичну ефективність вирощування культур визначали за методикою Медведовського О.К., Іваненка П.І. (1988) [66].

Врожайність культур у польових дослідах визначали пробними ділянками з перерахунком на 1 га ріллі. Результати досліджень обробляли з використанням математичного і статистичного аналізів (комп’ютерна програма Statistica,), прогностичні лінійні та криволінійні моделі розробляли методом регресійного аналізу з використанням Microsoft Excel, 2013.

2.2 Агрометеорологічні умови у роки досліджень

Роки проведення досліджень характеризувались неоднозначними погодними умовами і відзначались значним потеплінням та посухістю. У 2022 році за даними метеопункту м. Хорол на Веселоподількій ДСС в умовах недостатнього зволоження за вегетаційний період випало 346 мм опадів, що на 39 мм більше середнього багаторічного показника. Середньомісячна температура місяців упродовж вегетації була менша від середнього багаторічного показника на 0,2 ºС. Це був рік досліджень, коли в умовах станції склались умови достатнього зволоження. У квітні, травні та липні температура була нижча від середнього багаторічного показника – відповідно на 0,9 ºС, 1,6 ºС та 1,0 ºС, при цьому сумарна кількість опадів за цієї місяці відповідадала середньому багаторічному показнику. Найбільш теплими були червень та серпень, коли середня місячна температура перевищила середній багаторічний показник – відповідно на 1,5 ºС та 2,5 ºС за кількості опадів в межах багаторічної норми (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Погодні умови у роки проведення досліджень

Місце проведення дослідів	Показники	Рік	Місяці						За вегетацію
			IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Іванівська ДСС	Температура повітря, С°	2023	10,7	15,9	19,7	21,7	23,5	18,4	18,3
		2024	14,7	16,0	22,6	26,0	24,2	20,8	20,7
		2025	11,9	15,6	19,2	24,4	21,1	17,1	18,2
	Середньо багаторічна температура, С°		8,0	15,1	18,7	20,4	19,4	13,7	15,9
	Опади, мм	2023	72	29	37	131	103	70	442
		2024	48	13	88	1	8	10	168
		2025	25	68	38	73	94	25	323
	Середньо багаторічні опади, мм		36	54	69	75	53	44	331
Веселопо-дільська ДСС	Температура повітря, С°	2022	9,1	14,4	21,2	20,7	23,3	13,0	17,0
		2023	10,1	15,6	19,3	21,5	23,1	17,9	17,9
		2024	13,8	15,5	21,7	25,0	22,8	19,6	19,7
	Середньо багаторічна температура, С°		10,0	16,0	19,7	21,7	20,8	15,0	17,2
	Опади, мм	2022	64	20	45	66	59	92	346
		2023	59	27	36	43	56	10	231
		2024	41	8	81	10	5	15	160
	Середньо багаторічні опади, мм		32	61	57	61	42	54	307

У 2023 році погодні умови були теплі і незначно посушливі. За вегетаційний період випало 231 мм опадів, що на 76 мм менше середнього багаторічного показника. Середньомісячна температура місяців упродовж вегетації перевищила середній багаторічний показник на 0,7 ºС. У серпні температура перевищила середній багаторічний показник на 2,3 ºС, вересні – на 2,9 ºС, кількість опадів у травні була нижчою від середнього багаторічного показника – на 34 мм, червні – на 21 мм, липні – на 18 мм, вересні – на 44 мм.

У 2024 році погодні умови на Веселоподільській ДСС були надмірно теплі і надмірно посушливі. За вегетаційний період випало 160 мм опадів, що на 147 мм менше середнього багаторічного показника. Середньомісячна температура місяців упродовж вегетації перевищила середній багаторічний показник на 2,5 ºС. Найбільш жаркими і посушливими були липень-вересень. У липні температура перевищила середній багаторічний показник на 3,3 ºС, серпні – на 2,0 ºС, вересні – на 4,6 ºС, кількість опадів у ці місяці була нижчою від середнього багаторічного показника – відповідно на 51, 37 та 39 мм. Достатньо забезпечені вологою були квітень та червень – відповідно 41 та 81 мм з перевищенням середнього багаторічного показника на 9 та 24 мм.

Визначення гідротермічного коефіцієнта Селянинова (ГТК) в умовах Веселоподільської ДСС показало, що погодні за період вегетації були неоднозначні: у 2022 році – спостерігались умови достатнього зволоження з ГТК – 1,30, у 2023 та 2024 роках середньо та сильно посушливі з ГТК – відповідно 0,72 та 0,46. 2022 рік був найбільш сприятливий для вирощування сільськогосподарських культур, температурний режим відповідав середньому багаторічному показнику, а кількість опадів була вища від норми. Проте розподіл опадів був нерівномірним упродовж вегетації, що створило у травні сильно посушливі погодні умови, червні та серпні – умови середньої посухи, натомість решта місяців відзначалась достатнім та надмірним рівнем зволоження (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Гідротермічний коефіцієнт Селянинова (ГТК) за вегетацію

Рік	Місяці						За вегетацію
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Іванівська ДСС							
2023	2,24	0,61	0,63	2,01	1,46	1,27	1,34
2024	1,09	0,27	1,30	0,02	0,11	0,16	0,45
2025	0,70	1,18	0,66	1,00	1,49	0,49	0,99
Середнє багаторічне	1,50	1,19	1,23	1,23	0,91	1,07	1,16
Веселоподільська ДСС							
2022	2,34	0,46	0,71	1,06	0,84	2,36	1,30
2023	1,95	0,58	0,62	0,67	0,81	0,19	0,72
2024	0,99	0,17	1,24	0,13	0,07	0,26	0,45
Середнє багаторічне	1,07	1,27	0,96	0,94	0,67	1,20	0,99

У 2023 році вегетаційний період був середньо посушливим зі зменшенням показника ГТК до середнього багаторічного показника на 0,27. У травні, червні та липні – погодні умови були середньо посушливі, серпні – слабко посушливі, вересені – дуже сильно посушливі, тоді як у квітні – надмірно вологі.

У 2024 році погодні умови складались найбільш сухі і несприятливі для вирощування культур, а показник ГТК був меншим від середнього багаторічного показника на 0,54, або більше, ніж удвічі. У травні, липні, серпні та вересні погодні умови були дуже сильно посушливі, натомість у квітні та червні відповідали достатньому рівню вологозабезпечення.

В умовах Іванівської ДСС погодні умови в окремі роки складувались сприятливіші для вирощування сільськогосподарських культур порівняно з ВПДСС. У 2023 році середньомісячна температура та кількість опадів упродовж вегетації істотно перевищили середній багаторічний показник: середня температура за вегетаційний період була вищою на 2,4 ºС, кількість опадів – на 111 мм. Надмірно теплими були квітень з перевищенням середнього багаторічного показника на 2,7 ºС, липень – на 1,3 ºС, серпень – на 4,1 ºС. Кількість опадів істотно перевищила середній багаторічний показник у липні – на 56 мм, серпні – на 50 мм та вересні – на 26 мм.

У 2024 році середньомісячна температура упродовж вегетації істотно перевищила середній багаторічний показник – на 4,5 ºС, натомість кількість опадів була менша – на 163 мм за абсолютних величин 20,4 ºС та 168 мм. Надмірно теплим був квітень з перевищенням середнього багаторічного показника на 6,7 ºС, надмірно теплими і посушливими були липень з перевищенням середнього багаторічного – на 5,6 ºС, серпень – на 4,8 ºС, вересень – 7,1 ºС. Кількість опадів, яка випала упродовж липня-вересня становила сумарно 28 мм, що порівняно з середнім багаторічним показником було меншим на 144 мм.

У 2025 році середньомісячна температура упродовж вегетації істотно перевищила середній багаторічний показник – на 2,3 ºС, кількість опадів була в межах норми – на 8 мм менша за абсолютних величин 18,2 ºС та 323 мм. У 2025 році надмірно теплим був квітень, липень, серпень і вересень з перевищенням середнього багаторічного показника на 3,9, 4,0, 1,7 та 3,4 ºС. опади упродовж вегетаційного періоду випадали рівномірно, що створювало сприятливі умови для росту і розвитку сільськогосподарських культур.

Гідротермічний коефіцієнт Селянинова (ГТК) в умовах ІДСС за період вегетації у 2023 році відповідав умовам достатнього зволоження з показником ГТК = 1,34, у 2024 році – умовам сильної посухи з ГТК = 0,45, у 2025 році – умовам достатнього вологозабезпечення з ГТК = 0,99. 2023 рік був найбільш сприятливий для вирощування сільськогосподарських культур. У травні та червні погодні умови були середньо посушливі, натомість решта місяців відзначалась достатнім та надмірним рівнем зволоження.

У 2024 році погодні умови складались найбільш сухі і несприятливі для вирощування культур, а показник ГТК був меншим від середнього багаторічного показника на 0,71, або більше, ніж удвічі. У травні, липні, серпні та вересні погодні умови були дуже сильно посушливі, натомість у квітні та червні відповідали достатньому рівню вологозабезпечення.

У 2025 році погодні умови відзначались достатнім рівнем вологозабезпечення і були сприятливі для вирощування буряків цукрових.

Отже, роки проведення досліджень відзначались підвищеним температурним режимом та посушливістю погодних умов. Рік 2022 в умовах ВПДСС відрізнявся умовами достатнього зволоження та помірним температурним режимом. У 2023 році умови вегетаційного періоду на ВПДСС були теплі і посушливі, на ІДСС – надмірно теплі та вологі, у 2024 році на обох станціях умови вегетаційного періоду були надмірно теплі і дуже суші, особливо посушлива погода спостерігалась у другій половині вегетації. У 2025 році на ІДСС вегетаційний період був надмірно теплим і достатньо забезпечений опадами.

Висновки до розділу 2

1. Ґрунтовий покрив місця проведення досліджень був типовим для Лівобережного Лісостепу України.

2. Роки досліджень на обох дослідно-селекційних станціях відзначались підвищеними температурами та переважно дефіцитним вологозабезпеченням, окрім 2022 року, коли на ВПДСС склались умови достатнього зволоження. Найбільш посушливим на обох станціях був 2024 рік, коли спостерігались сильно посушливі погодні умови. Наукові дані отримані у роки досліджень дозволяють встановити ефективну систему удобрення, структуру сівозмін та обробіток грунту для отримання сталих врожаїв сільськогосподарських культур в епоху глобального потепління.

3. При проведенні польових та аналітичних досліджень були використанні загальноприйняті методики, які відповідали завданням дисертаційної роботи та забезпечили їх виконання.

РОЗДІЛ 3
СТАН РОДЮЧОСТІ ТА ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЧОРНОЗЕМНИХ ГРУНТІВ ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ І СІВОЗМІН

3.1 Вплив добрив та сівозмін на стан гумусу чорнозему типового слабкосолонцюватого

Збереження та відтворення вмісту гумусу в чорноземних грунтах є одним із нагальних викликів сьогодення. Зменшення більш ніж у десять разів доз внесення гною за останні 25-30 років порушили баланс між процесами утворення гумусу та його мінералізацією, істотно посиливши мінералізаційні процеси. Наслідком такої агрономічної практики стало падіння вмісту гумусу у грунтах України, погіршення поживного режиму, посилення процесів деграції грунтів.

Відновлення балансу гумусу, урівноваження процесів мінералізації та його відтворення лежить у площині збільшення обсягів надходження органічної речовини у грунт. За гострого дефіциту гною в останні роки широко використовують альтернативні органічні добрива де найбільш дешевим засобом збагачення грунтів органічною речовиною є використання на добриво побічної продукції сільськогосподарських культур.

В умовах стаціонарного польового досліду Веселоподільської ДСС застосування на добриво побічної продукції сільськогосподарських культур вивчається більш ніж 45 років у сівозмінах різної структури. Результати досліджень показали, що надходження органічної речовини у ґрунт залежало від структури сівозмін, врожайності сільськогосподарських культур та обсягів застосування гною. Основними джерелами органіки для ґрунту слугували пожнивні та кореневі рештки, побічна продукція сільськогосподарських культур та внесення гною. Обсяги надходження органічної речовини у ґрунт залежали від системи удобрення. На контролі без добрив поповнення ґрунту органікою відбувалось лише за рахунок

пожнивних та кореневих решток. Це найменші обсяги надходження органічних решток у ґрунт і вони залежали від структури сівозмін. У плодозмінній сівозміні органічної речовини надходило у ґрунт 0,39 т/га у вуглецевому еквіваленті, у зерно-просапній сівозміні – 0,31, просапній – 0,54 т/га сівозмінної площі. Плодозмінна та просапна сівозміни відзначались кращим наповненням ґрунту органікою, ніж зерно-просапна сівозміна, що досягалось за рахунок наявності культур еспарцету та кукурудзи на силос у структурі зазначених сівозмін. Кукурудза на силос за рахунок добре розвиненої кореневої системи залишала найбільше органіки у ґрунті – 1,16 т/га вуглецю, на другому місці був еспарцет – 0,50 т/га, за ним пшениця озима та ячмінь ярий – 0,39-0,42 т/га вуглецю. Найменше органіки у ґрунті у формі кореневих решток залишали буряки цукрові – 0,21-0,22 т/га вуглецю (табл. 3.1).

Поповнення ґрунту органічною речовиною істотно зростало за внесення гною. Внесення 25 т/га гною під буряки цукрові збільшило в усіх сівозмінах обсяги надходження органіки у ґрунт під цю культуру на 3,19 т/га вуглецю, або в розрізі сівозміни – на 0,80 т/га сівозмінної площі. Загальні обсяги надходження вуглецю у ґрунт у плодозмінній сівозміні становили 1,30 т/га, зерно-просапній – 1,17, просапній – 1,44 т/га сівозмінної площі. Порівняно з контролем без добрив обсяги надходження органічної речовини у ґрунт у вуглецевому еквіваленті на 1 га сівозмінної площі зросли у 2,9-3,2 рази. При цьому у складі гною вуглецю щорічно надходило у 1,5-2,6 рази більше, ніж у складі кореневих решток.

Вагомим джерелом поповнення ґрунту органічною речовиною служила побічна продукція сільськогосподарських культур. У варіанті з внесенням побічної продукції + $N_{46}P_{34}K_{34}$ на 1 га сівозміни обсяги надходження вуглецю у ґрунт у плодозмінній сівозміні становили 1,81 т/га, зерно-просапній – 1,82/га, просапній – 1,81 т/га сівозмінної площі. У розрізі сівозмін обсяги надходження органічної речовини у ґрунт вирівнювались, що спричинено різною врожайністю сільськогосподарських культур у сівозмінах, а значить і

різними обсягами виходу побічної продукції. За рахунок заорювання побічної продукції обсяги надходження органічної речовини у ґрунт у вуглецевому еквіваленті зросли порівняно з контролем без добрив у 3,4-5,9 разів. При цьому у складі побічної продукції вуглецю щорічно надходило у 2,4-4,9 рази більше, ніж у складі кореневих решток.

Таблиця 3.1

Надходження вуглецю органічної речовини у ґрунт у складі кореневих решток, побічної продукції та гною залежно від удобрення і структури сівозмін, ВПДСС, 2022-2024 рр., т/га сівозмінної площі

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни	Культури сівозміни				На 1 га сівозміни
		пшениця озима	буряки цукрові	ячмінь ярий (пшениця озима)	- еспарцет; -кукурудза на силос; - горох	
Плодозмінна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)						
9	Контроль (без добрив)	0,42	0,22	0,41	0,50	0,39
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0,53	3,49	0,50	0,67	1,30
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	2,69	4,71	2,43	0,69	2,63
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	2,69	1,48	2,48	0,57	1,81
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)						
27	Контроль (без добрив)	0,40	0,21	0,39	1,16	0,54
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0,45	3,46	0,47	1,38	1,44
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	2,35	4,54	2,32	1,40	2,65
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	2,24	1,33	2,28	1,39	1,81
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)						
63	Контроль (без добрив)	0,39	0,21	0,38	0,24	0,31
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0,48	3,45	0,47	0,28	1,17
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	2,30	4,50	2,34	1,38	2,63
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	2,23	1,33	2,32	1,39	1,82

Найбільші обсяги надходження органічної речовини до орного 0-30 см шару чорнозему типового слабкосолонцюватого спостерігали за внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$: у плодозмінній сівозміні

становили 2,63 т/га, зерно-просапній – 2,63, просапній – 2,65 т/га сівозмінної площі. У розрізі сівозмін обсяги надходження органічної речовини у ґрунт були співставні і у вуглецевому еквіваленті зросли порівняно з контролем без добрив у 4,9-8,5 разів. При цьому у складі гною і побічної продукції вуглецю щорічно надходило у 3,9-7,5 разів більше, ніж у складі кореневих решток.

Отже, застосування гною і заорювання на добриво побічної продукції культур сівозміни збільшило у декілька разів обсяги надходження органічної речовини у ґрунт. При цьому обсяги надходження органічної речовини за заорювання побічної продукції були у 1,5-1,8 разів більші, ніж від внесення 6,3 т гною на 1 га сівозміни.

Результати досліджень показали, що надходження органічної речовини у ґрунт істотно впливало на вміст гумусу в чорноземі типовому слабкосолонцюватому. За довготривалого понад 45 років вирощування культур у чотирипільних зерно-бурякових сівозмінах без внесення добрив вміст гумусу в орному 0-30 см шарі був найменшим: у плодозмінній сівозміні – 3,81%, зерно-просапній – 3,60%, просапній – 3,52%. Наявність багаторічних трав у структурі чотирипільних сівозмін зменшило інтенсивність обробітків, збільшило надходження у ґрунт органічних решток, що запобігало швидкій мінералізації гумусу. У плодозмінній сівозміні вміст гумусу за 46-річного використання був вищим порівняно із зерно-просапною сівозміною – на 0,21%, просапною – 0,29% (табл. 3.2).

Застосування упродовж 46 років традиційної на основі гною органо-мінеральної системи удобрення забезпечило вміст гумусу у ґрунті у плодозмінній сівозміні – 4,70%, зерно-просапній – 4,51%, просапній – 4,46%. Порівняно з контролем без добрив внесення 6,3 т гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни підвищило вміст гумусу у чорноземі типовому у плодозмінній сівозміні – на 0,89%, зерно-просапній – на 0,91%, просапній – на 0,94%. При цьому вміст гумусу у плодозмінній сівозміні порівняно із зерно-просапною та просапною був вищим на 0,19-0,24%.

Таблиця 3.2

Вміст гумусу у 0-30 см шарі чорнозему типового за різного удобрення буряків цукрових і структури сівозмін, ВПДСС, %

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни (фактор А)	Роки			Середнє 2022-2024 рр.
		2022	2023	2024	
Плодозмінна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий) (фактор В)					
9	Контроль (без добрив)	3,82	3,83	3,77	3,81
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	4,62	4,76	4,73	4,70
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	4,74	4,82	4,78	4,78
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	4,66	4,77	4,73	4,72
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)					
27	Контроль (без добрив)	3,71	3,44	3,40	3,52
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	4,35	4,54	4,49	4,46
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	4,47	4,58	4,53	4,53
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	4,40	4,51	4,48	4,46
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)					
63	Контроль (без добрив)	3,79	3,53	3,48	3,60
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	4,46	4,57	4,50	4,51
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	4,54	4,66	4,60	4,60
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	4,47	4,59	4,53	4,53
$НІР_{05}$ (фактор А)		0,14	0,16	0,15	0,15
$НІР_{05}$ (фактор В)		0,06	0,08	0,07	0,06
$НІР_{05}$ (фактор А+В)		0,20	0,24	0,21	0,21

Ефективним в усіх сівозмінах визначено поєднане внесення побічної продукції сільськогосподарських культур та мінеральних добрив. Внесення на 1 га сівозміни побічної продукції + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ істотно збільшило вміст гумусу у ґрунті. У плодозмінній сівозміні вміст гумусу становив 4,72%, зерно-просапній – 4,53%, просапній – 4,46%, що порівняно з контролем без добрив визначено вищим – відповідно на 0,91%, 0,93% та 0,94%. При цьому вміст гумусу у плодозмінній сівозміні перевищував його вміст порівняно із зерно-просапною сівозміною – на 0,19%, просапною – на 0,26%.

Найвищий вміст гумусу в орному 0-30 см шарі чорнозему типового слабкосолонцюватого спостерігали за внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни: у плодозмінній сівозміні – 4,78%, зерно-просапній – 4,60%, просапній – 4,53%. Порівняно з контролем без добрив вміст гумусу у ґрунті був вищим у розрізі сівозмін – відповідно на 0,97%, 1,00% та 1,01%. При цьому вміст гумусу у плодозмінній сівозміні перевищував його вміст порівняно із зерно-просапною сівозміною – на 0,18%, просапною – на 0,25%.

Отже, найвищий вміст гумусу в чорноземі типовому слабкосолонцюватому досягався у плодозмінній сівозміні за 46-річного застосування 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 4,78% з перевищенням контролю без добрив на 0,97%. Застосування альтернативного органо-мінерального удобрення (побічної продукції + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$) не поступалось за ефективністю внесенню 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни у відтворенні вмісту гумусу у ґрунті.

Важливим показником, що характеризує сталість систем землеробства є коефіцієнт перетворення органічних добрив у сполуки гумусу. У наших дослідженнях був зроблений аналіз наскільки гній і побічна продукція здатні трансформуватись у гумус ґрунту за їх довготривалого застосування у сівозмінах. Для проведення аналізу вміст гумусу у ґрунті у варіантах з внесенням органічних добрив порівняли з контролем без добрив. Зростання вмісту гумусу у варіантах з органічними добривами перевели у тони на гектар за допомогою коефіцієнту рівного 33, з подальшим переведенням у вуглець гумусу перемноживши на коефіцієнт 0,56. Паралельно визначили щорічне надходження у ґрунт вуглецю органічних добрив (гною та побічної продукції) та перемноживши на 46 років визначили сумарне надходження у ґрунт органіки за цей період. Коефіцієнти гуміфікації розраховували діленням вуглецю гумусу у ґрунті, що накопичився за 46 років, на кількість вуглецю органічних добрив, що надійшла у ґрунт за зазначений період та перемножили на 100% (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Коефіцієнт гуміфікації органічних добрив у ґрунті за період 46 років залежно від системи удобрення та сівозмін, ВПДСС, 2022-2024 рр., %

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни	± гумусу до контролю		± органічних добрив «С» до контролю, т/га	Коефіцієнт гуміфікації, %
		%	т/га «С»		
Плодозмінна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)					
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0,89	16,5	41,9	39,4
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0,97	17,9	103	17,4
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0,91	16,8	65,3	25,7
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)					
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0,94	17,4	41,4	42,0
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	1,01	18,7	97,1	19,3
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0,94	17,4	58,4	29,8
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)					
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0,91	16,8	39,6	42,4
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	1,00	18,5	107	17,3
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0,99	17,2	69,5	24,7

Результати досліджень показали, що інтенсивність гуміфікації органічних сполук у ґрунті залежала переважно від виду органічних добрив і незначно залежала від структури сівозмін. За поєднаного внесення гною і мінеральних добрив коефіцієнт гуміфікації органічних сполук був найвищим у плодозмінній сівозміні – 39,4%, зерно-просапній – 42,4%, просапній – 42,0%. Близько сорока відсотків органічної речовини гною перейшла у сполуки гумусу ґрунту. Очевидно, зазначені коефіцієнти гуміфікації є завищеними, оскільки вони не враховують мінералізацію гумусу у ґрунті на контролі без добрив. Для отримання цих даних необхідний вихідний зразок ґрунту на момент закладання стаціонарного досліду. Визначення вмісту гумусу у вихідному зразку дозволило б встановити мінералізацію гумусу у ґрунті на контролі без добрив за 46 років ведення стаціонарного досліду.

Якщо б ці дані було враховано, то коефіцієнти гуміфікації гною були б значно меншими і точнішими. Проте відсутність вихідного зразка ґрунту не дозволяє провести зазначені розрахунки.

Разом з тим, даний аналіз дозволяє порівняти, як системи органо-мінерального удобрення ґрунту різняться ступенем перетворення органічної речовини добрив у гумус. Дані досліджень свідчать, що внесення побічної продукції + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни значно поступалось традиційній на основі гною системі удобрення за рівнем гуміфікації органічної речовини добрива. Коефіцієнт гуміфікації органічної речовини побічної продукції становив у плодозмінній сівозміні – 25,7%, зерно-просапній – 24,7%, просапній – 29,8%, що порівняно з внесенням гною було меншим – відповідно у 1,5, 1,7 та 1,4 рази.

Найменші коефіцієнти гуміфікації органічної речовини визначено за внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни. Внесення великих обсягів органічної речовини у ґрунт, хоча і супроводжувалось найвищим вмістом гумусу, проте коефіцієнти гуміфікації органічної речовини добрив були не достатньо високі: у плодозмінній сівозміні коефіцієнт гуміфікації становив 17,4%, зерно-просапній – 17,3%, просапній – 19,3%. Порівняно з внесенням 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни коефіцієнти гуміфікації органічної речовини добрив у розрізі зазначених вище сівозмін зменшились – відповідно у 2,3, 2,5 та 2,2 рази.

Отже, довготривале понад 45 років поєднане внесення органічних і мінеральних добрив значно підвищило вміст гумусу у чорноземі типовому слабкосолонцюватому. Найвищий вміст гумусу у ґрунті спостерігали у плодозмінній сівозміні за внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 4,78% з перевищенням контролю без добрив на 0,97%.

Ефективним у чотирипільних сівозмінах визначено внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$, а також побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни. Вміст гумусу у ґрунті у плодозмінній сівозміні за традиційного та

альтернативного органо-мінерального удобрення був співставним і становив 2,70-4,72%. У зерно-просапній та просапній сівозмінах вміст гумусу був меншим на 0,19% та 0,24-0,26%.

Коефіцієнти гуміфікації органічних добрив найвищими були за внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 39,4-42,4%, найменшими за внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 17,3-19,3%. Інтенсивному гумусоутворенню сприяло внесення побічної продукції + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни і супроводжувалось коефіцієнтами гуміфікації – 24,7-29,8%. Структура сівозмін впливала на обсяги надходження органічної речовини у ґрунт, однак її вплив на гуміфікацію органічних добрив у ґрунті був незначний.

3.2 Поживний режим чорноземних грунтів залежно від удобрення і сівозмін

3.2.1 Вміст поживних речовин в чорноземі типовому слабкосолонцюватому

Азот є одним із головних елементів живлення в онтогенезі сільськогопосдарських культур. Рослини використовують азоту із грунту у формі іонів – азоту амонійного та нітратного. Достатня кількість цих форм азоту у грунті впливає на динаміку росту і розвитку рослин, а добрива є вагомим чинником у підвищенні його вмісту у грунті.

Результати досліджень у стаціонарному польовому досліді Веселоподільської ДСС показали, що за 46 річного вирощування сільськогосподарських культур у сівозмінах без внесення добрив вміст нітратного азоту у ґрунті був найменшим. У середньому за 2022-2024 роки в орному 0-30 см шарі плодозмінної сівозміни містилось 12,9 мг/кг, зерно-просапної – 11,0, просапної – 10,8 мг/кг ґрунту. По роках досліджень вміст нітратного азоту у ґрунті у весняний період коливався від 7,2 до 15,9 мг/кг ґрунту. У 2022 та 2023 роках вміст нітратного азоту був вищий. У ці роки весна була більш вологою, що створювало кращі умови нітрифікації. Натомість у 2024 році за більш посушливих умов у весняний період процеси

нітрифікації, очевидно, були менш інтенсивні, що супроводжувалось найменшим вмістом нітратного азоту у ґрунті. У підорному 30-40 см шарі вміст нітратного азоту у ґрунті в розрізі сівозмін варіював від 11,6 мг/кг у плодозмінній сівозміні до 9,6-9,7 мг/кг ґрунту у просапній та зерно-просапній сівозмінах. Вищий вміст нітратного азоту у плодозмінній сівозміні, очевидно, є наслідком мінералізації біологічного азоту, який накопичують у ґрунті бобові культури (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Вміст нітратного азоту у чорноземі типовому на початок вегетації буряків цукрових залежно від удобрення і сівозмін, ВПДСС, мг/кг ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни (фактор А)	Шар ґрунту, см	Роки			Середнє 2022-2024 рр.
			2022	2023	2024	
Плодозмінна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий) (фактор В)						
9	Контроль (без добрив)	0-30	15,6	15,9	7,2	12,9
		30-40	13,1	15,2	6,0	11,6
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	21,1	18,0	9,5	16,2
		30-40	17,6	17,1	9,4	14,7
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	17,7	20,4	9,0	15,7
		30-40	13,3	16,9	9,4	13,2
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	17,3	17,7	8,8	14,6
		30-40	13,8	15,6	7,8	12,4
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)						
27	Контроль (без добрив)	0-30	11,0	14,4	7,0	10,8
		30-40	9,5	12,9	6,4	9,6
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	14,7	16,9	10,1	13,9
		30-40	12,7	14,0	6,9	11,2
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	11,6	17,6	9,2	12,8
		30-40	13,0	13,5	5,9	10,8
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	10,8	15,8	7,9	11,5
		30-40	11,5	12,0	6,2	9,9
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)						
63	Контроль (без добрив)	0-30	11,7	14,0	7,3	11,0
		30-40	9,7	13,0	6,4	9,7
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	19,0	15,7	9,4	14,7
		30-40	12,3	14,5	6,8	11,2
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	16,2	18,2	8,8	14,4
		30-40	11,1	14,5	6,2	10,6
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	15,4	16,0	7,0	12,8
		30-40	9,9	14,3	6,1	10,1
$НІР_{05}$ (фактор А)			0,5	0,5	0,4	0,4
$НІР_{05}$ (фактор В)			0,3	0,2	0,1	0,2
$НІР_{05}$ (фактор А+В)			0,8	0,7	0,5	0,6

Вміст нітратного азоту у чорноземі типовому слабкосолонцюватому значно підвищувався за довготривалого застосування органо-мінеральних систем удобрення. За традиційної системи удобрення з внесенням 6,3 т гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни вміст нітратного азоту в 0-30 см шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні становив 16,2 мг/кг, зерно-просапній – 14,7, просапній – 13,9 мг/кг ґрунту. Порівняно з контролем без добрив традиційна органо-мінеральна система удобрення в середньому за 2022-2024 роки підвищила вміст нітратного азоту в 0-30 см шарі ґрунту плодозмінної сівозміни – на 3,3 мг/кг, зерно-просапної – на 3,7, просапної – на 3,1 мг/кг ґрунту. Застосування добрив підвищило порівняно з контролем без добрив вміст нітратного азоту у підорному 30-40 см шарі: у плодозмінній сівозміні – на 3,1 мг/кг, зерно-просапній – на 1,5, просапній – на 1,6 мг/кг ґрунту, що вказує на рухомість нітратного азоту у ґрунті.

Менш вираженим підвищення вмісту нітратного азоту у чорноземі типовому слабкосолонцюватому визначено за альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. У середньому за 2022-2024 роки за внесення на 1 га сівозміни побічної продукції + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ вміст нітратного азоту в 0-30 см шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні становив 14,6 мг/кг, зерно-просапній – 12,8, просапній – 11,5 мг/кг ґрунту. Порівняно з контролем без добрив альтернативна органо-мінеральна система удобрення підвищила вміст нітратного азоту в 0-30 см шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні – на 1,7 мг/кг, зерно-просапної – на 1,8, просапної – на 0,7 мг/кг ґрунту. У підорному 30-40 см шарі вміст нітратного азоту до контролю без добрив підвищився у розрізі сівозмін на 0,3-0,8 мг/кг ґрунту, що було в межах похибки досліду.

Підвищення вмісту нітратного азоту у чорноземі типовому слабкосолонцюватому спостерігали за збагаченої на органічний компонент змішаної органо-мінеральної системи удобрення. За внесення на 1 га сівозміни 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ вміст нітратного азоту в 0-30 см шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні становив 15,7 мг/кг, зерно-просапній – 14,4, просапній – 12,8 мг/кг ґрунту. Порівняно з контролем

без добрив вміст нітратного азоту у ґрунті у шарі 0-30 см підвищився у розрізі сівозмін – на 2,0-3,4 мг/кг, шарі 30-40 см – на 0,9-1,6 мг/кг ґрунту. У плодозмінній сівозміні за змішаної органо-мінеральної системи удобрення вміст нітратного азоту зберігався вищим, що, очевидно, досягалось за рахунок запасів біологічного азоту.

Отже, найвищі запаси нітратного азоту в чорноземі типовому слабкосолонцюватому у весняний період досягались у плодозмінній короткоротаційній зерно-буряковій сівозміні за традиційної на основі гною органо-мінеральної системи удобрення: шарі 0-30 см – 16,2, шарі 30-40 см – 14,7 мг/кг ґрунту. Додавання побічної продукції до традиційного органо-мінерального удобрення чи внесення на 1 га сівозміни побічної продукції + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ зменшило вміст нітратного азоту у ґрунті, що може бути наслідком посилення процесів іммобілізації азоту. У плодозмінній сівозміні вміст нітратного азоту у ґрунті був вищим порівняно з просапною та зерно-просапною сівозмінами, що є наслідком додаткового накопичення азоту у ґрунті за рахунок симбіотичної азотфіксації.

Вивчення вмісту амонійного азоту в чорноземі типовому слабкосолонцюватому показало, що на контролі без добрив у середньому за 2022-2024 роки в орному 0-30 см шарі плодозмінної сівозміни містилось 11,0 мг/кг, зерно-просапної – 10,2, просапної – 9,5 мг/кг ґрунту. По роках досліджень вміст амонійного азоту у ґрунті у весняний період коливався від 8,6 до 12,1 мг/кг ґрунту. Тенденція до зменшення вмісту амонійного азоту у ґрунті спостерігалась у 2024 році – 9,4-9,7 мг/кг ґрунту, тоді як у 2022 та 2023 роках його вміст перевищував 10 мг/кг, за максимального показника у плодозмінній сівозміні у 2023 році – 12,1 мг/кг грунту. У підорному 30-40 см шарі вміст амонійного азоту у ґрунті в розрізі сівозмін становив 7,0-8,0 мг/кг грунту, що порівняно з орним шаром було меншим у 1,3-1,4 рази (табл. 3.5).

Вміст амонійного азоту у чорноземі типовому слабкосолонцюватому значно підвищувався за застосування органо-мінеральних систем удобрення. У середньому за 2022-2024 роки за внесення 6,3 т гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га

сівозміни вміст амонійного азоту в 0-30 см шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні становив 12,4 мг/кг, зерно-просапній – 11,9, просапній – 10,7 мг/кг ґрунту. Порівняно з контролем без добрив традиційна органо-мінеральна система удобрення у весняний період підвищила вміст амонійного азоту в 0-30 см шарі ґрунту у розрізі сівозмін – на 1,2-1,7 мг/кг ґрунту. У підорному 30-40 см шарі вміст амонійного азоту у грунті у розрізі сівозмін становив 7,4-8,0 мг/кг ґрунту, що було на рівні контролю без добрив.

Таблиця 3.5

Вміст амонійного азоту у чорноземі типовому на початок вегетації буряків цукрових залежно від удобрення і сівозмін, ВПДСС, мг/кг ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни (фактор А)	Шар ґрунту, см	Роки			Середнє 2022-2024 рр.
			2022	2023	2024	
Плодозмінна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий) (фактор В)						
9	Контроль (без добрив)	0-30	11,2	12,1	9,7	11,0
		30-40	8,0	8,4	7,0	7,8
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	13,4	14,4	9,4	12,4
		30-40	7,9	8,8	7,0	7,9
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	16,7	14,9	9,2	13,6
		30-40	7,9	8,8	7,6	8,1
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	12,9	13,7	9,7	12,1
		30-40	8,2	8,6	7,2	8,0
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)						
27	Контроль (без добрив)	0-30	8,6	10,2	9,7	9,5
		30-40	6,7	8,0	6,3	7,0
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	10,7	13,5	7,9	10,7
		30-40	7,6	8,3	6,3	7,4
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	11,3	14,0	8,6	11,3
		30-40	8,5	8,4	6,2	7,7
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	9,5	13,1	8,0	10,2
		30-40	9,8	8,0	6,5	8,1
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)						
63	Контроль (без добрив)	0-30	10,4	10,8	9,4	10,2
		30-40	8,9	9,1	6,0	8,0
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	13,6	13,9	8,2	11,9
		30-40	9,1	8,5	6,4	8,0
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	14,8	15,0	8,9	12,9
		30-40	7,5	9,4	6,5	7,8
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	9,3	14,3	8,5	10,7
		30-40	7,5	9,0	6,6	7,7
$НІР_{05}$ (фактор А)			0,4	0,6	0,3	0,4
$НІР_{05}$ (фактор В)			0,2	0,2	0,1	0,1
$НІР_{05}$ (фактор А+В)			0,6	0,8	0,4	0,5

Найвищий вміст амонійного азоту в чорноземі типовому слабкосолонцюватому спотерігали за збагаченої на органічний компонент змішаної альтернативної органо-мінеральної системи удобрення. У середньому за 2022-2024 роки за внесення на 1 га сівозміни 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ вміст амонійного азоту в 0-30 см шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні становив 13,6 мг/кг, зерно-просапній – 12,9, просапній – 11,3 мг/кг ґрунту. Порівняно з контролем без добрив вміст амонійного азоту у ґрунті у шарі 0-30 см підвищився у розрізі сівозмін – на 1,8-2,7 мг/кг, шарі 30-40 см – на 0,3-0,7 мг/кг ґрунту. У плодозмінній сівозміні за змішаної органо-мінеральної системи удобрення вміст амонійного азоту був найвищим, що є наслідком симбіотичної фіксації азоту у грунті і його більш високих запасів у цьому варіанті.

За застосування альтернативної органо-мінеральної системи удобрення (побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни) вміст амонійного азоту в 0-30 см шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні становив 12,1 мг/кг, зерно-просапній – 10,7, просапній – 10,2 мг/кг ґрунту. Порівняно з контролем без добрив альтернативна органо-мінеральна система удобрення підвищила вміст амонійног азоту в 0-30 см шарі ґрунту у розрізі сівозмін – на 0,5-1,1 мг/кг ґрунту. У підорному 30-40 см шарі вміст амонійного азоту зберігався на рівні контролю без добрив.

Отже, застосування органічних та мінеральних добрив істотно підвищило вміст амонійного азоту лише у верхньому 0-30 см шарі чорнозему типового слабкосолонцюватого і не впливало на його вміст у шарі 30-40 см. Найвищі запаси амонійного азоту у грунті у весняний період спостерігали у плодозмінній сівозміні за внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни: вміст амонійного азоту в 0-30 см шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні становив 13,6 мг/кг, зерно-просапній – 12,9, просапній – 11,3 мг/кг ґрунту.

Вивчення запасів мінерального азоту у грунті (сума амонійного та нітратного азоту) показало, що весною у шарі 0-40 см на контролі без добрив

його запаси у плодозмінній сівозміні становили 98 кг/га, зерно-просапній – 83, просапній – 88 кг/га (рис. 3.1).

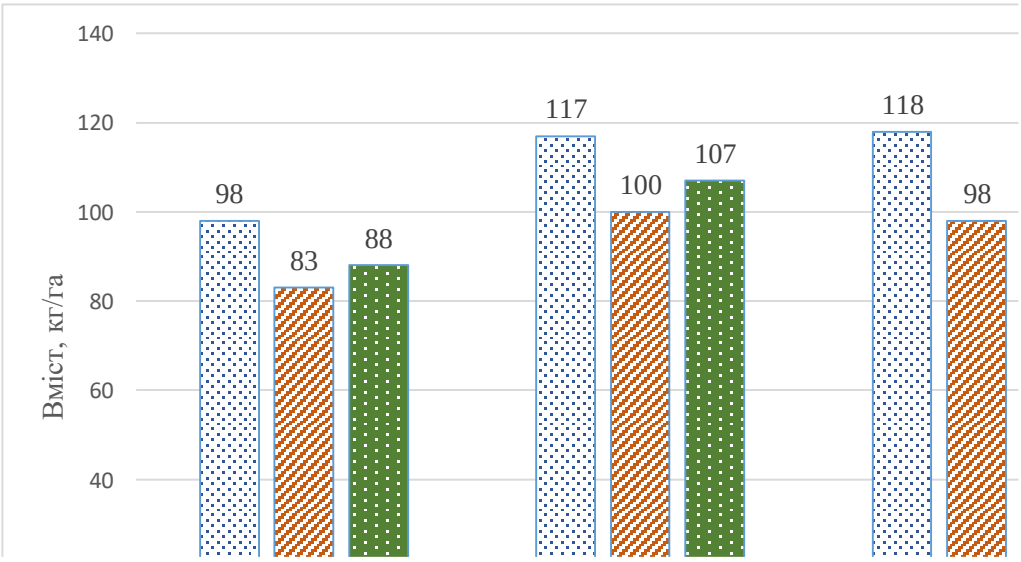


Рис. 3.1 Запаси мінерального азоту в чорноземі типовому залежно від удобрення і структури сівозмін, ВПДСС, 2022-2024, кг/га

Застосування на 1 га сівозміни 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ підвищило запаси мінерального азоту у грунті порівняно з контролем без добрив у плодозмінній сівозміні – на 19 кг/га, зерно-просапній – на 17, просапній – на 19 кг/га за абсолютних показників – відповідно 117, 100 та 107 кг/га. Співставні запаси мінерального азоту у грунті формувались у сівозмінах за змішаної збагаченої на органічну речовину системи удобрення (6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни): у плодозмінній сівозміні – 118 кг/га, зерно-просапній – 98, просапній – 104 кг/га.

За альтернативного удобрення запаси азоту у грунті в розрізі сівозмін зменшувались порівняно з традиційним органо-мінеральним удобренням і становили у плодозмінній сівозміні – 109 кг/га, зерно-просапній – 90, просапній – 95 кг/га. Зменшення запасів мінерального азоту у грунті, ймовірно, зв’язано з іммобілізацією азоту за заорювання у грунт бідної на азот побічної продукції сільськогосподарських культур.

Отже, найбільші запаси мінерального азоту у 0-40 см шарі ґрунту весною накопичувались у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах за традиційного органо-мінерального удобрення і становили – відповідно 117 та 118 кг/га. Це створювало достатнє азотне живлення рослин буряків цукрових на початкових етапах органогенезу.

Системи удобрення істотно впливали на фосфатний режим чорноземних ґрунтів. Довготривале понад 45 років вирощування сільськогосподарських культур у короткоротаційних сівозмінах ВПДСС без внесення добрив (контроль) супроводжувалось найменшим вмістом рухомих фосфатів у чорноземі типовому слабкосолонцюватому. У середньому за 2022-2024 роки в орному 0-30 см шарі плодозмінної сівозміни – 41,1 мг/кг, зерно-просапної – 40,3, просапної – 42,2 мг/кг ґрунту. По роках досліджень вміст рухомого фосфору у ґрунті у весняний період коливався від 39,1 до 43,0 мг/кг ґрунту. Найвищий показник визначено у 2022 році, коли весна була більш ранньою, ніж у інші роки. У підорному 30-40 см шарі вміст рухомого фосфору зменшився у 1,4 рази порівняно з орним шаром і у розрізі сівозмін становив 29,2-31,3 мг/кг ґрунту (табл. 3.6).

Вміст рухомого фосфору у чорноземі типовому значно зростав за довготривалого застосування органо-мінеральних систем удобрення. За традиційної системи удобрення, коли на 1 га сівозміни вносили 6,3 т гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$, вміст рухомого фосфору в 0-30 см шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні становив 48,8 мг/кг, зерно-просапній – 49,1, просапній – 50,2 мг/кг ґрунту. Порівняно з контролем без добрив традиційна органо-мінеральна система удобрення за довготривалого застосування збільшила вміст рухомого фосфору в 0-30 см шарі ґрунту плодозмінної сівозміни – на 7,7 мг/кг, зерно-просапної – на 8,8, просапної – на 8,0 мг/кг ґрунту. При цьому система удобрення практично не впливала на вміст рухомих фосфатів у підорному 30-40 см шарі, що вказує на неістотну рухомість фосфатів у ґрунті.

Таблиця 3.6

Вміст рухомого фосфору у чорноземі типовому на початок вегетації буряків цукрових залежно від удобрення і сівозмін, ВПДСС, мг/кг ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни (фактор А)	Шар ґрунту, см	Роки			Середнє 2022-2024 рр.
			2022	2023	2024	
Плодозмінна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий) (фактор В)						
9	Контроль (без добрив)	0-30	39,1	41,1	43,0	41,1
		30-40	30,2	27,4	30,0	29,2
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	48,8	45,4	52,2	48,8
		30-40	31,7	32,2	33,0	32,3
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	53,2	46,8	54,0	51,3
		30-40	32,0	31,8	32,9	32,2
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	47,5	42,7	50,9	47,0
		30-40	31,6	32,6	33,0	32,4
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)						
27	Контроль (без добрив)	0-30	40,2	43,6	42,8	42,2
		30-40	29,7	33,7	31,8	31,7
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	47,7	49,3	53,6	50,2
		30-40	32,0	30,4	33,2	31,9
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	50,3	50,2	56,4	52,3
		30-40	34,2	31,2	34,3	33,2
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	46,8	44,1	52,4	47,8
		30-40	33,5	31,5	32,2	32,4
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)						
63	Контроль (без добрив)	0-30	38,9	40,3	41,6	40,3
		30-40	31,3	28,2	30,1	29,9
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	47,8	48,8	50,7	49,1
		30-40	33,4	32,7	32,8	33,0
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	51,4	48,6	52,8	50,9
		30-40	32,6	32,2	31,5	32,1
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	46,6	42,7	48,9	46,1
		30-40	33,0	33,8	32,6	33,1
$НІР_{05}$ (фактор А)			3,0	2,2	2,5	2,4
$НІР_{05}$ (фактор В)			0,4	0,6	0,5	0,5
$НІР_{05}$ (фактор А+В)			3,4	2,8	3,1	3,0

Значне підвищення вмісту рухомих фосфатів у чорноземі типовому спостерігали за довготривалого понад 45 років застосування альтернативної органо-мінеральної системи удобрення у чотирипільних сівозмінах. За внесення на 1 га сівозміни побічної продукції + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ вміст рухомого фосфору в 0-30 см шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні становив 47,0 мг/кг, зерно-просапній – 46,1, просапній – 47,8 мг/кг ґрунту. Порівняно з контролем

без добрив альтернативна органо-мінеральна система удобрення підвищила вміст рухомого фосфору в 0-30 см шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні – на 5,9 мг/кг, зерно-просапної – на 5,8, просапної – на 5,6 мг/кг ґрунту. У підорному 30-40 см шарі вміст рухомого фосфору до контролю без добрив підвищився у розрізі сівозмін на 0,7-3,2 мг/кг ґрунту, що було в межах похибки досліду.

Найбільший вплив на фосфатний режим чорнозему типового слабкосуглинкового мала збагачена на органічний компонент змішана органо-мінеральна система удобрення. За внесення на 1 га сівозміни 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ вміст рухомого фосфору в 0-30 см шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні становив 51,3 мг/кг, зерно-просапній – 52,3, просапній – 50,9 мг/кг ґрунту. Порівняно з контролем без добрив вміст рухомого фосфору у ґрунті у шарі 0-30 см підвищився у розрізі сівозмін – на 10,1-10,6 мг/кг, шарі 30-40 см – на 1,5-3,0 мг/кг ґрунту. Дана система удобрення значно покращила забезпеченість рухомими сполуками фосфору орного шару ґрунту, натомість її вплив на вміст рухомого фосфору у підорному 30-40 см шарі був у межах статистичної похибки. Структура сівозмін не мала істотного впливу на вміст рухомих фосфатів в орному та підорному шарах чорнозему типового слабкосолонцюватого.

Отже, довготривале понад 45 років застосування органо-мінеральних систем удобрення у короткоротаційних зерно-бурякових сівозмінах значно покращило забезпеченість орного 0-30 см шару ґрунту рухомими сполуками фосфору, підвищивши їх вміст до контролю без добрив на 20-25%. Найвищий вміст рухомого фосфору у ґрунті у розрізі сівозмін досягнуто за застосування на 1 га сівозміни 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ – 50,9-52,3 мг/кг ґрунту. У підорному 30-40 см шарі ґрунту вміст рухомого фосфору незначно залежав від системи удобрення, не впливала істотно на вміст рухомого фосфору у ґрунті структура сівозмін.

Довготривале застосування органічних і мінеральних добрив значно підвищило вміст рухомого калію у чорноземі типовому

слабкосолонцюватому. За вирощування сільськогосподарських культур у короткоротаційних сівозмінах понад 45 років без внесення добрив вміст рухомого калію в чорноземі типовому слабкосолонцюватому у середньому за 2022-2024 роки був найменшим: у плодозмінній сівозміні – 103 мг/кг, зерно-просапній – 105, просапній – 107 мг/кг ґрунту. По роках досліджень вміст рухомого калію у ґрунті у весняний період незначно коливався: у 2022 році в розрізі сівозмін – 108-112 мг/кг, у 2023 році – 103-108 мг/кг, 2024 році – 97-101, ґрунту. Найвищий показник визначено у 2022 році у просапній сівозміні – 112 мг/кг ґрунту. У підорному 30-40 см шарі вміст рухомого калію був стабільним у розрізі сівозмін – 82-85 мг/кг ґрунту та був меншим порівняно з орним шаром на 22-28 мг/кг ґрунту (табл. 3.7).

Застосування гною і мінеральних добрив в дозі 6,3 т гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни підвищило вміст рухомого калію в 0-30 см шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні на 22 мг/кг, зерно-просапній – на 26, просапній – на 28 мг/кг ґрунту за абсолютних показників – відповідно 125, 131 та 135 мг/кг ґрунту. У просапній сівозміні вміст рухомого калію був вищим, ніж у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах на 4-10 мг/кг ґрунту. У підорному 30-40 см шарі вміст рухомого калію у плодозмінній сівозміні становив 92 мг/кг, зерно-просапній – 96, просапній – 93 мг/кг ґрунту. Порівняно з контролем без добрив вміст рухомого калію у підорному шарі у розрізі сівозмін підвищився – на 11-14 мг/кг ґрунту, що засвідчує міграцію калію добрив вглиб ґрунтового профілю.

Досить ефективною у покращенні калійного режиму чорнозему типового визначено альтернативну органо-мінеральну систему удобрення. В середньому за 2022-2024 роки за внесення на 1 га сівозміни побічної продукції + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ вміст рухомого калію в 0-30 см шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні становив 130 мг/кг, зерно-просапній – 137, просапній – 138 мг/кг ґрунту. Порівняно з контролем без добрив альтернативна органо-мінеральна система удобрення підвищила вміст рухомого калію в 0-30 см шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні – на 27 мг/кг, зерно-просапної – на 32,

просапної – на 31 мг/кг ґрунту. У підорному 30-40 см шарі вміст рухомого калію до контролю без добрив підвищився у розрізі сівозмін на 9-13 мг/кг ґрунту. За вмістом рухомого калію в орному та підорному шарах ґрунту альтернативна органо-мінеральна система удобрення не поступалась внесенню гною і мінеральних добрив. Очевидно, висока ефективність альтернативного органо-мінерального удобрення обумовлена високою рециркуляцією калію за заорювання побічної продукції у ґрунт.

Таблиця 3.7

Вміст рухомого калію у чорноземі типовому на початок вегетації буряків цукрових залежно від удобрення і сівозмін, ВПДСС, мг/кг ґрунту

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни (фактор А)	Шар ґрунту, см	Роки			Середнє 2022-2024 рр.
			2022	2023	2024	
Плодозмінна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий) (фактор В)						
9	Контроль (без добрив)	0-30	110	103	97	103
		30-40	85	78	80	81
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	128	126	120	125
		30-40	91	94	90	92
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	147	142	137	142
		30-40	93	97	93	94
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	133	130	126	130
		30-40	90	92	89	90
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)						
27	Контроль (без добрив)	0-30	112	108	101	107
		30-40	82	77	79	79
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	134	142	130	135
		30-40	89	97	92	93
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	147	147	137	144
		30-40	93	96	94	94
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	132	147	135	138
		30-40	90	94	91	92
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)						
63	Контроль (без добрив)	0-30	108	107	100	105
		30-40	84	80	81	82
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	134	132	126	131
		30-40	92	101	94	96
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	149	145	140	145
		30-40	95	99	96	97
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0-30	138	138	137	137
		30-40	92	97	96	95
$НІР_{05}$ (фактор А)			7	8	6	7
$НІР_{05}$ (фактор В)			1	2	2	2
$НІР_{05}$ (фактор А+В)			9	10	8	9

Найвищий вміст рухомого калію у чорноземі типовому слабкосуглинковому визначено за внесення на 1 га сівозміни 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$. Збагачена органічною речовиною змішана органо-мінеральна система удобрення забезпечила вміст рухомого калію в 0-30 см шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні – 142 мг/кг, зерно-просапній – 145, просапній – 144 мг/кг ґрунту. Порівняно з контролем без добрив вміст рухомого калію у ґрунті у шарі 0-30 см підвищився у розрізі сівозмін – на 34-40 мг/кг, шарі 30-40 см – на 13-15 мг/кг ґрунту. Дана система удобрення значно підвищила вміст рухомого калію у орному (0-30 см) та підорному (30-40 см) шарах ґрунту, що свідчить про міграцію калію добрив у ґрунті. Структура сівозмін не мала істотного впливу на вміст рухомого калію у чорноземі типовому слабкосолонцюватому.

Отже, застосування органо-мінеральних систем удобрення у короткоротаційних зерно-бурякових сівозмінах упродовж більше, ніж 45 років значно покращило забезпеченість орного (0-30 см) та підорного (30-40 см) шарів чорнозему типового слабкосолонцюватого рухомим калієм. Найвищий вміст рухомого калію у ґрунті у розрізі сівозмін досягнуто за застосування на 1 га сівозміни 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$: в орному шарі – 142-145, підорному – 94-97 мг/кг ґрунту. Вміст рухомого калію у ґрунті не залежав від структура сівозмін.

3.2.2 Вплив глибини заробляння добрив на поживний режим чорнозему типового

Формування поживного режиму грунту залежить не тільки від доз внесення добрив, а і від способів їх застосування. В умовах нестійкого зволоження Іванівської ДСС вивчали ефективність внесення добрив під основний обробіток грунту за глибини загортання 12-14 та 30-32 см. Результати досліджень показали, що в середньому за 2023-2025 роки глибина внесення добрив формувала різний вміст та розподіл поживних речовин в

орному шарі грунту. Внесення добрив на глибину 12-14 см формувало підвищений вміст рухомого фосфору у верхньому 0-10 см шарі грунту з поступовим його зменшенням у глибших шарах. Так, за дози мінеральних добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$ вміст рухомого фосфору у щарі 0-10 см становив 111 мг/кг, шарі 11-30 см – 96, шарі 30-40 см – 86 мг/кг грунту (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Вміст рухомого фосфору у чорноземі типовому за різної глибини внесення добрив під буряки цукрові, ІДСС, 2023-2025, мг/кг ґрунту

№ вар.	Глибина обробітку (фактор А)	Добрива (фактор В)	Шар ґрунту, см		
			0-10	11-30	31-40
1	Мілкий обробіток 12-14 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	111	96	86
2		Фон + 5 т/га соломи	117	96	88
3		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	118	97	85
4	Оранка 30-32 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	102	100	88
5		Фон + 5 т/га соломи	106	103	87
6		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	105	103	88
$НІР_{05}$ (фактор А)			4	5	4
$НІР_{05}$ (фактор В)			2	1	1
$НІР_{05}$ (фактор А+В)			6	6	5

За внесення мінеральних добрив ($N_{90}P_{90}K_{90}$) на глибину 30-32 см фосфор рівномірніше розподілявся в орному шарі чорнозему типового. Вміст рухомого фосфору у верхньому 0-10 см становив 102 мг/кг, шарі 11-30 см – 100, шарі 30-40 см – 88 мг/кг грунту. Порівняно з внесенням добрив на глибину 12-14 см вміст рухомого фосфору у щарі 0-10 см зменшився – на 9 мг/кг, тоді як у шарі 11-30 см підвищився – на 4 мг/кг грунту. За обох способів внесення мінеральних добрив вміст рухомого фосфору у підорному 30-40 см шарі був співставним, що свідчить про відсутність міграції фосфору вглиб грунтового профілю.

Додатково внесення соломи в дозі 5 т/га по фону мінеральних добрив ($N_{90}P_{90}K_{90}$) істотно підвищило вміст рухомого фосфору у лише верхньому 0-10 см шарі грунту і спостерігалась така залежність лише за глибини внесення

12-14 см. За мілкого обробітку грунту вміст рухомого фосфору у верхньому 0-10 см становив 117 мг/кг, шарі 11-30 см – 96, шарі 30-40 см – 88 мг/кг грунту, що порівняно з фоном мінеральних добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$ було вишим у верхньому 0-10 см – на 6 мг/кг грунту. У глибших шарах грунтух (11-30 та 31-40 см) за мілкого обробітку грунту вміст рухомого фосфору був співставним.

За внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ під глибоку оранку (30-32 см) вміст рухомого фосфору підвищився у верхніх 0-10 та 11-30 см шарах чорнозему типового. Порівняно з фоном мінеральних добрив ($N_{90}P_{90}K_{90}$) вміст рухомого фосфору у шарі 0-10 см підвищився – на 4 мг/кг, шарі 11-30 см – на 3 мг/кг грунту. Натомість у шарі грунту 31-40 см вміст рухомого фосфору залишався на рівні мінеральної системи удобрення і становив 91 мг/кг грунту. Це є свідченням того, що формування доступного рослинам фонду рухомих фосфатів у грунті залежить не тільки від доз добрив, а і глибини їх внесення. Доступний рослинам фосфор зосереджується на глибині внесення добрив і практивно не піддається міграції вглиб грунтового профілю.

У варіантах з додаванням до органо-мінеральної системи удобрення гуматного мікродобрива «Добрин» в дозі 2 л/га вміст і перерозподіл рухомих фосфатів в чорноземі типовому залишався на рівні органо-мінерального удобрення. За мілкого обробітку грунту (12-14 см) внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Добрин», 2 л/га забезпечило вміст рухомого фосфору у верхньому 0-10 см – 118 мг/кг, шарі 11-30 см – 97, шарі 30-40 см – 85 мг/кг грунту, що було співставним з внесенням соломи та мінеральних добрив. Не впливло істотно на вміст і перерозподіл рухомих фосфатів у грунті внесення мікродобрива «Добрин» в дозі 2 л/га на фоні заробляння добрив на глибину 30-32 см.

Глибина заробляння добрив істотно впливала на вміст і перерозподіл рухомих сполук калію в чорноземі типовому. За внесення добрив на глибину 12-14 см формувався високий вміст рухомого калію у верхньому 0-10 см

шарі грунту з поступовим його зменшенням у глибших шарах. Так, за дози мінеральних добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$ вміст рухомого калію у щарі 0-10 см становив 154 мг/кг, шарі 11-30 см – 127, шарі 30-40 см – 92 мг/кг грунту (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

Вміст рухомого калію у чорноземі типовому за різної глибини внесення добрив під буряки цукрові, ІДСС, 2023-2025, мг/кг ґрунту

№ вар.	Глибина обробітку (фактор А)	Добрива (фактор В)	Шар ґрунту, см		
			0-10	11-30	31-40
1	Мілкий обробіток 12-14 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	154	127	92
2		Фон + 5 т/га соломи	179	132	90
3		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	182	131	89
4	Оранка 30-32 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	141	136	89
5		Фон + 5 т/га соломи	155	143	91
6		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	152	144	88
$НІР_{05}$ (фактор А)			4	3	2
$НІР_{05}$ (фактор В)			4	4	3
$НІР_{05}$ (фактор А+В)			8	7	5

За внесення мінеральних добрив ($N_{90}P_{90}K_{90}$) на глибину 30-32 см вміст рухомого калію в орному шарі чорнозему типового був меншим, ніж за внесення на глибину 12-14 см. Так, за мілкого обробітку грунту вміст рухомого калію у верхньому 0-10 см становив 141 мг/кг, шарі 11-30 см – 136, шарі 30-40 см – 89 мг/кг грунту. Порівняно з внесенням добрив на глибину 12-14 см вміст рухомого калію у щарі 0-10 см зменшився – на 13 мг/кг, натомість у шарі 11-30 см підвищився – на 9 мг/кг грунту. За обох способів внесення мінеральних добрив вміст рухомого калію у підорному 30-40 см шарі був співставним, що вказує на відсутність міграції калію вглиб грунтового профілю.

Додатково внесення соломи в дозі 5 т/га на фону мінеральних добрив ($N_{90}P_{90}K_{90}$) підвищило вміст рухомого калію у грунті за обох способів обробітку грунту. За мілкого обробітку грунту на глибину 12-14 см рухомий

калій істотно підвищився у верхньому 0-10 см шарі. Порівняно з внесенням мінеральних добрив вміст рухомого калію у шарі 0-10 см підвищився на 25 мг/кг за абсолютного показника 179 мг/кг грунту. У глибших шарах грунту вміст рухомого калію залишався відносно стабільним. У шарі 11-30 см вміст рухомого калію становив 132, шарі 30-40 см – 90 мг/кг грунту.

За внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ під глибоку оранку (30-32 см) вміст рухомого калію підвищився у верхніх 0-10 та 11-30 см шарах чорнозему типового. Порівняно з фоном мінеральних добрив ($N_{90}P_{90}K_{90}$) вміст рухомого калію у шарі 0-10 см підвищився – на 14 мг/кг, шарі 11-30 см – на 7 мг/кг грунту за абсолютних показників – відповідно 155 та 143 мг/кг грунту. У шарі грунту 31-40 см вміст рухомого калію залишався на рівні мінеральної системи удобрення і становив 91 мг/кг грунту, що підтверджує стабільність вмісту калію у грунті у місці внесення добрив. Порівняно з мілким обробітком грунту на глибину 12-14 см глибока оранка забезпечелила глибше заробляння калію добрив у грунт і рівномірніший його розподіл в межах орного 0-30 см шару, яке супроводжувалось зростанням вмісту рухомого калію. Калій добрив як і фосфор не піддавався міграції вглиб грунтового профілю і зосереджувався переважно у місце його внесення.

У варіантах з додаванням до органо-мінеральної системи удобрення гуматного мікродобрива «Добрин» в дозі 2 л/га вміст і перерозподіл рухомого калію в чорноземі типовому залишався на рівні органо-мінерального удобрення. За мілкого обробітку грунту (12-14 см) внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Добрин», 2 л/га забезпечило вміст рухомого калію у верхньому 0-10 см – 182 мг/кг, шарі 11-30 см – 131, шарі 30-40 см – 89 мг/кг грунту, що було співставним з внесенням соломи та мінеральних добрив. Не впливло істотно на вміст і перерозподіл рухомого калію у грунті внесення мікродобрива «Добрин» в дозі 2 л/га на фоні заробляння органічних та мінеральних добрив на глибину 30-32 см.

Отже, за нестійкого зволоження формування фондів рухомого фосфору і калію в чорноземі типовому залежало від системи удобрення та обробітку

ґрунту. Внесення мінеральних добрив в дозі $N_{90}P_{90}K_{90}$ та проведення обробітку ґрунту на глибину 12-14 см формувало високий вміст рухомого фосфору і калію у шарі 0-10 см, тоді як оранка на глибину 30-32 см – у шарах 0-10 та 11-30 см. Додаткове внесення 5 т/га соломи на фоні $N_{90}P_{90}K_{90}$ значно підвищило вміст рухомого калію у вище згаданих шарах ґрунту, тоді вміст рухомого фосфору підвищувався переважно у шарі 0-10 см і більш вираженим був за мілкого обробітку ґрунту на глибину 12-14 см. У підорному 30-40 см шарі рухомі фонди поживних речовин не залежали від удобрення та обробітку ґрунту.

3.3 Водний режим чорноземних грунтів залежно від удобрення і сівозмін

3.3.1 Запаси вологи у чорноземі типовому слабкосолонцюватому та використання її пшеницею озимою

Важливим елементом сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур є їх здатність накопичувати вологу у грунті та раціонально використовувати її для формування врожаю. У стаціонарному досліді ВДСС питання накопичення вологи у грунті та використання її рослинами вивчали в посівах пшениці озимої. Факторами досліджень були короткоротаційні сівозміни та органо-мінеральні системи удобрення культур. Результати досліджень показали, що зазначені фактори істотно впливали на накопичення вологи у ґрунті у весняний період. У середньому за 2022-2024 роки у період відновлення весняної вегетації пшениці озимої у 1,5 м шарі грунту у варіанті без добрив (контроль) накопичувалось у плодозмінній сівозміні – 154 мм продуктивної вологи, зерно-просапній – 160 мм, просапній – 166 мм. У сівозмінах з інтенсивними обробітками грунту вологи накопичувалось на 6-12 мм більше, ніж у плодозмінній сівозміні де обробітків проводилось менше. При цьому у шарі грунту 0-50 см продуктивної вологи у розрізі сівозмін накопичувалось 56-63 мм, шарі 0-100 см – 112-120 мм. Причиною збільшення запасів вологи у грунті за

інтенсивних обробітків може бути покращення проникності ґрунту (табл. 3.10).

Таблиця 3.10

Запаси продуктивної вологи у посівах пшениці озимої залежно від удобрення і структури сівозмін, ВПДСС, 2022-2024 р., мм

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни (фактор А)	Шар ґрунту, см					
		0-50		0-100		0-150	
		I	II	I	II	I	II
Плодозмінна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий) (фактор В)							
9	Контроль (без добрив)	56	11	112	28	154	55
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	53	9	118	21	162	41
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	55	10	118	24	160	42
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)							
27	Контроль (без добрив)	62	27	120	37	166	58
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	61	21	127	32	176	43
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	60	23	129	34	173	47
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)							
63	Контроль (без добрив)	63	24	120	35	160	56
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	61	21	125	31	173	49
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	63	23	128	33	175	49
$НІР_{05}$ (фактор А)		2	1	3	2	6	2
$НІР_{05}$ (фактор В)		3	1	4	2	4	2
$НІР_{05}$ (фактор А+В)		5	2	7	4	10	4

Примітка: I – відновлення весняної вегетації, II – кінець вегетації

Застосування органо-мінеральних систем удобрення підвищило накопичення вологи у ґрунті весною у розрізі усіх сівозмін. Так, за внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни запаси вологи у 1,5 м шарі ґрунту у плодозмінній сівозміні становили 162 мм, просапній – 176 мм, зерно-просапній – 173 мм, що порівняно з контролем без добрив було вищим – відповідно на 8, 10 та 13 мм. У просапній та зерно-просапній сівозмінах продуктивної вологи було більше, ніж у плодозмінній сівозміні – відповідно на 14 та 11 мм.

За альтернативного удобрення з внесенням побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни накопичення вологи у ґрунті весною було співставним з удобренням, коли додатково вносили 6,3 т/га гною на 1 га сівозміни. Так, у плодозмінній сівозміні запаси продуктивної вологи у 1,5 м шарі ґрунту становили 160 мм, просапній – 173 мм, зерно-просапній – 175 мм, що порівняно з контролем без добрив було вищим – відповідно на 6, 7 та 15 мм.

На кінець вегетації запаси продуктивної вологи у 1,5 м шарі ґрунту зменшились в усіх сівозмінах порівняно з початком вегетації. На контролі без добрив запаси вологи зменшились у 2,8-2,9 рази, за органо-мінеральних систем удобрення – у 3,4-4,1 рази. За внесення добрив запаси продуктивної вологи в 1,5 м шарі ґрунту на кінець вегетації були менші, ніж на контролі без добрив у плодозмінній сівозміні на 13-14 мм, просапній – на 11-15 мм, зерно-просапній – на 7 мм. Зменшення запасів вологи у ґрунті за внесення добрив може бути наслідком істотного збільшення врожайності пшениці озимої у цих варіантах, що потребувало більших витрат вологи.

Отже, застосування органо-мінеральних систем удобрення та збільшення частки просапних культур у сівозмінах сприяли більшому накопиченню продуктивної вологи у грунті весною. У посівах пшениці озимої, яку вирощували після кукурудзи на силос та повторно після пшениці озимої за застосування органо-мінеральних систем удобрення запаси вологи у 1,5 м шарі грунту весною були вищі, ніж у плодозмінній сівозміні – на 11-15 мм.

Розрахунок витрат вологи на формування 1 тони сухої речовини біологічного врожаю пшениці озимої показав, що на контролі без добрив витрати вологи були істотно вищі. У плодозмінній сівозміні витрати вологи на контролі без добрив становили 516 м^3, просапній – 535 м^3, зерно-просапній – 549 м^3. У плодозмінній сівозміні пшениця озима використовувала вологу ґрунту ефективніше, ніж у просапній і зерно-

просапній сівозмінах, зменшивши витрати вологи на формування одиниці врожаю на 19 та 33 м^3, відповідно (табл. 3.11).

Таблиця 3.11

Використання вологи пшеницею озимою за різного удобрення і структури сівозмін, ВПДСС, 2022-2024 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни	Врожайність біомаси, т/га	Продуктивна волога, мм		Опади, мм	Загальні витрати вологи, м^3/га	Витрати вологи на 1 тону врожаю, м^3
			I	II			
Плодозмінна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)							
9	Контроль (без добрив)	5,16	154	55	167	2660	516
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	6,68	162	41	167	2880	431
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	6,72	160	42	167	2850	424
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)							
27	Контроль (без добрив)	5,14	166	58	167	2750	535
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	6,21	176	43	167	3000	483
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	5,94	173	47	167	2930	493
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – соя)							
63	Контроль (без добрив)	4,94	160	56	167	2710	549
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	5,94	173	49	167	2910	490
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	5,96	175	49	167	2930	492

Примітка: I – відновлення весняної вегетації, II – кінець вегетації; сума опадів – за квітень-липень

Застосування органо-мінеральних систем удобрення підвищило ефективність використання вологи пшеницею озимою в усіх сівозмінах. За внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни витрати вологи на формування 1 тони біологічного врожаю пшениці озимої у плодозмінній сівозміні становили 431 м^3, просапній – 483 м^3, зерно-просапній – 490 м^3. Порівняно з контролем без добрив витрати вологи на формування 1 тони врожаю зменшились на 85, 59 та 52 м^3, відповідно. При цьому у плодозмінній сівозміні пшениця озима ефективніше

використовували вологу ґрунту порівняно з просапною та зерно-просапною сівозмінами.

Ефективному використанню вологи пшеницею озимою сприяла альтернативна органо-мінеральна система удобрення. За внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни витрати вологи на формування 1 тони врожаю пшениці озимої у плодозмінній сівозміні становили 424 м^3, просапній – 493 м^3, зерно-просапній – 492 м^3. Порівняно з контролем без добрив витрати вологи зменшились на 82, 42 та 57 м^3, відповідно. У плодозмінній сівозміні пшениця озима найефективніше використовувала вологу ґрунту.

Отже, в умовах недостатнього зволоження вирощування пшениці озимої у плодозмінній сівозміні та застосування органо-мінеральних систем удобрення істотно зменшили витрати вологи на формування одиниці біологічного врожаю та забезпечили найефективніше її використання в умовах чотирипільних сівозмін.

3.3.2 Накопичення вологи у чорноземі типовому та використання її буряками цукровими залежно від удобрення та обробітку грунту

Результати досліджень показали, що в середньому за 2023-2025 роки за проведення мілкого обробітку грунту на 12-14 см та внесення мінеральних добрив в дозі $N_{90}P_{90}K_{90}$ перед сівбою буряків цукрових у шарі грунту 0-50 см накопичувалось продуктивної вологи – 54 мм, шарі 51-100 см – 46 мм, загальні запаси у шарі 0-100 см – 100 мм. Додаткове внесення соломи до фону мінеральних добрив та внесення мікродобрива «Добрин» на тлі мілкого обробітку грунту на 12-14 см не впливало істотно на запаси продуктивної вологи у грунті весною. За внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ запаси продуктивної вологи у шарі 0-100 см весною становили 99 мм, внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Добрин» - 106 мм. Перерозподіл продуктивної вологи по шарах грунту був співставним з варіантом, коли вносили лише

мінеральні добрива і запаси вологи становили у шарі грунту 0-50 см – 55 мм, шарі 51-100 см – 44-51 мм (табл. 3.12).

Таблиця 3.12

Запаси продуктивної вологи у посівах буряків цукрових залежно від удобрення і обробітку грунту, ІДСС, 2023-2025, мм

№ вар.	Глибина обробітку (фактор А)	Добрива (фактор В)	Шар ґрунту, см					
			0-50		51-100		0-100	
			I	II	I	II	I	II
1	Мілкий обробіток 12-14 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	54	19	46	19	100	38
2		Фон + 5 т/га соломи	55	23	44	21	99	42
3		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	55	27	51	22	106	49
4	Оранка 30-32 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	63	27	58	25	121	52
5		Фон + 5 т/га соломи	61	30	63	27	124	57
6		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	64	29	61	35	125	64
$НІР_{05}$ (фактор А)			4	2	2	1	5	3
$НІР_{05}$ (фактор В)			1	1	2	1	3	2
$НІР_{05}$ (фактор А+В)			5	3	4	2	8	5

Примітка: I – початок вегетації, II – кінець вегетації

Накопиченню продуктивної вологи у грунті весною сприяло проведення глибокої осінньої оранки під буряки цукрові на 30-32 см. На тлі глибокої оранки та внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$ запаси продуктивної вологи у шарі 0-100 см весною становили 211 мм, внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ – 124 мм, внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Добрин» - 125 мм. Застосування соломи додатково до внесення мінеральних добрив не впливало на накопичення продуктивної вологи у грунті весною. Перерозподіл продуктивної вологи по шарах грунту був наступним: у шарі грунту 0-50 см за зазначених систем удобрення запаси вологи становили 61-64 мм, шарі 51-100 см – 58-63 мм. Проведення глибокої оранки під буряки цукрові на 30-32 см порівняно з мілким обробітком грунту на 12-14 см збільшило запаси продуктивної вологи у грунті весною у шарі 0-50 см – на 6-9 мм, шарі 51-100 см – на 10-19 мм, загальні запаси у шарі 0-100 см – на 19-25 мм.

На період збирання врожаю запаси продуктивної вологи у 0-100 см шарі грунту порівняно з початком вегетації зменшились у 2,2-2,6 разів. При цьому за проведення глибокої оранки на 30-32 см запаси продуктивної вологи у 0-100 см шарі осінню були вищі, ніж за мілкого обробітку грунту на 12-14 см – на 18-23 мм. За внесення соломи на тлі мінерального добрива запаси продуктивної вологи у метровому шарі грунту осінню були незначно вищі – на 4-15 мм.

Отже, проведення глибокої оранки під буряки цукрові на 30-32 см формувало краще вологозабезпечення чорнозему типового порівняно з мілким обробітком на 12-14 см. На початок вегетації за глибокої оранки у 1 м шарі грунту продуктивної вологи було на 19-25 мм більше, ніж за мілкого обробітку, кінець вегетації – на 4-15 мм більше. Застосування соломи не впливало істотно на водний режим чорнозему типового.

Важливим показником є витрати вологи на формування однієї тони врожаю. Результати досліджень показали, що в середньому за 2023-2025 роки на формування однієї тони врожаю буряків цукрових за проведення мілкого обробітку грунту на 12-14 см та внесення мінеральних добрив в дозі $N_{90}P_{90}K_{90}$ витрачалось вологи – 376 м^3, внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ – 366 м^3, 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Добрин», 2 л/га – 323 м^3. Додавання соломи до мінеральної системи удобрення зменшило витрати вологи на 1 тону врожаю – на 10 м^3, а за внесення додатково мікродобрива «Добрин», 2 л/га – на 53 м^3 (табл. 3.13).

Значно ефективніше рослин буряків цукрових використовували вологу із грунту за проведення глибокої оранки на 30-32 см. У середньому за 2023-2025 роки на формування однієї тони врожаю буряків цукрових за проведення глибокої оранки на 30-32 см та внесення мінеральних добрив в дозі $N_{90}P_{90}K_{90}$ витрачалось вологи – 345 м^3, внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ – 335 м^3, 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Добрин», 2 л/га – 316 м^3. Додавання соломи до мінеральної системи удобрення зменшило витрати вологи на 1 тону врожаю – на 10 м^3, а за внесення додатково мікродобрива

«Добрин», 2 л/га – на 29 м^3. Порівняно з мілким обробітком грунту на 12-14 см проведення глибокої оранки на 30-32 см за мінерального удобрення ($N_{90}P_{90}K_{90}$) супроводжувалось зменшенням витрат вологи на формування 1 тони врожаю – на 31 м^3, за внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ – на 30 м^3, за внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Добрин», 2 л/га – на 7 м^3.

Таблиця 3.13

Використання вологи буряками цукровими залежно від удобрення і обробітку грунту, ІДСС, 2023-2025 рр.

№ вар	Глибина обробітку, см	Добрива	Врожайність сухої біомаси, т/га	Продуктивна волога, мм		Опади, мм	Загальні витрати вологи, м^3/га	Витрати вологи на 1 тону врожаю, м^3
				I	II			
1	Мілкий обробіток 12-14 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	9,91	100	38	311	3730	376
2		Фон + 5 т/га соломи	10,06	99	42	311	3680	366
3		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	11,44	106	49	311	3680	323
4	Оранка 30-32 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	11,03	121	52	311	3800	345
5		Фон + 5 т/га соломи	11,27	124	57	311	3780	335
6		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	11,76	125	64	311	3720	316

Примітка: I – початок вегетації, II – кінець вегетації

Отже, проведення глибокої оранки на 30-32 см збільшувало накопичення вологи у метровому шарі грунту весною порівнювало з мілким обробітком на 12-14 см – на 19-25 мм. Глибока оранка за мінерального та органо-мінерального удобрення забезпечила більш ефективне використання вологи рослинами, зменшивши витрати вологи на формування однієї тони врожаю буряків цукрових на 7-31 м^3.

Висновки до розділу 3

1. В умовах недостатнього зволоження (ВПДСС) застосування на добриво побічної продукції у чотирипільних зерно-бурякових сівозмінах визначено потужним джерелом накопичення органічної речовини у ґрунті. За внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни щорічні обсяги

надходження вуглецю у ґрунт у плодозмінній сівозміні становили 1,81 т/га, зерно-просапній – 1,82 т/га, просапній – 1,81 т/га сівозмінної площі, що було у 1,5-1,8 разів більшим, ніж за внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни.

2. За альтернативного органічного удобрення сівозмін вміст гумусу у ґрунті у плодозмінній сівозміні становив 4,72%, зерно-просапній – 4,46%, просапній – 4,53%, що було співставним традиційному на основі гною удобренню – 4,70%, 4,46% та 4,51%.

3. Найкращі умови для збереження та відтворення гумусу у чорноземі типовому слабкосолонцюватому досягали у плодозмінній сівозміні за 46-річного застосування 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни: вміст гумусу – 4,78% з перевищенням контролю без добрив на 0,97%.

4. За недостатнього зволоження (ВПДСС) найвищий вміст нітратного азоту в орному шарі чорнозему типового слабкосолонцюватого у весняний період спостерігали у плодозмінній сівозміні за традиційного на основі гною удобрення: у шарі 0-30 см – 16,2, шарі 30-40 см – 14,7 мг/кг ґрунту. Внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ 1 га сівозміни зменшило вміст нітратного азоту у ґрунті, що може бути наслідком посилення процесів іммобілізації азоту.

5. Найвищий вміст амонійного азоту у 0-30 см шарі ґрунту весняною спостерігали у плодозмінній сівозміні за внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 13,6 мг/кг, тоді як у зерно-просапній – 12,9, просапній – 11,3 мг/кг ґрунту.

6. У мовах недостатнього зволоження (ВПДСС) найбільші запаси мінерального азоту у 0-40 см шарі ґрунту весною накопичувались у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах за внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни і становили – 117 та 118 кг/га, відповідно.

7. На ВПДСС довготривале понад 45 років застосування органо-мінеральних систем удобрення у короткоротаційних зерно-бурякових

сівозмінах значно покращило забезпеченість орного 0-30 см шару ґрунту рухомими сполуками фосфору, підвищивши їх вміст до контролю без добрив на 20-25%. Найвищий вміст рухомого фосфору у ґрунті у розрізі сівозмін досягнуто за застосування 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 50,9-52,3 мг/кг ґрунту. У підорному 30-40 см шарі ґрунту вміст рухомого фосфору незначно залежав від системи удобрення.

8. За недостатнього зволоження (ВПДСС) застосування органо-мінеральних систем удобрення у короткоротаційних зерно-бурякових сівозмінах упродовж більше, ніж 45 років істотно покращило забезпеченість грунту рухомим калієм. Найвищий вміст рухомого калію у розрізі сівозмін досягали за застосування 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни: в орному шарі – 142-145, підорному – 94-97 мг/кг ґрунту. Вміст рухомого калію у ґрунті не залежав від структура сівозмін.

9. За нестійкого зволоження (ІДСС) формування фондів рухомого фосфору і калію в чорноземі типовому залежало від удобрення та глибини обробітку ґрунту. Внесення мінеральних добрив в дозі $N_{90}P_{90}K_{90}$ та проведення обробітку ґрунту на глибину 12-14 см формувало високий вміст рухомого фосфору і калію у шарі 0-10 см, тоді як оранка на глибину 30-32 см – у шарах 0-10 та 11-30 см. Додаткове внесення 5 т/га соломи на фоні $N_{90}P_{90}K_{90}$ підвищило вміст рухомого калію у вище згаданих шарах ґрунту, тоді як вміст рухомого фосфору підвищувався переважно у шарі 0-10 см і більш вираженим був за мілкого обробітку ґрунту на глибину 12-14 см. Удобрення та обробіток ґрунту не впливали на вміст поживних речовини у підорному 30-40 см шарі.

10. На ВПДСС застосування органо-мінеральних систем удобрення збільшило запаси вологи у 1,5 м шарі ґрунту у весняний період у розрізі усіх чотирипільних сівозмін порівняно з контролем без добрив на 6-15 мм. У зерно-просапній та просапній сівозмінах запаси вологи у ґрунті весною були більші порівняно з плодозмінною сівозміною на 11-15 мм.

11. За недостатнього зволоження (ВПДСС) найефективніше вологу ґрунту на формування однієї тони біологічного врожаю пшениця озима використовувала у плодозмінній сівозміні за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 424 м^3, що порівняно з контролем без добрив було меншим на 92 м^3. У зерно-просапній та просапній сівозмінах витрати вологи на формування врожаю були вищі порівняно з плодозмінною сівозміною на 68-69 м^3 і становили 492 і 493 м^3.

12. За нестійкого зволоження (ІДСС) проведення глибокої оранки на 30-32 см збільшило накопичення вологи у метровому шарі ґрунту весною порівнювало з мілким обробітком на 12-14 см – на 19-25 мм. Глибока оранка за мінерального та органо-мінерального удобрення забезпечила ефективніше використання вологи рослинами, зменшивши витрати вологи на формування однієї тони врожаю буряків цукрових на 7-31 м^3.

Основні результати розділу висвітлені у праці [44, 47, 48, 49].

РОЗДІЛ 4
ВПЛИВ ДОБРИВ І СТРУКТУРИ СІВОЗМІН НА ВРОЖАЙНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

4.1 Врожайність культур на чорноземі типовому слабкосолонцюватому залежно від удобрення і сівозмін

4.1.1 Пшениця озима

Система удобрення і сівозміни є головними чинниками, що впливають на ріст і розвиток та врожайність пшениці озимої. Отримання стабільних врожаїв цієї культури залежить від вибору ефективного попередника, оптимізації мінерального живлення, що досягається шляхом застосування виважених доз мінеральних добрив та способів їх застосування [68, 161].

Застосування добрив у сівозмінах напралене на досягнення максимального ефекту від їх прямої дії та післядії, створення умов зваженого навантаження на екологічну систему та запобігання надмірних ризиків щодо забруднення навколишнього середовища хімічними засобами, що супроводжується надлишковими економічними витратами. Стаціонарні дослідження – це встановлення базавих закономірностей та розробляння стратегії зі сталого та екномічно ефективного вирощування сільськогосподарських культур [39, 148, 157].

Дослідження, що проводились в умовах недостатнього зволоження на чорноземі типовому слабкосолонцюватому в умовах сучасних короткоротаційних сівозмін були направлені на встановлення оптимальних попередників під пшеницю озиму на тлі традиційних та альтернативних органо-мінеральних систем удобрення сівозмін.

Результати досліджень показали, що врожайність пшениці озимої у чотирипільних зерно-бурякових сівозмінах залежала від структури сівозмін та органо-мінеральних систем удобрення. У середньому за 2022-2024 рр. на контролі без добрив врожайність пшениці озимої у плодозмінній сівозміні за попередника еспарцету становила 2,89 т/га, просапній за попередника

кукурудзи на силос – 2,88 т/га, зерно-просапній за попередника гороху – 3,36 т/га, а за повторних посівів пшениці озимої у цій же сівозміні врожайність зменшилась до 2,77 т/га. По роках дослідження найменша врожайність пшениці озимої була у зерно-просапній сівозміні у 2024 році за повторних посівів пшениці озимої після пшениці – 2,58 т/га, а найвища у цій же сівозміні у 2023 році за попередника гороху – 3,65 т/га (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Врожайність пшениці озимої за різного удобрення і структури сівозмін, ВПДСС, т/га

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни (фактор А)	Роки			Середнє 2022-2024 рр.
		2022	2023	2024	
Плодозмінна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий) (фактор В)					
9	Контроль (без добрив)	2,66	3,04	2,98	2,89
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	3,39	3,65	3,91	3,65
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	3,46	3,66	4,10	3,74
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	3,36	3,72	4,20	3,76
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)					
27	Контроль (без добрив)	2,93	2,97	2,74	2,88
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	3,56	3,44	3,00	3,33
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	3,54	3,65	3,26	3,48
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	3,53	3,67	2,78	3,33
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)					
63	Контроль (без добрив)	3,00 2,76	3,65 2,96	3,42 2,58	3,36 2,77
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	3,65 3,53	3,85 3,58	3,80 3,24	3,77 3,50
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	3,71 3,48	3,86 3,60	3,38 2,90	3,65 3,33
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	3,66 3,56	3,88 3,63	3,28 2,84	3,61 3,34
$НІР_{05}$ (фактор А)		0,17	0,18	0,19	0,20
$НІР_{05}$ (фактор В)		0,07	0,09	0,06	0,05
$НІР_{05}$ (фактор А+В)		0,24	0,27	0,25	0,26

Примітка: у зерно-просапній сівозміні у знаменнику врожайність пшениці озимої після попередника пшениці озимої; чисельнику – після гороху

Застосування у сівозмінах органо-мінеральних систем удобрення з внесенням безпосередньо під пшеницю озиму $N_{45}P_{45}K_{45}$ істотно підвищило її врожайність порівняно з контролем без добрив. За внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни врожайність пшениці озимої у плодозмінній сівозміні становила 3,65 т/га, просапній – 3,33 т/га, зерно-просапній після попередника гороху – 3,77 т/га, попередника пшениці озимої – 3,50 т/га. Пшениця озима за традиційної органо-мінеральної системи удобрення відгукувалась на вибір попередника. Найвища врожайність зерна досягалась у плодозмінній сівозміні за попередника еспарцету та зерно-просапній сівозміні за попередника гороху, тоді як попередник кукурудза на силос у просапній сівозміні та повторні посіви пшениці у зерно-просапній сівозміні супроводжувались значним зменшенням врожайності зерна – на 0,27-0,33 т/га. По роках дослідження найменша врожайність пшениці озимої була у 2024 році у просапній сівозміні за попередника кукурудзи на силос – 3,00 т/га, а найвища у цьому ж 2024 році у плодозмінній сівозміні за попередника еспарцету – 3,91 т/га.

Застосування збагаченої на органічний компонент органо-мінеральної системи удобрення підвищило врожайність пшениці озимої, однак порівняно з традиційним органо-мінеральним удобренням цей вплив був неоднозначним. За внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни врожайність пшениці озимої у плодозмінній сівозміні становила 3,74 т/га, просапній – 3,48 т/га, зерно-просапній після попередника гороху – 3,65 т/га, попередника пшениці озимої – 3,33 т/га. Порівняно з внесенням 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни врожайність пшениці озимої у плодозмінній та просапній підвищилась – відповідно на 0,09 та 0,15 т/га, натомість у зерно-просапній сівозміні після попередника гороху зменшилась на 0,12 т/га, попередника пшениці озимої – на 0,17 т/га. По роках дослідження найменша врожайність пшениці озимої була у 2024 році у зерно-просапній сівозміні за повторних посівів пшениці озимої після пшениці – 2,90 т/га, а найвища у цьому ж 2024 році у плодозмінній сівозміні

за попередника еспарцету – 4,10 т/га.

Ефективною системою удобрення пшениці озимої у зерно-бурякових сівозмінах визначено внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни з внесенням безпосередньо під пшеницю озиму $N_{45}P_{45}K_{45}$. Альтернативна збагачена на азот система удобрення забезпечила врожайність зерна пшениці озимої у плодозмінній сівозміні 3,76 т/га, просапній – 3,33 т/га, зерно-просапній після попередника гороху – 3,61 т/га, попередника пшениці озимої – 3,34 т/га. Порівняно з контролем без добрив врожайність зерна у плодозмінній сівозміні підвищилась – на 0,87 т/га, просапній – на 0,45 т/га, зерно-просапній після попередника гороху – на 0,25 т/га, попередника пшениці озимої – на 0,57 т/га. За альтернативного удобрення врожайність зерна у плодозмінній сівозміні була вища порівняно з просапною – на 0,43 т/га, зерно-просапною – на 0,15-0,42 т/га. Зазначена система удобрення не поступалась за ефективністю збагаченій на органічний компонент системі удобрення, коли додатково вносили 6,3 т/га гною на 1 га сівозміни. По роках дослідження найменша врожайність пшениці озимої була у 2024 році у зерно-просапній сівозміні за повторних посівів пшениці озимої після пшениці – 2,78 т/га, а найвища у цьому ж 2024 році у плодозмінній сівозміні за попередника еспарцету – 4,20 т/га.

Отже, в умовах недостатнього зволоження на чорноземі типовому слабкосолонцюватому найефективнішим визначено вирощування пшениці озимої у плодозмінній сівозміні на тлі післядії 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ та побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни: врожайність зерна – відповідно 3,74 та 3,76 т/га; а також у зерно-просапній сівозміні за попередника гороху на тлі післядії 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ – врожайність зерна 3,77 т/га. Порівняно з контролем без добрив внесення під пшеницю озиму $N_{45}P_{45}K_{45}$ на тлі післядії органо-мінеральних систем удобрення підвищило врожайність зерна у плодозмінній сівозміні – на 0,85-0,87 т/га, зерно-просапній у ланці з горохом – на 0,41 т/га.

4.1.2 Буряки цукрові

Буряки цукрові є чутливою культурою до умов вирощування, а їх врожайність залежить від родючості грунту на якому вирощується ця культура, вмісту вологи та елементів живлення у грунті. Найбільш сприятливі умови для вирощування буряків цукрових є зона Лісостепу. Проте в останні десятиліття зі зростанням посушливості клімату врожайність буряків цукрових значно залежить від погодних умов, кількості і рівномірності опадів упродовж вегетації та системи удобрення, яка має включати органічний компонент, що прямо і опосередковано впливає на вологозабезпечення грунтів [106, 117, 133, 142].

Застосування органо-мінеральних систем удобрення є основою продуктивності та сталих врожаїв буряків цукрових в умовах потепління [142]. Сьогодні, коли аграрне виробництво потерпає від гострої нестачі гною, системи удобрення буряків цукрових мають базуватись на альтернативних видах органічних добрив, серед яких побічна продукція сільськогосподарських культур займає особливе місце. В умовах зерно-бурякових сівозмін це найдешевший вид органіки для грунту, який не потребує логістичних витрат на виробництво, зберігання, перевезення та застосування цього виду органічного добрива [133].

В умовах недостатнього зволоження на чорноземі типовому слабкосолонцюватому вивчалась ефективність традиційних, альтернативних та комбінованих органо-мінеральних систем удобрення під буряки цукрові. Результати досліджень показали, що в умовах короткоротаційних сівозмін врожайність буряків цукрових залежала від виду удобрення та структури сівозмін. У середньому за 2022-2024 рр. на контролі без добрив врожайність буряків цукрових за попередника пшениці озимої у плодозмінній сівозміні становила 23,6 т/га, просапній – 22,3 т/га, зерно-просапній – 22,3 т/га. По роках дослідження найменша врожайність буряків цукрових була у просапній сівозміні у 2022 році – 16,9 т/га, а найвища у плодозмінній

сівозміні у 2023 році – 26,9 т/га. Слід зазначити, що в умовах середньої посухи 2023 року врожайність буряків цукрових на контролі без добрив була вища, ніж за достатнього зволоження у 2022 році та сильної посухи вегетаційного періоду у 2024 році. При цьому в усіх типах чотирипільних сівозмін врожайність буряків цукрових у 2023 році була співставна в межах 26,6-26,9 т/га (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Врожайність буряків цукрових за різного удобрення і структури сівозмін, ВПДСС, т/га

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни (фактор А)	Роки			Середнє 2022-2024 рр.
		2022	2023	2024	
Плодозмінна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий) (фактор В)					
9	Контроль (без добрив)	18,3	26,9	25,5	23,6
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	24,9	31,8	39,9	32,2
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	25,1	32,9	40,9	33,0
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	25,3	34,1	38,4	32,6
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)					
27	Контроль (без добрив)	16,9	26,6	23,4	22,3
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	24,2	31,2	32,9	29,4
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	24,4	31,0	33,6	29,7
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	24,8	33,8	30,8	29,8
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)					
63	Контроль (без добрив)	17,8	26,7	22,3	22,3
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	23,4	30,6	31,6	28,5
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	24,6	37,0	30,8	30,8
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	24,1	33,0	30,2	29,1
$НІР_{05}$ (фактор А)		1,1	1,4	1,5	1,3
$НІР_{05}$ (фактор В)		0,7	0,7	0,9	0,8
$НІР_{05}$ (фактор А+В)		1,7	2,1	2,4	2,0

Застосування у сівозміні традиційної на основі гною органо-мінеральної системи удобрення з внесенням 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1

га сівозміни врожайність буряків цукрових у плодозмінній сівозміні становила 32,2 т/га, просапній – 29,4 т/га, зерно-просапній – 28,5 т/га. Порівняно з контролем без добрив традиційна органо-мінеральна система удобрення підвищила врожайність коренеплодів буряків цукрових у вище зазначених сівозмінах – відповідно на 8,6, 7,1 та 6,2 т/га. При цьому у плодозмінній сівозміні врожайність буряків цукрових була незначно вища порівняно з просапною та зерно-просапною сівозмінами – відповідно на 2,8 та 3,7 т/га. По роках дослідження найвища врожайність буряків цукрових була у 2024 році у плодозмінній сівозміні – 39,9 т/га, а найменша у 2022 році у зерно-просапній сівозміні – 23,4 т/га.

Застосування збагаченої на органічний компонент органо-мінеральної системи удобрення неістотно підвищило врожайність буряків цукрових порівняно з традиційним органо-мінеральним удобренням. За внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни врожайність буряків цукрових у плодозмінній сівозміні становила 33,0 т/га, просапній – 29,7 т/га, зерно-просапній – 30,8 т/га, що в розрізі сівозмін було вищим порівняно з традиційним органо-мінеральним удобренням на 0,3-2,3 т/га. Порівняно з контролем без добрив зазначена органо-мінеральна система удобрення підвищила врожайність коренеплодів буряків цукрових у вище зазначених сівозмінах – відповідно на 9,4, 7,4 та 8,5 т/га. У плодозмінній сівозміні врожайність буряків цукрових була незначно вища порівняно з просапною та зерно-просапною сівозмінами – відповідно на 3,3 та 2,2 т/га. По роках дослідження найвища врожайність буряків цукрових була у 2024 році у плодозмінній сівозміні – 40,9 т/га, а найменша у 2022 році у зерно-просапній сівозміні – 24,4 т/га.

Ефективною системою удобрення буряків цукрових у зерно-бурякових сівозмінах визначено внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни. Альтернативна збагачена на азот система удобрення забезпечила врожайність буряків цукрових у плодозмінній сівозміні 32,6 т/га, просапній – 29,8 т/га, зерно-просапній – 29,1 т/га. Порівняно з контролем без добрив

врожайність буряків цукрових у плодозмінній сівозміні підвищилась – на 9,0 т/га, просапній – на 7,5 т/га, зерно-просапній – на 6,8 т/га. За альтернативного удобрення врожайність буряків цукрових у плодозмінній сівозміні була вища порівняно з просапною – на 2,8 т/га, зерно-просапною – на 3,5 т/га. Зазначена система удобрення не поступалась за ефективністю збагаченій на органічний компонент системі удобрення, коли додатково вносили 6,3 т/га гною на 1 га сівозміни. По роках дослідження найменша врожайність буряків цукрових була у 2024 році у зерно-просапній сівозміні за повторних посівів пшениці озимої після пшениці – 38,4 т/га, а найвища у 2022 році у зкрно-просапній сівозміні – 24,1 т/га.

Встановлено, що на врожайність буряків цукрових вплив фактору добрив становила 41%, погодних умов – 20%, сівозміни – 23%. Добрива найістотніше впливали на формування врожайності буряків цукрових у роки досліджень (рис. 4.1).

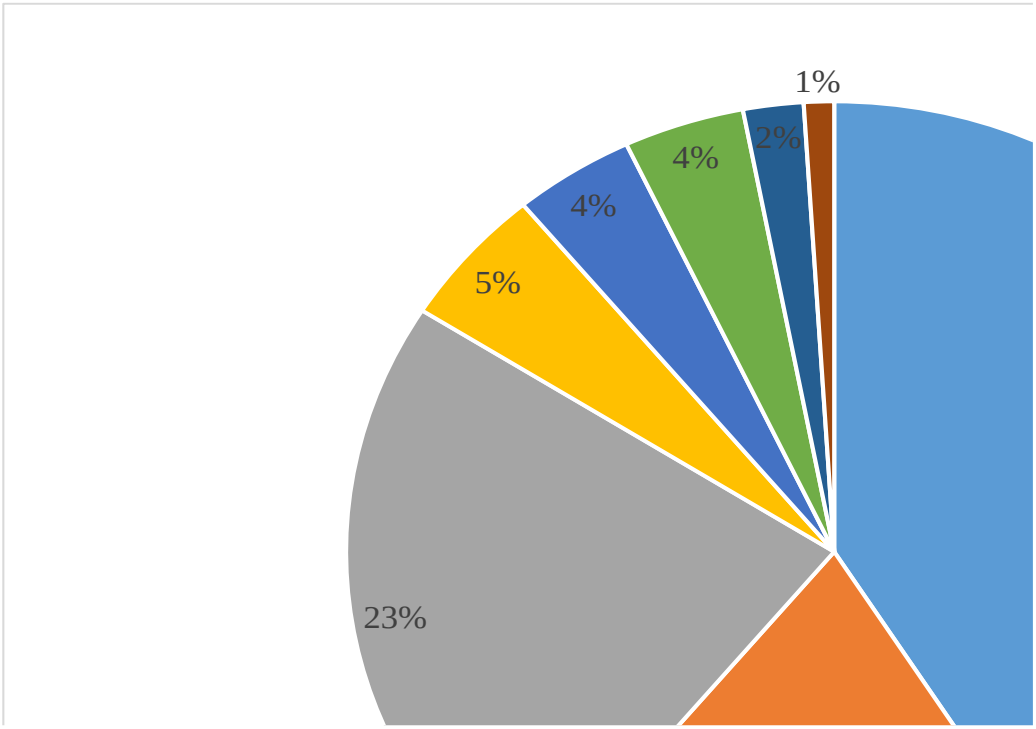


Рис. 4.1 **Вплив факторів на врожайність буряків цукрових, ВПДСС, 2022-2024 рр.**

Отже, в умовах недостатнього зволоження на чорноземі типовому слабкосолонцюватому врожайність буряків цукрових залежала переважно від систем удобрення і мало залежала від структури сівозмін. Вирощування буряків цукрових у плодозмінній сівозміні на тлі усіх органо-мінеральних систем удобрення визначено незначно ефективнішим. Порівняно з просапною та зерно-просапною сівозмінами врожайність буряків цукрових у плодозмінній сівозміні за органо-мінерального удобрення була вища на 2,8-3,3 та 2,2-3,7 т/га, відповідно. Порівняно з контролем без добрив органо-мінеральні системи удобрення підвищили врожайність коренеплодів на 8,6-9,4 т/га, де жодна із систем удобрення не мала значних переваг.

Системи удобрення і структура сівозмін значно впливали на синтез і накопичення цукрів у коренеплодах буряків цукрових. У середньому за 2022-2024 рр. цукристість коренеплодів на контролі без добрив у плодозмінній сівозміні становила 17,9%а, просапній – 18,2%, зерно-просапній – 17,9%. По роках дослідження найменша цукристість була у плодозмінній сівозміні у 2023 році – 17,2%, а найвища у просапній сівозміні у 2024 році – 18,8%. Слід зазначити, що в умовах сильної посухи вегетаційного періоду у 2024 році цукристість коренеплодів на контролі без добрив була найвища – 18,2-18,8%, тоді як за достатнього зволоження у 2022 році – 17,7-18,1%, середньої посухи у 2023 році – 17,2-18,0%. Зростання посушливості погодніх умов у 2024 році підвищило цукристість коренеплодів порівняно з 2022 та 2023 роками – на 0,5-0,7% та 0,8-1,0% (табл. 4.3).

Застосування у сівозміні традиційної на основі гною органо-мінеральної системи удобрення з внесенням 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни знизило цукристість коренеплодів порівняно з контролем без добрив у плодозмінній сівозміні – на 0,3%, просапній – на 0,2%, зерно-просапній – на 0,1% за абсолютних величин – 17,6%, 18,0% та 17,8%. Найвища цукристість коренеплодів була у просапній сівозміні, а найменша у плодозмінній сівозміні. По роках дослідження найвища цукристість коренеплодів була у 2024 році у просапній сівозміні – 18,5%, а найменша у

2022 році у плодозмінній сівозміні – 17,0%.

Таблиця 4.3

Цукристість коренеплодів буряків цукрових за різного удобрення і структури сівозмін, ВПДСС, %

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни (фактор А)	Роки			Середнє 2022-2024 рр.
		2022	2023	2024	
Плодозмінна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий) (фактор В)					
9	Контроль (без добрив)	18,1	17,2	18,5	17,9
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	17,0	17,4	18,4	17,6
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	18,2	17,0	18,1	17,8
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	17,7	18,0	18,7	18,1
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)					
27	Контроль (без добрив)	17,8	18,0	18,8	18,2
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	18,0	17,5	18,5	18,0
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	17,6	17,2	18,4	17,7
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	17,9	16,8	18,9	17,9
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)					
63	Контроль (без добрив)	17,7	17,7	18,2	17,9
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	17,8	17,7	18,0	17,8
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	17,1	17,0	17,7	17,3
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	17,7	17,9	18,1	17,9
$НІР_{05}$ (фактор А)		0,3	0,2	0,2	0,3
$НІР_{05}$ (фактор В)		0,2	0,4	0,2	0,2
$НІР_{05}$ (фактор А+В)		0,5	0,6	0,4	0,5

Застосування збагаченої на органічний компонент органо-мінеральної системи удобрення мало неоднозначний вплив на цукристість коренеплодів у сівозмінах. За внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни цукристість коренеплодів у плодозмінній сівозміні становила 17,8%, просапній – 17,7%, зерно-просапній – 17,3%. Порівняно з традиційним органо-мінеральним удобренням у плодозмінній сівозміні цукристість коренеплодів підвищилась на 0,2%, тоді як у просапній сівозміні

зменшилась – на 0,3%, зерно-просапній – на 0,5%. У плодозмінній сівозміні цукристість коренеплодів була вища, ніж у просапній та зерно-просапній сівозмінах. По роках дослідження найвища цукристість коренеплодів була у 2024 році у просапній сівозміні – 18,5%, а найменша у 2023 році у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах – 17,0%.

Підвищенню цукристості коренеплодів буряків цукрових сприяло застосування альтернативного органо-мінерального удобрення. За внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни цукристість коренеплодів у плодозмінній сівозміні становила 18,1%, просапній та зерно-просапній – 17,9%. Порівняно з традиційним органо-мінеральним удобренням у плодозмінній сівозміні цукристість коренеплодів підвищилась на 0,2%, зерно-просапній – на 0,1%, тоді як у просапній сівозміні зменшилась – на 0,1%. По роках дослідження найменша цукристість коренеплодів була у 2023 році у просапній сівозміні – 16,8%, а найвища у цій же сівозміні у 2024 році – 18,9%.

Отже, в умовах недостатнього зволоження на чорноземі типовому слабкосолонцюватому цукристість коренеплодів залежала переважно від посушливості кліматичних умов року, менше залежала від системи удобрення та структури сівозмін. В умовах сильної посухи 2024 року цукристість коренеплодів була найвища: у плодозмінній сівозміні – 18,1-18,7%, просапній – 18,4-18,9%, зерно-просапній – 17,7-18,1%. У середньому за 2022-2024 рр. найвища цукристість коренеплодів була у плодозмінній сівозміні за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 18,1%, тоді як у просапній та зерно-просапній сівозмінах була менша на 0,2%.

Системи удобрення і структура сівозмін значно впливали на збір цукру. У середньому за 2022-2024 рр. збір цукру на контролі без добрив у плодозмінній сівозміні становив 4,22 т/га, просапній – 4,07 т/га, зерно-просапній – 3,98 т/га. У плодозмінній сівозміні збір цукру був вищим, ніж у просапній сівозміні – на 0,15 т/га, зерно-просапній – на 0,24 т/га. По роках

дослідження найменший збір цукру був у просапній сівозміні у 2022 році – 3,01 т/га, а найвищий у цій же сівозміні у 2023 році – 4.79 т/га (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Збір цукру за різного удобрення і структури сівозмін, ВПДСС, т/га

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни	Роки			Середнє 2022-2024 рр.
		2022	2023	2024	
Плодозмінна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)					
9	Контроль (без добрив)	3,31	4,63	4,71	4,22
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	4,23	5,53	7,34	5,70
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	4,57	5,59	7,40	5,85
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	4,48	6,14	7,18	5,93
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)					
27	Контроль (без добрив)	3,01	4,79	4,40	4,07
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	4,36	5,46	6,08	5,30
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	4,29	5,33	6,18	5,27
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	4,44	5,68	5,82	5,31
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)					
63	Контроль (без добрив)	3,15	4,73	4,05	3,98
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	4,16	5,42	5,68	5,09
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	4,21	5,44	5,45	5,03
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	4,27	5,91	5,47	5,21

Застосування у сівозміні традиційної на основі гною органо-мінеральної системи удобрення з внесенням 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни збір цукру у плодозмінній сівозміні становив 5,70 т/га, просапній – 5,30 т/га, зерно-просапній – 5,09 т/га. Порівняно з контролем без добрив традиційна органо-мінеральна система удобрення підвищила збір цукру у вище зазначених сівозмінах – відповідно на 1,48, 1,23 та 1,11 т/га. При цьому у плодозмінній сівозміні збір цукру був вищий порівняно з просапною та зерно-просапною сівозмінами – відповідно на 0,40 та 0,61 т/га. По роках

дослідження найвищий збір цукру був у 2024 році у плодозмінній сівозміні – 7,34 т/га, а найменший у 2022 році у зерно-просапній сівозміні – 4,16 т/га.

Застосування збагаченої на органічний компонент органо-мінеральної системи удобрення не мало істотного впливу на збір цукру у сівозмінах порівняно з традиційним органо-мінеральним удобренням. За внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни збір цукру у плодозмінній сівозміні становив 5,85 т/га, просапній – 5,27 т/га, зерно-просапній – 5,03 т/га. Порівняно з традиційним органо-мінеральним удобренням зазначена система удобрення незначно підвищила збір цукру лише у плодозмінній сівозміні – на 0,15 т/га і не впливала на збір цукру у просапній та зерно-просапній сівозмінах. Слід зазначити, що у плодозмінній сівозміні збір цукру був вищим порівняно з просапною та зерно-просапною сівозмінами – відповідно на 0,58 та 0,82 т/га. По роках дослідження найвищий збір цукру був у 2024 році у плодозмінній сівозміні – 7,40 т/га, а найменший у 2022 році у зерно-просапній сівозміні – 4,21 т/га.

Ефективною системою удобрення буряків цукрових у зерно-бурякових сівозмінах визначено внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни. Альтернативна збагачена на азот система удобрення забезпечила збір цукру у плодозмінній сівозміні 5,93 т/га, просапній – 5,31 т/га, зерно-просапній – 5,21 т/га. Порівняно з контролем без добрив збір цукру у плодозмінній сівозміні підвищився – на 1,71 т/га, просапній – на 1,24 т/га, зерно-просапній – на 1,23 т/га. За альтернативного удобрення збір цукру у плодозмінній сівозміні був вищим порівняно з просапною – на 0,62 т/га, зерно-просапною – на 0,72 т/га. Зазначена система удобрення незначно переважала за продуктивністю традиційну та збагачену на азот органо-мінеральні системи удобрення за досягнення найвищих показників у плодозмінній сівозміні. По роках дослідження найвищий збір цукру був у 2024 році у плодозмінній сівозміні – 7,18 т/га, а найменший у 2022 році у зерно-просапній сівозміні – 4,27 т/га.

Отже, в умовах недостатнього зволоження на чорноземі типовому слабкосолонцюватому збір цукру залежав переважно від погодних умов року, системи удобрення і структури сівозмін. В умовах сильної посухи 2024 року збір цукру був найвищий: у плодозмінній сівозміні – 7,18-7,34 т/га, просапній – 5,82-6,18 т/га, зерно-просапній – 5,45-5,68 т/га. У середньому за 2022-2024 рр. найвищий збір цукру був у плодозмінній сівозміні за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 5,93 т/га, тоді як у просапній та зерно-просапній сівозмінах був меншим на 0,62 та 0,72 т/га.

4.1.3 Ячмінь ярий

У сучасних сівозмінах ячмінь ярий посідає вагоме місце і переважно вирощується за післядії внесення добрив після просапних культур. У зерно-бурякових сівозмінах його вирощують після буряків цукрових. В умовах Лісостепу він здатен ефективно використовувати добрива у післядії і формує високу врожайність зерна [134, 140].

Дослідження проведені на ВПДСС в умовах недостатнього зволоження показали, що на чорноземі типовому слабкосолонцюватому ячмінь ярий добре відгукується на післядію добрив і в меншій мірі його врожайність залежала від структури сівозмін. Так, на контролі без добрив врожайність ячменю ярого у плодозмінній сівозміні становила 2,68 т/га, просапній – 2,58 т/га. За післядії добрив у плодозмінній сівозміні врожайність ячменю ярого була вища на 0,10 т/га, що було в межах похибки досліду. По роках дослідження найвища врожайність ячменю ярого була у 2023 році у плодозмінній сівозміні – 3,12 т/га, а найменша у 2022 році у просапній сівозміні – 2,20 т/га (табл. 4.5).

Застосування у сівозміні традиційної на основі гною органо-мінеральної системи удобрення з внесенням 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни врожайність ячменю ярого у плодозмінній сівозміні становила 3,21 т/га, просапній – 3,05 т/га, що порівняно з контролем без добрив було

вищим – 0,53 та 0,46 т/га. При цьому у плодозмінній сівозміні врожайність ячменю ярого була вища порівняно з просапною сівозміною на 0,16 т/га. По роках дослідження найвища врожайність ячменю ярого була у 2023 році у плодозмінній сівозміні – 3,69 т/га, а найменша у 2022 році у просапній сівозміні – 2,51 т/га.

Таблиця 4.5

Врожайність ячменю ярого залежно від удобрення і структури сівозмін, ВПДСС, т/га

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни (фактор А)	Роки			Середнє 2022-2024 рр.
		2022	2023	2024	
Плодозмінна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий) (фактор В)					
9	Контроль (без добрив)	2,23	3,12	2,70	2,68
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	2,53	3,69	3,40	3,21
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	2,60	3,71	3,34	3,22
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	2,58	3,80	3,37	3,25
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)					
27	Контроль (без добрив)	2,20	3,10	2,47	2,59
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	2,51	3,65	3,00	3,05
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	2,53	3,68	2,88	3,03
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	2,48	3,70	3,05	3,08
$НІР_{05}$ (фактор А)		0,11	0,14	0,16	0,13
$НІР_{05}$ (фактор В)		0,03	0,04	0,04	0,05
$НІР_{05}$ (фактор А+В)		0,14	0,19	0,20	0,18

Застосування збагаченої на органічний компонент органо-мінеральної системи удобрення забезпечило врожайність ячменю ярого на рівні з традиційним органо-мінеральним удобренням. За внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни врожайність ячменю ярого у плодозмінній сівозміні становила 3,22 т/га, просапній – 3,03 т/га. Порівняно з контролем без добрив збагачена на вуглець органо-мінеральна система удобрення підвищила врожайність ячменю ярого у вище зазначених сівозмінах – відповідно на 0,54 та 0,44 т/га. У плодозмінній сівозміні

врожайність ячменю ярого була незначно вища порівняно з просапною сівозміною – на 0,10 т/га. По роках дослідження найвища врожайність ячменю ярого була у 2023 році у плодозмінній сівозміні – 3,71 т/га, а найменша у 2022 році у просапній сівозміні – 2,53 т/га.

Ефективною системою удобрення ячменю ярого у зерно-бурякових сівозмінах визначено внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни. Альтернативна збагачена на азот система удобрення за післядії забезпечила врожайність ячменю ярого у плодозмінній сівозміні 3,25 т/га, просапній – 3,08, що було на рівні з традиційним органо-мінеральним удобренням. Порівняно з контролем без добрив врожайність альтернативне органо-мінеральне удобрення підвищило врожайність ячменю ярого у плодозмінній сівозміні – на 0,57 т/га, просапній – на 0,49 т/га. У плодозмінній сівозміні врожайність ячменю ярого була незначно вища порівняно з просапною сівозміною – на 0,18 т/га. По роках дослідження найвища врожайність ячменю ярого була у 2023 році у плодозмінній сівозміні – 3,80 т/га, а найменша у 2022 році у просапній сівозміні – 2,48 т/га.

Отже, в умовах недостатнього зволоження на чорноземі типовому слабкосолонцюватому найвищу врожайність ячменю ярого за післядії добрив отримали у плодозмінній сівозміні за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 3,25 т/га зі зростанням до контролю без добрив на 0,57 т/га. Зазначена система удобрення рівнялась за ефективністю традиційному на основі гною удобренню та системі удобрення збагаченій на вуглець. У просапній сівозміні врожайність ячменю ярого була менша на 0,17 т/га.

4.1.4 Кукурудза на силос та бобові культури

У сучасних сівозмінах широко вирощується зерно-бобова культура горох та просапна культура кукурудза на зерно та силос, натомість бобова культура еспарцет усе рідше вирощується у сучасних сівозмінах із-за

низького поголів'я великої рогатої худоби та відсутності потреби у кормовій базі. Проте сьогодні недостатньо наукових даних, які б засвідчували вплив цих культур на врожайність інших культур сівозміни та продуктивність сівозміни в цілому.

Дослідження проведені на ВПДСС в умовах недостатнього зволоження показали, що на чорноземі типовому слабкосолонцюватому врожайність еспарцету в умовах короткоротаційної плодозмінної сівозміни істотно залежала від системи удобрення. На контролі без добрив врожайність зеленої маси еспарцету становила 12,1 т/га, за внесення 1 га сівозміни 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ – 15,3 т/га, 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ – 15,9 т/га, продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ – 15,6 т/га. Порівняно з контролем без добрив зазначені органо-мінеральні системи удобрення сівозміни підвищили врожайність зеленої маси – відповідно на 3,2, 3,8 та 3,5 т/га. Незначно ефективнішою була система удобрення, яка передбачала внесення у сівозміні мінеральних добрив, гною і побічної продукції. По роках дослідження найвища врожайність зеленої маси еспарцету була у 2022 році, коли вегетаційний період характеризувався умовами достатнього зволоження – 20,0-20,7 т/на, натомість у посушливі 2023 та 2024 роки врожайність була значно менша і становила у варіантах з добривами відповідно 12,3-13,3 та 13,0-14,5 т/га (табл. 4.6).

Вирощування кукурудзи на силос в умовах просапної сівозміни показало, що її врожайність залежала від погодніх умов року та системи удобрення. На контролі без добрив врожайність кукурудзи на силос становила 33,4 т/га, за внесення 1 га сівозміни 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ – 40,3 т/га, 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ – 40,9 т/га, продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ – 41,8 т/га. Порівняно з контролем без добрив зазначені органо-мінеральні системи удобрення сівозміни підвищили врожайність кукурудзи на силос – відповідно на 6,9, 7,5 та 8,4 т/га. Незначно ефективнішою була система удобрення, яка передбачала внесення у сівозміні мінеральних добрив і побічної продукції. По роках дослідження найвища

врожайність кукурудзи на силос була у 2023 році за внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 49,9 т/га, а найменша посушливому 2024 році за внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 26,6 т/га.

Таблиця 4.6

Врожайність конюшини, кукурудзи на силос та гороху у сівозмінах залежно від системи удобрення, ВПДСС, т/га

№ вар.	Сівозміни (фактор В)	Внесено добрив на 1 га сівозміни (фактор А)	Роки			Середнє 2022-2024 рр.
			2022	2023	2024	
9	Ячмінь– еспарцет – пшениця озима- буряки цукрові (плодозмінна сівозміна)	Контроль (без добрив)	16,0	9,7	10,5	12,1
10		6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	20,0	13,0	13,0	15,3
11		6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	20,0	13,3	14,5	15,9
12		Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	20,7	12,3	13,8	15,6
27	Кукурудза на силос – пшениця озима- буряки цукрові-ячмінь (просапна сівозміна	Контроль (без добрив)	34,3	41,1	24,8	33,4
28		6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	45,0	49,2	26,6	40,3
29		6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	44,2	49,9	28,7	40,9
30		Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	48,2	49,5	27,8	41,8
63	пшениця озима- пшениця озима- буряки цукрові- горох (зерно-просапна сівозміна)	Контроль (без добрив)	1,36	1,72	1,21	1,43
64		6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	1,71	2,09	1,56	1,79
65		6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	1,71	2,16	1,60	1,82
66		Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	1,76	2,02	1,61	1,80
$НІР_{05}$			1,7	1,4	1,1	1,3
Р, %			2,2	1,9	2,0	2,1

Вирощування гороху в умовах зерно-просапної сівозміни показало, що його врожайність залежала від погодних умов та удобрення. На контролі без добрив врожайність гороху становила 1,43 т/га, за внесення 1 га сівозміни 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ – 1,79 т/га, 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ – 1,82 т/га, продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ – 1,80 т/га. Порівняно з контролем без добрив зазначені органо-мінеральні системи удобрення сівозміни підвищили врожайність гороху – відповідно на 0,36, 0,39 та 0,37 т/га. По роках дослідження найвища врожайність гороху була у 2023 році за внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни –

2,16 т/га, а найменша посушливому 2024 році за внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 1,56 т/га.

Отже, в умовах короткоротаційних сівозмін культури конюшина, кукурудза на силос та горох добре реагували на застосування добрив у сівозміні. За недостатнього зволоження на чорноземі типовому слабкосолонцюватому застосування традиційної та альтернативної органо-мінеральних систем удобрення співставно впливало на врожайність вище зазначених культур. Це дає підстави вважати, що у сучасному виробництві в умовах короткоротаційних сівозмін замість гною можна широко використовувати на добриво побічну продукцію сільськогосподарських культур, збільшуючи при цьому на третину дозу внесення азотних добрив.

4.2 Продуктивність буряків цукрових на чорноземі типовому залежно від удобрення і обробітку грунту

Дослідження Одрехівського А.Ф., Бабченка В.М., Барштейна Л.А. [82], Пономарчука М.В. [91] свідчать, що глибина основного обробітку грунту, а значить і глибина зороблляння добрив істотно впливають на врожайність буряків цукрових. Максимальної продуктивності цієї культури досягали за проведення глибокої оранки на 30-32 см.

Значної актуальності питання удобрення та обробітку грунту набули в період глобального потепління, оскільки їх раціональне поєднання дозволяє зберігати вологу у грунті та ефективно використовувати її рослинами. Резельтати досліджень проведених в умовах нестійкого зволоження на чорноземі типовому показали, що в середньому за 2023-2025 роки застосування мінеральної системи удобрення з внесенням мінеральних добрив в дозі $N_{90}P_{90}K_{90}$ та проведення мілкого обробітку ґрунту (12-14 см) забезпечили врожайність коренеплодів 35,9 т/га з коливаннями по роках дослідження від 26,1 т/га у 2024 році до 45,8 т/га у 2023 році (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

Продуктивність буряків цукрових залежно від удобрення і обробітку ґрунту, ІДСС, 2023-2025 рр.

№ вар	Глибина обробітку (фактор А)	Добрива (фактор В)	Врожай-ність, т/га	± до фону	Цукрис-тість, %	Збір цукру, т/га	± до фону
1	Мілкий обробіток 12-14 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	35,9	-	18,5	6,62	-
2		Фон + 5 т/га соломи	36,7	0,8	19,0	6,93	0,31
3		Фон + 5 т/га соломи + добрин, 2 л/га	37,8	1,9	18,7	7,03	0,41
4	Оранка 30-32 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	40,1	-	19,6	7,75	-
5		Фон + 5 т/га соломи	40,8	0,7	19,6	7,86	0,11
6		Фон + 5 т/га соломи + добрин, 2 л/га	41,9	1,8	19,2	7,96	0,21
$НІР_{05}$ (фактор А)			1,7		0,2		
$НІР_{05}$ (фактор В)			1,3		0,2		
$НІР_{05}$ (фактор А+В)			3,0		0,4		

Проведення глибокої оранки на тлі мінеральної системи удобрення збільшило врожайність коренеплодів порівняно з мілким обробітком ґрунту на 4,2 т/га за абсолютного показника – 40,1 т/га. Найефективнішим проведення оранки визначено у 2023 році – прибавка врожайності коренеплодів до мілкого обробітку ґрунту становила 8,6 т/га (додаток Б.9).

Додаткове внесення 5 т/га соломи на тлі дози мінеральних добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$ неістотно підвищило врожайність буряків цукрових до фону мінеральних добрив: за мілкого обробітку ґрунту на 12-14 см – на 0,8 т/га, глибокої оранки – на 0,7 т/га. При цьому проведення глибокої оранки та внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ підвищило врожайність коренеплодів порівняно з мілким обробітком ґрунту на 12-14 см – на 4,1 т/га за абсолютного показника 40,8 т/га.

Внесення гуматного добрива «Добрин» на тлі органо-мінеральних систем удобрення було не ефективним. Врожайність коренеплодів на тлі мілкого обробітку ґрунту на 12-14 см становила 37,8 т/га, глибокої оранки – 41,9 т/га. Глибокий обробіток ґрунту забезпечив підвищення врожайності коренеплодів порівняно з мілким обробітком ґрунту – на 3,1 т/га.

Встановлено, що на врожайність буряків цукрових вплив фактору глибини обробітку грунту становив 62%, органічних добрив – 27%. Обробіток грунту в умовах нестійкого зволоження істотніше впливав на формування врожайності буряків цукрових (рис. 4.2).

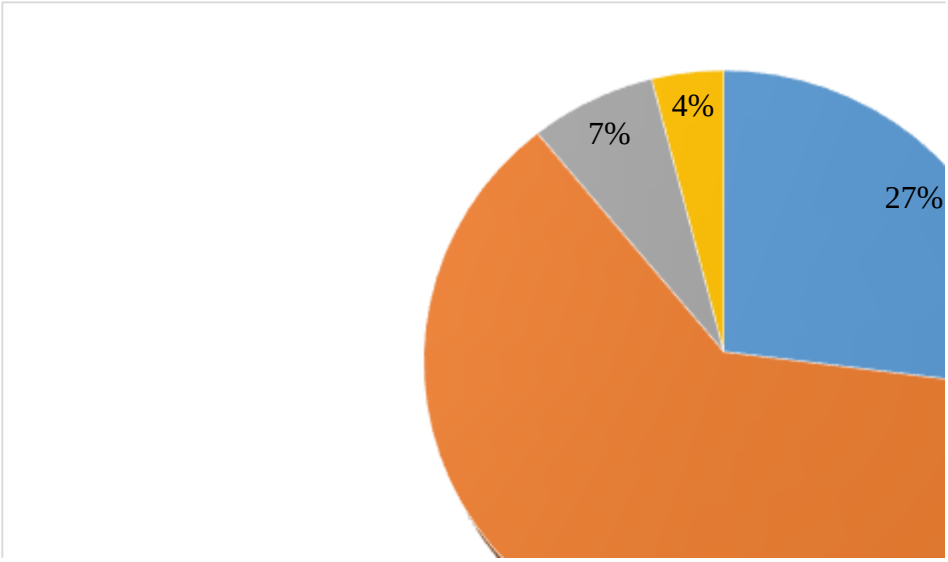


Рис. 4.2 **Вплив факторів на врожайність буряків цукрових, ІДСС, 2023-2025 рр.**

Систима удобрення та обробіток грунту впливали на накопичення цукрів у коренеплодах буряків цукрових. За мілкого обробітку грунту на 12-14 см та внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$ цукристість коренеплодів становила 18,5%, глибокої оранки на 30-32 см – 19,6%, що на 1,1% було вищим.

Внесення 5 т/га соломи на тлі дози мінеральних добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$ підвищило цукристість коренеплодів лише за мілкого обробітку на 0,5% порівняно з фоном мінеральних добрив і зберігало цукристість на попередньому рівні за глибокої оранки за абсолютних величин – відпповідно 19,0% та 19,6%. За глибокої оранки на 30-32 см цукристість коренеплодів порівняно з мілким обробітком грунту на 12-14 см була вища на 0,6%.

Внесення гуматного добрива «Добрин» на тлі органо-мінеральних систем удобрення супроводжувалось зниженням цукристості коренеплодів,

де мілкого обробітку ґрунту на 12-14 см вона становила 18,7%, глибокої оранки на 30-32 см – 19,2%.

Узагальнюючим показником продуктивності буряків цукрових є збір цукру. За мілкого обробітку грунту на 12-14 см та внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$ збір цукру становив 6,62 т/га, глибокої оранки на 30-32 см – 7,75 т/га з перевагою глибокої оранки за збором цукру на 1,13 т/га.

Внесення 5 т/га соломи на тлі дози мінеральних добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$ підвищило збір цукру до фону мінеральних добрив за обох обробітків грунту: за мілкого обробітку на 12-14 см – на 0,31 т/га, глибокої оранки – на 0,11 т/га. Проведення глибокої оранки та застосування органо-мінеральної системи удобрення мало вищий збір цукру порівняно з мілким обробітком ґрунту – на 0,93 т/га за абсолютного показника 7,86 т/га.

Внесення гуматного добрива «Добрин», 2 л/га на тлі органо-мінерального удобрення незначно підвищило збір цукру до органо-мінерального фону – за обох обробітків грунту на 0,10 т/га. За глибокої оранки збір цукру порівняно з мілким обробітком ґрунту був вищим – на 0,93 т/га за абсолютного показника 7,96 т/га.

Отже, в умовах нестійкого зволоження на чорноземі типовому найвищої продуктивності буряків цукрових досягнуто за проведення глибокої оранки на 30-32 см та внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Добрин», 2 л/га: врожайність коренеплодів – 41,9 т/га, цукристість – 19,2%, збір цукру – 7,96 т/га з підвищенням до мілкого обробітку грунту на 12-14 см за збором цукру – на 0,93 т/га.

Висновки до розділу 4

1. В умовах недостатнього зволоження (ВПДСС) на чорноземі типовому слабкосолонцюватому найефективнішим визначено вирощування пшениці озимої у плодозмінній сівозміні на тлі післядії 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ та побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га

сівозміни: врожайність зерна – відповідно 3,74 та 3,76 т/га; а також у зерно-просапній сівозміні за попередника гороху на тлі післядії 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ – врожайність зерна 3,77 т/га. Порівняно з контролем без добрив внесення під пшеницю озиму $N_{45}P_{45}K_{45}$ на тлі післядії органо-мінеральних систем удобрення підвищило врожайність зерна у плодозмінній сівозміні – на 0,85-0,87 т/га, зерно-просапній – на 0,41 т/га. У зерно-просапній сівозміні за повторних посівів пшениці озимої та просапній сівозмінах зазначені системи удобрення супроводжувались зменшенням врожайності зерна на 0,15 та 0,26-0,43 т/га, відповідно.

2. Врожайність буряків цукрових залежала переважно від удобрення і незначно залежала від структури сівозмін. За органо-мінеральних систем удобрення врожайність буряків цукрових у плодозмінній сівозміні прівняно з просапною та зерно-просапною сівозмінами була вища на 2,8-3,3 та 2,2-3,7 т/га, що було в межах похибки досліду. Порівняно з контролем без добрив органо-мінеральні системи удобрення підвищили врожайність коренеплодів на 8,6-9,4 т/га, де жодна із систем удобрення не мала значних переваг.

3. За недостатнього зволоження (ВПДСС) цукристість коренеплодів буряків цукрових залежала переважно від посушливості погодних умов року, менше залежала від удобрення та структури сівозмін. За сильної посухи 2024 року цукристість коренеплодів була найвища: у плодозмінній сівозміні – 18,1-18,7%, просапній – 18,4-18,9%, зерно-просапній – 17,7-18,1%. У середньому за 2022-2024 рр. найвищу цукристість коренеплодів спостерігали у плодозмінній сівозміні за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 18,1%, тоді як у просапній та зерно-просапній сівозмінах вона була менша на 0,2%.

4. Найвищий збір цукру на чорноземі типовому слабкосолонцюватому (ВПДСС) отримали в умовах сильної посухи 2024 року: у плодозмінній сівозміні – 7,18-7,34 т/га, просапній – 5,82-6,18 т/га, зерно-просапній – 5,45-5,68 т/га. У середньому за 2022-2024 рр. найвищий збір цукру був у плодозмінній сівозміні за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га

сівозміни – 5,93 т/га, тоді як у просапній та зерно-просапній сівозмінах він був меншим на 0,62 та 0,72 т/га.

5. Врожайність ячменю ярого за післядії добрив найвища була у плодозмінній сівозміні за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 3,25 т/га зі зростанням до контролю без добрив на 0,57 т/га. У просапній сівозміні врожайність ячменю ярого була менша на 0,17 т/га. Інші системи удобрення у сівозмінах були співставними за ефективністю з альтернативним органо-мінеральним удобренням.

6. За недостатнього зволоження (ВПДСС) культури конюшина, кукурудза на силос та горох добре реагували на застосування добрив у короткоротаційних сівозмінах, при цьому традиційні та альтернативні органо-мінеральні системи удобрення співставно впливали на врожайність вище зазначених культур. Це дає підстави вважати, що в умовах короткоротаційних сівозмін замість гною можна широко використовувати на добриво побічну продукцію сільськогосподарських культур, збільшуючи при цьому на третину дозу внесення азотних добрив.

7. За нестійкого зволоження (ІДСС) врожайність буряків цукрових залежала від удобрення та глибини обробітку грунту. Найвищої продуктивності буряків цукрових досягли за проведення глибокої оранки на 30-32 см та внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Добрин», 2 л/га: врожайність коренеплодів – 41,9 т/га, цукристість – 19,2%, збір цукру – 7,96 т/га з підвищенням збору цукру до мілкого обробітку грунту на 12-14 см – на 0,93 т/га.

Основні результати розділу висвітлені у праці [44, 45, 46, 49, 92].

РОЗДІЛ 5
ПРОДУКТИВНІСТЬ КОРОТКОРОТАЦІЙНИХ СІВОЗМІН ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ

Однією із цілей системи удобрення є досягнення високої продуктивності короткоротаційних сівозмін. Серед факторів, що впливають на продуктивність сівозмін є врожайність сільськогосподарських культур та структура сівозмін. Підбір високопродуктивних культур та оптимізація системи удобрення здатні істотно підвищити продуктивність сівозмін у сучасному землеробстві [110].

Результати досліджень показали, що в умовах стаціонарного досліду на контролі без добрив у чотирипільній плодозмінній сівозміні (еспарцет-пшениця озима-буряки цукрові-ячмінь ярий) найвищу біологічну врожаність та кормову продуктивність формували буряки цукрові – 7,79 т к.од/га, дещо поступались пшениця озима та ячмінь ярий – 4,30 та 3,99 т к.од/га, а найменша кормова продуктивність відмічена у еспарцету – 2,42 т к.од/га (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Продуктивність культур плодозмінної сівозміни залежно від удобрення, ВПДСС, т к.од./га, 2022-2024 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни, кг/га	Складові врожаю	Культури			
			*еспарцет	пшениця озима	буряки цукрові	ячмінь ярий
9	Без добрив (контроль)	зерно	2,42	3,47	5,90	3,22
		солома		0,83	1,89	0,77
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	зерно	3,06	4,38	8,05	3,85
		солома		1,04	2,58	0,92
11	6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	зерно	3,18	4,49	8,25	3,86
		солома		1,07	2,64	0,92
12	ПП + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	зерно	3,12	4,51	8,15	3,90
		солома		1,08	2,61	0,93

*Зелена маса еспарцету

Застосування органо-мінеральних систем удобрення істотно підвищило кормову продуктивність сільськогосподарських культур у плодозмінній сівозміні. За внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни кормова продуктивність буряків цукрових порівняно з контролем без добрив підвищилась на 2,84 т к.од./га, пшениці озимої – на 1,12, ячменю ярого – на 0,78, еспарцету – на 0,64 за абсолютних величин – 10,63, 5,42, 4,77 та 3,06 т к.од./га. Буряки цукрові були провідною культурою у формуванні кормової продуктивності плодозмінної сівозміни і за обсягом кормових одиниць переважали інші культури більш, ніж удвічі.

Висока продуктивність плодозмінної сівозміни досягалась за внесення мінеральних добрив і побічної продукції. У варіанті з внесенням побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни кормова продуктивність буряків цукрових становила 10,76 т к.од./га, пшениці озимої – 5,59, ячменю ярого – 4,83, еспарцету – 3,12, що порівняно з контролем без добрив було вищим на 2,97, 1,29, 0,84 та 0,79 т к.од./га, відповідно.

Співстаним за впливом на кормову продуктивність плодозмінної сівозміни порівняно з вище зазначеними системами удобрення визначено внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни. Збагачена на органічний компонент система удобрення забезпечила кормову продуктивність буряків цукрових – 10,89 т к.од./га, пшениці озимої – 5,56, ячменю ярого – 4,78, еспарцету – 3,18, що порівняно з контролем без добрив було вищим на 3,10, 1,26, 0,79 та 0,76 т к.од./га, відповідно.

В умовах просапної сівозміни (кукурудза на силос-пшениця озима-буряки цукрові-ячмінь ярий) продуктивність буряків цукрових та зернових культур незначно знижувалась порівняно з плодозмінною сівозміною, натомість введення до структури сівозміни кукурудзи на силос підвищувало її загальну продуктивність. У контролі без добрив кормова продуктивність буряків цукрових становила 7,36 т к.од/га, пшениці озимої – 4,28, ячменю ярого – 3,85, кукурудзи на силос – 6,01 т к.од/га. Найвищу кормову продуктивність у кормовій сівозміні формували буряки цукрові та кукурудза

на силос, тоді як пшениця озима та ячмінь ярий синтезували значно менші обсяги органічної речовини. Порівняно з буряками цукровими синтез пшеницею озимою органічної речовини був меншим у 1,72 рази, ячменем ярим – у 1,91 рази (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Продуктивність культур просапної сівозміни залежно від удобрення,

ВПДСС, т к.од./га, 2022-2024 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни, кг/га	Складові врожаю	Культури			
			* кукурудза на силос	пшениця озима	буряки цукрові	ячмінь ярий
27	Без добрив (контроль)	зерно	6,01	3,46	5,58	3,11
		солома		0,82	1,78	0,74
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	зерно	7,25	4,00	7,35	3,66
		солома		0,95	2,35	0,87
29	6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	зерно	7,36	4,18	7,42	3,64
		солома		1,00	2,38	0,87
30	ПП + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	зерно	7,52	4,00	7,45	3,70
		солома		0,95	2,38	0,88

*Зелена маса кукурудзи на силос

Застосування органічних та мінеральних добрив істотно підвищило кормову продуктивність сільськогосподарських культур у просапній сівозміні. За внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни кормова продуктивність буряків цукрових порівняно з контролем без добрив підвищилась на 2,34 т к.од./га, пшениці озимої – на 0,67, ячменю ярого – на 0,68, кукурудзи на силос – на 1,24 за абсолютних величин – 9,70, 4,95, 4,53 та 7,25 т к.од./га. Буряки цукрові та кукурудза на силос найкраще відгукувались на внесення гною та мінеральних добрив і істотніше підвищили кормову продуктивність порівняно з пшеницею озимою та ячменем ярим.

Ефективною у просапній сівозміні визначено альтернативну органо-мінеральну систему удобрення сільськогосподарських культур. За внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни кормова продуктивність буряків цукрових становила 9,83 т к.од./га, пшениці озимої – 4,95, ячменю

ярого – 4,58, кукурудзи на силос – 7,52, що порівняно з контролем без добрив було вищим на 2,47, 0,67, 0,73 та 1,51 т к.од./га, відповідно.

Поєднане внесення гною, побічної продукції та мінеральних добрив у просапній сівозміні не мало істотних переваг порівняно з вище згадами системами удобрення. За внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни кормова продуктивність буряків цукрових становила 9,80 т к.од./га, пшениці озимої – 5,18, ячменю ярого – 4,51, кукурудзи на силос – 7,36, що порівняно з контролем без добрив було вищим на 2,44, 0,90, 0,66 та 1,35 т к.од./га, відповідно.

У зерно-просапній сівозміні (пшениця озима-пшениця озима-буряки цукрові-горох) на контролі без добрив кормова продуктивність буряків цукрових становила 7,36 т к.од/га, пшениці озимої після попередника гороху – 4,99, за повторних посівів пшениці озимої – 4,11, гороху – 2,23 т к.од/га. Найвищу кормову продуктивність у зерно-просапній сівозміні формували буряки цукрові, найменшу горох, пшениця озима мала середні показники кормової продуктивності. Порівняно з буряками цукровими синтез пшеницею озимою органічної речовини за попередника гороху був меншим у 1,48 рази, за повторних посівів – у 1,79 рази, горохом – у 3,30 рази (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Продуктивність культур зерно-просапної сівозміни залежно від удобрення, ВПДСС, т к.од./га, 2022-2024 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни, кг/га	Складові врожаю	Культури			
			пшениця озима	пшениця озима	буряки цукрові	горох
63	Без добрив (контроль)	зерно	4,03	3,32	5,58	1,86
		солома	0,96	0,79	1,78	0,37
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	зерно	4,52	4,20	7,13	2,33
		солома	1,08	1,00	2,28	0,47
65	6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	зерно	4,38	4,00	7,70	2,37
		солома	1,04	0,95	2,46	0,47
66	ПП + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	зерно	4,33	4,01	7,28	2,34
		солома	1,03	0,96	2,33	0,47

Кормова продуктивність сільськогосподарських культур у зерно-просапній сівозміні істотно зростала за застосування органічних та мінеральних добрив. За внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни кормова продуктивність буряків цукрових порівняно з контролем без добрив підвищилась на 2,05 т к.од./га, пшениці озимої після попередника гороху – на 0,61, за повторних посівів пшениці озимої – на 1,09, гороху – на 0,57 за абсолютних величин – 9,41, 5,60, 5,20 та 2,80 т к.од./га. Буряки цукрові найкраще відгукувались на внесення гною та мінеральних добрив і істотніше підвищили кормову продуктивність порівняно з пшеницею озимою та горохом.

Ефективною у зерно-просапній сівозміні визначено альтернативну органо-мінеральну систему удобрення сільськогосподарських культур. За внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни кормова продуктивність буряків цукрових становила 9,61 т к.од./га, пшениці озимої після попередника гороху – 5,36, за повторних посівів пшениці озимої – 4,97, гороху – 2,81, що порівняно з контролем без добрив було вищим на 2,25, 0,37, 0,86 та 0,58 т к.од./га, відповідно.

Поєднане внесення гною, побічної продукції та мінеральних добрив у зерно-просапній сівозміні було на рівні за ефективністю порівняно з вище згадами системами удобрення. За внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни кормова продуктивність буряків цукрових становила 10,16 т к.од./га, пшениці озимої після попередника гороху – 5,42, за повторних посівів пшениці озимої – 4,95, гороху – 2,84, що порівняно з контролем без добрив було вищим на 2,80, 0,43, 0,84 та 0,61 т к.од./га, відповідно.

Отже, в усіх сівозмінах застосування органо-мінеральних систем удобрення визначено співставним за впливом на кормову продуктивність сільськогосподарських культур. Серед культур короткоротаційних сівозмін найкраще відгукувались на внесення добрив буряки цукрові і кукурудза на

силос, гірше пшениця озима та ячмінь ярий, найменшу відзивчивість мали горох та еспарцет.

Розрахунок середньої по сівозміні кормової продуктивності показав, що у контролі без добрив найвищу продуктивність мала просапна сівозміна – 5,38 т к.од./га, нижчу і співставну між собою – плодозмінна і зерно-просапна сівозміни – 4,63 та 4,67 т к.од./га, відповідно. За збором зерна найпродуктивніша була зерно-просапна сівозміна – 1,89 т/га сівозміни, тоді як у плодозмінній сівозміні збір зерна становив 1,39, просапній – 1,37 т/га сівозміни. За збором цукру сівозміни були співставстні між собою: плодозмінна – 1,06, просапна – 1,02, зерно-просапна – 1,00 т/га сівозмінної площі (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

Продуктивність зерно-бурякових сівозмін залежно від удобрення,

ВПДСС, 2022-2024 рр., т/га сівозміни

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни	Кормових одиниць	Збір зерна	Збір цукру
Плодозмінна (еспарцет– пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)				
9	Контроль (без добрив)	4,63	1,39	1,06
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	5,97	1,72	1,43
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	6,10	1,74	1,46
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	6,08	1,75	1,48
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)				
27	Контроль (без добрив)	5,38	1,37	1,02
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	6,61	1,60	1,33
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	6,71	1,63	1,32
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	6,72	1,60	1,33
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)				
63	Контроль (без добрив)	4,67	1,89	1,00
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	5,75	2,27	1,27
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	5,84	2,20	1,26
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	5,69	2,19	1,30

Кормова продуктивність усіх сівозмін істотно зростала за застосування органічних і мінеральних добрив. За традиційної органо-мінеральної системи удобрення (6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни) кормова продуктивність плодозмінної сівозміни порівняно з контролем без добрив підвищилась на 1,34 т к.од./га, просапної – на 1,23, зерно-просапної – на 1,08 за абсолютних величин 5,97, 6,61 та 5,75 т к.од./га сівозміни, відповідно. Внесення гною та мінеральних добрив підвищило збір зерна порівняно з контролем без добрив у плодозмінній сівозміні на 0,34 т/га, просапній – на 0,23, зерно-просапній – на 0,38 за абсолютних величин 1,60, 1,72 та 2,27 т/га сівозміни, відповідно. Органічні та мінеральні добрива підвищили збір цукру порівняно з контролем без добрив у плодозмінній сівозміні на 0,37 т/га, просапній – на 0,31, зерно-просапній – на 0,27 за абсолютних величин 1,43, 1,33 та 1,27 т/га сівозміни, відповідно. При цьому кормова продуктивність найвища була просапної сівозміни, зернова – зерно-просапної, тоді як за збором цукру найпродуктивніша була плодозмінна сівозміна.

За впливом на кормову, зернову продуктивність та збір цукру у короткоротаційних сівозмінах альтернативна органо-мінеральна система удобрення не поступалась за ефективністю традиційному удобренню, коли вносили гній. За внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни кормова продуктивність плодозмінної сівозміни становила 6,08 т к.од./га, просапної – 6,72, зерно-просапної – 5,69 зі зростанням до контролю без добрив на 1,45, 1,34 та 1,02 т к.од./га сівозміни, відповідно. Заорювання побічної продукції та мінеральних добрив підвищило збір зерна порівняно з контролем без добрив у плодозмінній сівозміні на 0,36 т/га, просапній – на 0,23, зерно-просапній – на 0,30 за абсолютних величин 1,75, 1,60 та 2,19 т/га сівозміни, відповідно. Побічна продукція та мінеральні добрива підвищили збір цукру порівняно з контролем без добрив у плодозмінній сівозміні на 0,42 т/га, просапній – на 0,31, зерно-просапній – на 0,30 за абсолютних величин 1,48, 1,33 та 1,30 т/га сівозміни, відповідно. Кормова продуктивність

найвища була просапної сівозміни, зернова – зерно-просапної, а за збором цукру найпродуктивніша була плодозмінна сівозміна.

Збагачена на органічний компонент органо-мінеральна система удобрення не мала переваг щодо впливу на продуктивність сівозмін порівняно з традиційною та альтернативною системами удобрення. За внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни кормова продуктивність плодозмінної сівозміни становила 6,10 т к.од./га, просапної – 6,71, зерно-просапної – 5,84 зі зростанням до контролю без добрив – на 1,47, 1,33 та 1,02 т к.од./га сівозміни. Внесення гною, побічної продукції та мінеральних добрив підвищило збір зерна порівняно з контролем без добрив у плодозмінній сівозміні на 0,35 т/га, просапній – на 0,26, зерно-просапній – на 0,31 за абсолютних величин 1,74, 1,63 та 2,20 т/га сівозміни, відповідно. Гній, побічна продукція та мінеральні добрива підвищили збір цукру порівняно з контролем без добрив у плодозмінній сівозміні на 0,40 т/га, просапній – на 0,30, зерно-просапній – на 0,26 за абсолютних величин 1,45, 1,32 та 1,26 т/га сівозміни, відповідно. Кормова продуктивність найвища була просапної сівозміни, зернова – зерно-просапної, а за збором цукру найпродуктивніша була плодозмінна сівозміна.

Встановлено високий рівень кореляційної залежності між вмістом рухомого фосфору у грунті і продуктивністю сівозмін з коефіцієнтом детермінації r^2 = 0,7044, між вмістом рухомого калію у грунті і продуктивністю сівозмін з коефіцієнтом детермінації r^2 = 0,6815 (рис. 5.1-5.2).

Натомість кореляційна залежність між вмістом гумусу у грунті і продуктивністю сівозмін була низькою з коефіцієнтом детермінації r^2 = 0,5215 (рис. 5.3).

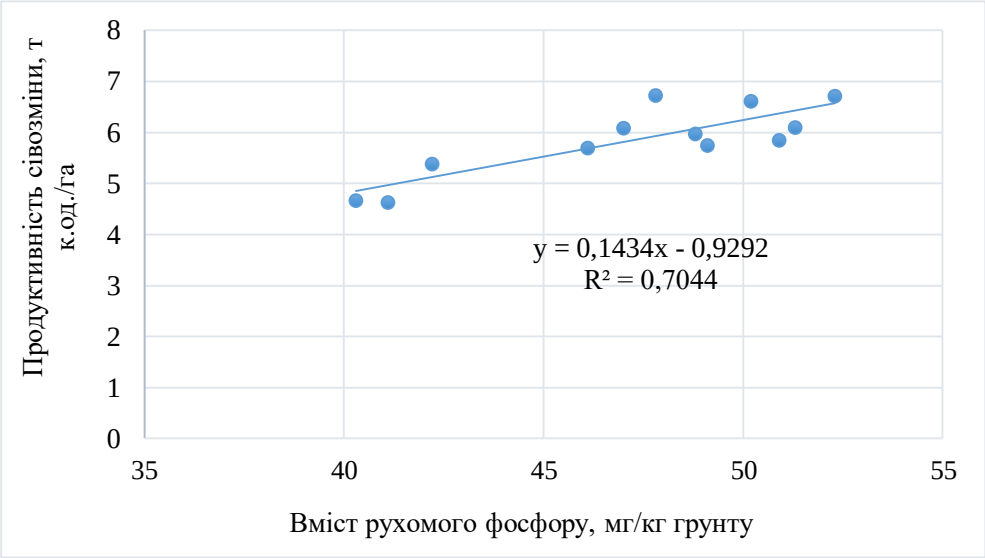


Рис. 5.1 Кореляційна залежність між вмістом рухомого фосфору у грунті і продуктивністю сівозмін, ВПДСС, 2022-2024 рр.

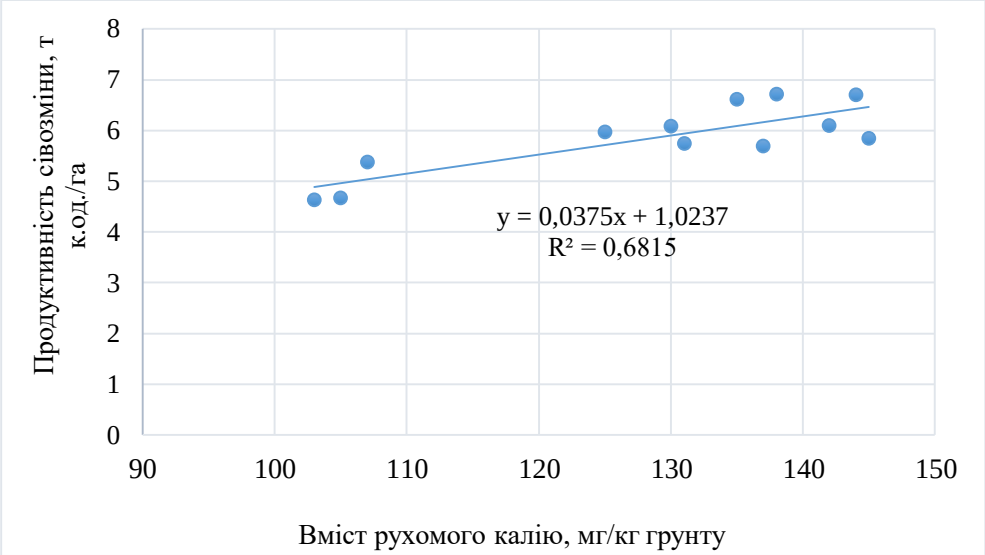


Рис. 5.2 Кореляційна залежність між вмістом рухомого калію у грунті і продуктивністю сівозмін, ВПДСС, 2022-2024 рр.

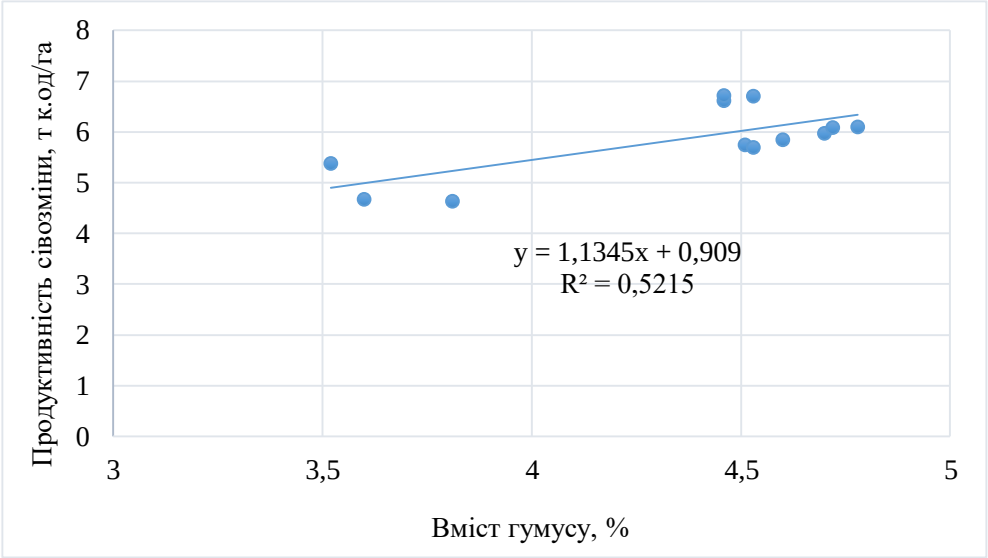


Рис. 5.3 Кореляційна залежність між вмістом гумусу у грунті і продуктивністю сівозмін, ВПДСС, 2022-2024 рр.

Отже, застосування традиційних та альтернативних органо-мінеральних систем удобрення у чотирипільних сівозмінах визначено співставним за впливом на кормову їх продуктивність, збір зерна та збір цукру. За органо-мінерального удобрення найвища кормова продуктивність досягалась просапної сівозміни – 6,61-6,72 т к.од./га сівозміни, збір зерна у зерно-просапній сівозміні – 2,19-2,27 т/га, збір цукру у плодозмінній сівозміні – 1,43-1,48 т/га сівозмінної площі.

Висновки до розділу 5

1. Застосування органо-мінеральних систем удобрення визначено співставним за впливом на кормову продуктивність сільськогосподарських культур у чотирипільних сівозмінах. Серед культур короткоротаційних сівозмін найкраще відгукувались на внесення добрив буряки цукрові і кукурудза на силос, гірше пшениця озима та ячмінь ярий, найменшу відзивчивість мали горох та еспарцет.

2. Найвищу кормову продуктивність буряків цукрових і еспарцету отримали у плодозмінній сівозміні за внесення 6,3 т/га гною + побічна

продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ – 10,89 та 3,18 т к.од./га, пшениці озимої та ячменю ярого у цій же сівозміні за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ – 5,59 та 4,83, кукурудзи на силос у просапній сівозміні за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ – 7,52, гороху у зерно-просапній сівозміні за внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ – 2,84 т к.од. на 1 га сівозмінної площі.

3. Застосування традиційних та альтернативних органо-мінеральних систем удобрення у чотирипільних сівозмінах визначено співставним за впливом на кормову їх продуктивність, збір зерна та збір цукру. За органо-мінерального удобрення найвища кормова продуктивність досягалась просапної сівозміни – 6,61-6,72 т к.од./га сівозміни, збір зерна у зерно-просапній сівозміні – 2,19-2,27 т/га, збір цукру у плодозмінній сівозміні – 1,43-1,48 т/га сівозмінної площі. Застосування добрив підвищило кормову продуктивність просапної сівозміни порівняно з контролем без добрив – на 1,23-1,34 т к.од./га сівозміни, збір зерна у зерно-просапній сівозміні – на 0,30-0,38 т/га, збір цукру у плодозмінній сівозміні – на 1,34-1,47 т/га сівозмінної площі.

Основні результати розділу висвітлені у працях [45].

РОЗДІЛ 6
БАЛАНС ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ У СІВОЗМІНАХ ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ

Стале виробництво сільськогосподарської продукції потребує експертної оцінки мінерального живлення сільськогосподарських культур. Баланс елементів живлення є ключовим індикатором такої оцінки. Сталість технології вирощування сільськогосподарських культур базується на додатньому балансі елементів живлення у грунті, коли надходження елементів живлення у грунт рівняється або переважає їх винос рослинами, а система удобрення забезпечує сталість поживного режиму грунту.

Визначення показників балансу потребує встановлення виносу елементів живлення рослинами, який залежить вмісту сухої речовини та елементів живлення в рослинах на момент збирання врожаю та величини врожаю. За усередними даними досліджень у стаціонарному досліді ВПДСС упродовж 2022-2024 рр. еспарцет у зеленій масі на момент збирання містив сухої речовини 17,6%, азоту – 2,28%, фосфору – 0,84%, калію – 2,11%; буряки цукрові у коренеплодах – 24,2%, 0,87%, 0,30%, 1,13%, листках – відповідно 14,6%, 2,41%, 0,70%, 2,65%; пшениця озима у зерні – 84,8%, 2,32%, 0,92%, 0,80%, соломі – 85,1%, 0,67%, 0,20%, 1,36%; ячмінь ярий у зерні – 85,2%, 2,23%, 0,88%, 0,69%, соломі – 85,1%, 0,78%, 0,25%, 1,41%; кукурудза на силос – 31,3%, 1,20%, 0,37%, 1,31%; горох у насінні – 85,0%, 3,71%, 1,02%, 1,48%, соломі – 85,1%, 1,12%, 0,30%, 1,54% (табл. 6.1).

У зеленій масі еспарцету азот і калій у 2,5-2,7 рази переважав вміст фосфору. У зерні пшениці озимої накопичувався переважно азот, який у 2,5 рази переважав вміст фосфору та 2,9 рази вміст калію. Солома пшениці озиму концентрувала переважно калій, який у 2,0 рази переважав вміст

азоту та 6,8 рази вміст фосфору. Хімічний склад врожаю ячменю ярого був близьким до хімічного складу пшениці озимої. Буряки цукрові у листковій масі накопичували переважно азот і калій, вміст яких у 3,4-3,8 рази переважав вміст фосфору. У коренеплодах вміст елементів був у 2,4-2,8 разів меншим, ніж у листках з домінуванням азоту і калію. Зелена маса кукурудзи містила більше азоту і калію, ніж фосфору, а порівняно з еспарцетом вміст елементів живлення був у 2 рази меншим. Горох у насінні містив у три рази більше азоту і калію, ніж фосфору і у стільки разів його вміст переважав вміст азоту у соломі.

Таблиця 6.1

Вміст елементів живлення в урожаї культур чотирипільних сівозмін, ВПДСС, %, 2022-2024 рр.

№ п/п	Культура	Складові рослин	Суха речовина, %	Вміст у сухій речовині, %		
				N	P	K
1	Еспарцет	зелена маса	17,6	2,28	0,84	2,11
2	Буряки цукрові	коренеплоди	24,2	0,87	0,30	1,13
		листки	14,6	2,41	0,70	2,65
3	Пшениця озима	зерно	84,8	2,32	0,92	0,80
		солома	85,1	0,67	0,20	1,36
4	Ячмінь ярий	зерно	85,2	2,23	0,88	0,69
		солома	85,1	0,78	0,25	1,41
5	Кукурудза на силос	зелена маса	31,3	1,20	0,37	1,31
6	Горох	насіння	85,0	3,71	1,02	1,48
		солома	85,1	1,12	0,30	1,54

Примітка: у таблиці наведено усереднені дані досліджень здобувача щодо вмісту елементів живлення в урожаї культур

Дослідженнями встановлено, що у плодозмінній сівозміні сумарний винос елементів живлення на контролі без добрив найбільшим був у посівах буряків цукрових – 176 кг/га, в тому числі азоту – 63, фосфору – 27, калію – 86 кг/га. Незначно меншим сумарний винос поживних речовин був у посівах пшениці озимої – 160 кг/га та ячменю ярого – 151 кг/га. У виносі зернових культур переважав азот, якого рослини виносили у 2,7-2,8 разів більше ніж фосфору та у 1,3-1,4 разів більше ніж калію. Сумарний винос елементів

живлення еспарцетом поступався вище зазначеним культур і становив 112 кг/га. У складі виносу переважав азот і калій, тоді як фосфору рослини виносили у 2,5-2,7 разів менше (табл. 6.2).

Таблиця 6.2

Винос елементів живлення у плодозмінній сівозміні за різного удобрення, ВПДСС, кг/га, 2022-2024 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни, кг/га	Елементи живлення	Культури				Винос на 1 га сівозміни
			*еспарцет	пшениця озима	буряки цукрові	ячмінь ярий	
			1	2	3	4	
9	Без добрив (контроль)	N	49	75	63	73	65
		P	18	28	27	26	25
		K	45	57	86	52	60
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	N	61	95	113	84	88
		P	23	36	36	34	32
		K	57	71	138	61	82
11	6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	N	64	97	117	85	91
		P	24	36	38	34	33
		K	59	73	141	62	84
12	ПП + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	N	63	97	115	86	90
		P	23	36	38	32	32
		K	58	74	139	63	84

*Зелена маса еспарцету

Застосування традиційної органо-мінеральної системи удобрення (6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни) значно збільшило винос елементів живлення у сівозміні. На 1 га сівозмінної площі сільськогосподарські культури виносили азоту – 88 кг/га, фосфору – 32, калію – 82 кг/га, що порівняно з контролем без добрив було більшим – відповідно на 23, 7 та 22 кг/га. Найбільше елементів живлення із грунту виносили буряки цукрові: азоту – 113 кг/га, фосфору – 36, калію – 138 кг/га. Дещо менше виносила пшениця озима: азоту – 95 кг/га, фосфору – 36, калію – 71 кг/га. Ячмінь ярий виносив азоту – 84 кг/га, фосфору – 34, калію – 61 кг/га, чим поступався пшениці озимій. Найменші обсяги виносу елементів живлення спостерігали в посівах еспарцету: азоту – 61 кг/га, фосфору – 23, калію – 57 кг/га.

Органо-мінеральні системи удобрення з додаванням побічної продукції або за заміни гною на побічну продукцію за обсягами виносу елементів живлення були співставні з традиційним органо-мінеральним удобренням. За внесення на 1 га сівозмінної площі 6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ сільськогосподарські культури виносили з одного гектара ріллі азоту – 91 кг/га, фосфору – 33, калію – 84 кг/га; за внесення ПП + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ – відповідно 90, 32 та 84 кг/га сівозміни. Порівняно з контролем без добрив органо-мінеральні системи удобрення збільшили винос азоту із грунту у 1,4 рази, фосфору – у 1,3 рази, калію – у 1,4 рази. Посіви буряків цукрових найбільше виносили поживних речовин, а найменше виносили посіви еспарцету.

В умовах просапної сівозміни на контролі без добрив винос елементів живлення із грунту був значно більшим, ніж у плодозмінній сівозміні. Введення кукурудзи на силос до структури сівозміни істотно збільшило винос елементів живлення із грунту, що спричинено високою її врожайністю. Винос азоту у сівозміні на контролі без добрив становив 87 кг/га, фосфору – 29, калію – 85 кг/га сівозміни. Найбільше елементів живлення у сівозміні виносила кукурудза на силос – сумарний винос 302 кг/га, в тому числі азоту – 126, фосфору – 39, калію – 137 кг/га. Буряки цукрові виносили значно менше елементів живлення – сумарний винос 199 кг/га, з них азоту – 78, фосфору – 25, калію – 96 кг/га. Сумарний винос елементів живлення пшеницею озимою становив 160 кг/га, ячменем ярим – 142 кг/га. У складі виносу елементів живлення на 1 га сівозміни переважали азот і калій за співвідношення N:P:K = 3,0:1:2,9 (табл. 6.3).

Застосування традиційної органо-мінеральної системи удобрення (6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни) збільшило винос елементів живлення у просапній сівозміні порівняно з контролем без добрив по азоту – на 18 кг/га, фосфору – на 7, калію – на 19 за абсолютного виносу – відповідно 105, 36 та 104 кг/га сівозміни. Найбільше елементів живлення із грунту виносила кукурудза на силос: азоту – 151 кг/га, фосфору – 47, калію – 165 кг/га. Менше виносили буряки цукрові: азоту – 103 кг/га, фосфору – 33,

калію – 127 кг/га. Пшениця озима виносила азоту – 87 кг/га, фосфору – 32, калію – 65 кг/га, ячмінь ярий – відповідно 80, 30 та 58 кг/га. У складі виносу елементів живлення на 1 га сівозміни формувалось співвідношення N:P:K=2,9:1:2,9.

Таблиця 6.3

Винос елементів живлення у просапній сівозміні за різного удобрення,

ВПДСС, кг/га, 2022-2024 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни, кг/га	Елементи живлення	Культури				Винос на 1 га сівозміни
			* кукурудза на силос	пшениця озима	буряки цукрові	ячмінь ярий	
			1	2	3	4	
27	Без добрив (контроль)	N	126	75	78	68	87
		P	39	28	25	25	29
		K	137	57	96	49	85
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	N	151	87	103	80	105
		P	47	32	33	30	36
		K	165	65	127	58	104
29	6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	N	154	91	104	79	107
		P	47	34	34	30	36
		K	168	68	127	58	105
30	ПП + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33}$	N	157	87	103	80	107
		P	48	32	34	30	36
		K	171	65	129	59	106

*Зелена маса кукурудзи на силос

За органо-мінеральних систем удобрення з додаванням побічної продукції або заміни гною на побічну продукцію обсяги виносу елементів живлення були співставні з традиційним органо-мінеральним удобренням. За внесення на 1 га сівозмінної площі 6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ сільськогосподарські культури виносили з одного гектара ріллі азоту – 107 кг/га, фосфору – 36, калію – 105 кг/га; за внесення ПП + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ – відповідно 107, 36 та 106 кг/га сівозміни. Порівняно з контролем без добрив органо-мінеральні системи удобрення збільшили винос азоту, фосфору і

калію із грунту у 1,2 рази. Посіви кукурудзи на силос найбільше виносили поживних речовин, а найменше виносили посіви ячменю ярого.

У зерно-просапній сівозміні на контролі без добрив винос елементів живлення із грунту був співставним із плодозмінною сівозміною. Винос азоту у сівозміні на контролі без добрив становив 74 кг/га, фосфору – 25, калію – 64 кг/га сівозміни. Найбільше елементів живлення у сівозміні виносили буряки цукрові – сумарний винос 199 кг/га, в тому числі азоту – 78, фосфору – 25, калію – 96 кг/га. Незначно менше виносила пшениця озима. За попередника гороху сумарний винос елементів пшеницею озимою становив 185 кг/га, за повторних посіві пшениці – 153 кг/га. Сумарний винос елементів живлення горохом становив 115 кг/га, в тому числі азоту – 60, фосфору – 16, калію – 39 кг/га. У складі виносу елементів живлення на 1 га сівозміни переважали азот і калій за співвідношення N:P:K = 3,0:1:2,6 (табл. 6.4).

Таблиця 6.4

Винос елементів живлення у зерно-просапній сівозміні за різного удобрення, ВПДСС, кг/га, 2022-2024 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни, кг/га	Елементи живлення	Культури				Винос на 1 га сівозміни
			пшениця озима	пшениця озима	буряки цукрові	горох	
			1	2	3	4	
63	Без добрив (контроль)	N	87	72	78	60	74
		P	32	27	25	16	25
		K	66	54	96	39	64
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	N	98	91	100	75	91
		P	39	34	33	21	32
		K	74	69	122	49	79
65	6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	N	95	87	108	76	92
		P	36	32	35	21	31
		K	71	65	132	49	79
66	ПП + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	N	94	88	102	75	90
		P	35	32	33	22	31
		K	71	66	125	50	78

Застосування традиційної органо-мінеральної системи удобрення (6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни) збільшило винос елементів

живлення у зерно-просапній сівозміні порівняно з контролем без добрив по азоту – на 17 кг/га, фосфору – на 7, калію – на 15 за абсолютного виносу – відповідно 91, 32 та 79 кг/га сівозміни. Найбільше елементів живлення із грунту виносили буряки цукрові: азоту – 100 кг/га, фосфору – 33, калію – 122 кг/га. Менше виносила пшениця за попередника гороху: азоту – 98 кг/га, фосфору – 39, калію – 74 кг/га. Пшениця озима за повторних посівів виносила азоту – 91 кг/га, фосфору – 34, калію – 69 кг/га. Найменше виносили елементів живлення посіви гороху – відповідно 75, 21 та 49 кг/га. У складі виносу елементів живлення на 1 га сівозміни формувалось співвідношення N:P:K=2,8:1:2,5.

За органо-мінеральних систем удобрення з додаванням побічної продукції або заміни гною на побічну продукцію обсяги виносу елементів живлення у зерно-просапній сівозміні були співставні з традиційним органо-мінеральним удобренням. За внесення на 1 га сівозмінної площі 6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ сільськогосподарські культури виносили з одного гектара ріллі азоту – 92 кг/га, фосфору – 31, калію – 79 кг/га; за внесення ПП + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ – відповідно 90, 31 та 78 кг/га сівозміни. Порівняно з контролем без добрив органо-мінеральні системи удобрення збільшили винос азоту, фосфору і калію із грунту у 1,2 рази. Посіви буряків цукрових найбільше виносили поживних речовин, а найменше виносили посіви гороху.

Оцінка сталості удобрення сільськогосподарських культур у сівозмінах за показниками балансу елементів живлення показала, що баланс азоту залежав від структури сівозмін та систем удобрення. У плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах баланс азоту був значно кращий, ніж у просапній сівозміні. У плодозмінній сівозміні у контролі без добрив за наявності багаторічних бобових трав накопичувалось у грунті симбіотичного азоту 10 кг/га, зерно-просапній за наявності гороху – 12 кг/га сівозмінної площі, що формувало відємний баланс азоту в кількості 43 та 47 кг/га сівозміни за інтенсивності балансу – відповідно 19% та 20%. У просапній сівозміні, де бобові культури були відсутні формувався відємний баланс азоту в кількості

87 кг/га сівозміни, що удвічі перевищило дефіцит азоту у грунті порівняно з вище зазначеними сівозмінами (табл. 6.5).

Таблиця 6.5

Баланс азоту в чорноземі типовому слабкосолонцюватому залежно від удобрення, ВПДСС, 2022-2024 рр., кг/га сівозмінної площі

№ вар	Внесено добрив на 1 га сівозміни	Надійшло					Винос, кг/га	Баланс кг/га	Інтенсивність балансу, %
		мінеральні добрива	гній	ПП	азотфіксація	Разом			
Плодозмінна (багаторічні трави – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)									
9	Контроль (без добрив)				10	10	53	-43	19
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	32		15	81	73	8	111
11	6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	32	23	16	105	75	30	140
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	46		23	13	82	74	8	112
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)									
27	Контроль (без добрив)						87	-87	0
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	32			66	105	-39	62
29	6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	32	22		88	107	-19	82
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	46		21		67	107	-40	63
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)									
63	Контроль (без добрив)				12	12	59	-47	20
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	32		18	84	72	12	117
65	6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	32	27	18	111	73	38	152
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	46		26	16	88	71	17	124

Примітка: ПП – побічна продукція; винос азоту бобовими культурами (еспарцет, горох) не включали до статті витрат

Застосування органо-мінеральних систем удобрення істотно покращило показники балансу азоту в усіх сівозмінах. За традиційного удобрення (6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни) у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах баланс азоту формувався додатній – відповідно 8 та 12 кг/га сівозміни за інтенсивності балансу 111% та 117%. Натомість у просапній сівозміні за зазначеної системи удобрення баланс азоту був відємним в кількості -39 кг/га сівозміни, що спричинено зростанням виносу азоту із грунту за рахунок збільшення частки просапних культур у сівозміні та зменшення надходження азоту у грунт за рахунок азотфіксації.

Додатній баланс азоту у грунті у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах формувався також за альтернативного органо-мінерального удобрення, коли вносили ПП + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – відповідно 8 та 17 кг/га сівозміни за інтенсивності балансу 112% та 124%. Збільшення дози азоту в 1,4 рази порівняно з традиційним органо-мінеральним удобренням невілювало іммобілізацію азоту у грунті за заорювання побічної продукціїх і формувало додатні показники його балансу. У просапній сівозміні альтернативна органо-мінеральна система удобрення не забезпечила накопичення азоту у грунті і формувала відємний його баланс в кількості -40 кг/га сівозміни за інтенсивності балансу 63%.

Найкращі показники балансу азоту у грунті в усіх сівозмінах формувала збагачена на органічний компонент органо-мінеральна система удобрення. За внесення 6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни у плодозмінній сівозміні баланс азоту формувався додатній в кількості 30 кг/га за інтенсивності балансу 140%, у зерно-просапній сівозміні – додатній в кількості 38 кг/га за інтенсивності балансу 152%, натомість у просапній сівозміні баланс азоту формувався відємний в кількості -19 кг/га за інтенсивності балансу 82%

Отже, застосування органо-мінеральних систем удобрення у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах формувало додатній баланс азоту у ґрунті, тоді як у просапній сівозміні баланс азоту формувався від'ємний. За внесення 6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни показники балансу азоту були найкращі: у плодозмінній сівозміні – 30 кг/га, зерно-просапній – 38 кг/га, просапній – -19 кг/га сівозміни. Застосування альтернативного органо-мінерального удобрення формувало співставні з традиційним на основі гною удобренням показники балансу азоту у ґрунті в розрізі сівозмін.

Розрахунок балансу фосфору показав, що у контролі без добрив у розрізі усіх сівозмін формувався відємний його баланс: у плодозмінній сівозміні – -25 кг/га, зерно-просапній – -25 кг/га, просапній – -29 кг/га

сівозміни. У просапній сівозміні дефіцит фосфору у грунті був незначно вищим із-за більшої частки просапних культур і більшого виносу ними фосфору. Порівняно з виносом азоту фосфору культури виносили менше у 2-2,5 рази, що формувало кращі показники його балансу (табл. 6.6).

Таблиця 6.6

Баланс фосфору в чорноземі типовому слабкосолонцюватому залежно від удобрення, ВПДСС, 2022-2024 рр., кг/га сівозмінної площі

№ вар	Внесено добрив на 1 га сівозміни	Надійшло				Винос, кг/га	Баланс, кг/га	Інтенсив-ність балансу, %
		мінера-льні добрива	гній	ПП	Разом			
Плодозмінна (багаторічні трави – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)								
9	Контроль (без добрив)					25	-25	0
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	16		50	32	18	156
11	6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	16	7	57	33	24	173
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	34		7	41	32	9	128
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)								
27	Контроль (без добрив)					29	-29	0
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	16		50	36	14	139
29	6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	16	7	57	36	21	158
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	34		6	40	36	4	111
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)								
63	Контроль (без добрив)					25	-25	0
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	16		50	32	18	156
65	6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	16	8	58	31	27	187
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	34		8	42	31	11	136

Примітка: ПП – побічна продукція

Застосування органо-мінеральних систем удобрення формувавло додатній баланс фосфору в усіх сівозмінах. За традиційного удобрення (6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни) у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах баланс фосфору формувався додатній в кількості 18 кг/га за інтенсивності балансу 156%. У просапній сівозміні баланс фосфору формувався додатній в кількості 14 кг/га за інтенсивності балансу 139%. В

усіх сівозмінах традиційне органо-мінеральне удобрення сприяло накопиченню фосфору у грунті.

За альтернативного органо-мінерального удобрення з внесенням ПП + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни баланс фосфору у плодозмінній сівозміні формувався додатній в кількості 9 кг/га за інтенсивності балансу 128%, зерно-просапній – 11 кг/га за інтенсивності балансу 136%, просапній – 4 кг/га за інтенсивності балансу 111%. Альтернативне удобрення в усіх сівозмінах сприяло накопиченню фосфору у грунті.

Найкращі показники балансу фосфору у грунті в усіх сівозмінах формувало внесення 6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни: у плодозмінній сівозміні баланс фосфору формувався додатній в кількості 24 кг/га за інтенсивності балансу 173%, зерно-просапній сівозміні – додатній в кількості 27 кг/га за інтенсивності балансу 187%, просапній – додатній в кількості 21 кг/га за інтенсивності балансу 158%. Заорювання побічної продукції, внесення гною та мінеральних добрив забезпечило щорічне накопичення фосфору у ґрунті у розрізі сівозмін – 21-17 кг/га.

Отже, застосування органо-мінеральних систем удобрення в усіх сівозмінах формувало додатній баланс фосфору у ґрунті, що наслідком значно меншого виносу рослинами фосфору порівняно з азотом. Найкращі показники балансу фосфору у ґрунті забезпечило внесення 6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни у зерно-просапній сівозміні, яке супроводжувалось накопиченням фосфору у ґрунті в кількості 27 кг/га за інтенсивності балансу 187%.

Розрахунок балансу калію показав, що у контролі без добрив у розрізі усіх сівозмін формувався відємний його баланс: у плодозмінній сівозміні – -60 кг/га, зерно-просапній – -64 кг/га, просапній – -85 кг/га сівозміни. У просапній сівозміні дефіцит калію у грунті був на 21-25 кг/га вищим порівняно з плодозмінною та зернопросапною сівозмінами, що є наслідком більшої частки просапних культур у просапній сівозміні і більшого виносу культурами калію (табл. 6.7).

Таблиця 6.7

Баланс калію в чорноземі типовому слабкосолонцюватому залежно від удобрення, ВПДСС, 2022-2024 рр., кг/га сівозмінної площі

№ вар	Внесено добрив на 1 га сівозміни	Надійшло				Винос, кг/га	Баланс, кг/га	Інтенсивність балансу, %
		мінеральні добрива	гній	ПП	Разом			
Плодозмінна (багаторічні трави – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)								
9	Контроль (без добрив)					60	-60	0
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	38		72	82	-10	88
11	6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	38	36	108	84	24	129
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	34		36	70	84	-14	83
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)								
27	Контроль (без добрив)					85	-85	0
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	38		72	104	-32	69
29	6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	38	33	105	105	0	100
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	34		33	67	106	-39	63
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)								
63	Контроль (без добрив)					64	-64	0
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	38		72	79	-7	91
65	6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	34	38	41	113	79	34	143
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	34		40	74	78	-4	95

Примітка: ПП – побічна продукція

Застосування органо-мінеральних систем удобрення істотно покращило баланс калію у грунті. За традиційного удобрення (6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни) у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах баланс калію формувався з невеликим дефіцитом у кількості -10 та -7 кг/га сівозміни за інтенсивності балансу –відповідно 88% та 91%. У просапній сівозміні баланс калію мав більший дефіцит у кількості -32 кг/га сівозміни за інтенсивності балансу 69%.

За альтернативного удобрення з внесенням ПП + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни баланс калію у сівозмінах був близьким до традиційного органо-мінерального удобрення. У плодозмінній сівозміні формувався відємний баланс калію в кількості -14 кг/га сівозміни за інтенсивності балансу 83%,

зерно-просапній – відємний в кількості -4 кг/га сівозміни за інтенсивності балансу – відповідно 83% і 95%. У просапній із більшої чпстки просапних культур дефіцит калію був значно вищий – -39 кг/га сівозміни за інтенсивності балансу 63%.

Врівноважений та додатній баланс калію в усіх сівозмінах забезпечила система удобрення, яка передбачала внесення 6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни. У плодозмінній сівозміні баланс калію формувався додатній в кількості 24 кг/га за інтенсивності балансу 129%, зерно-просапній сівозміні – додатній в кількості 34 кг/га за інтенсивності балансу 143%, просапній – врівноважений за інтенсивності балансу 100%. Заорювання побічної продукції, внесення гною та мінеральних добрив забезпечило щорічне накопичення калію у ґрунті у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах в кількості 24-34 кг/га сівозміни.

Отже, в усіх сівозмінах лише органо-мінеральна система удобрення, яка передбачала внесення 6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни формувала врівноважений та додатній баланс калію у ґрунті за інтенсивності балансу у плодозмінній сівозміні – 129%, зерно-просапній – 143%, просапній – 100%. Традиційна та альтернативна органо-мінеральні системи удобрення були прийнятні для плодозмінної та зерно-просапної сівозмін де формувався незначний дефіцит калію у ґрунті за інтенсивності балансу 88% та 91%, у просапній сівозміні вони формували значний від’ємний баланс калію у ґрунті.

Висновки до розділу 6

1. Вміст елементів живлення в урожаї сільськогосподарських культур залежав від їх біологічних особливостей: горох, пшениця озима та ячмінь ярий у зерні переважно накопичували азот, соломі – калій, кукурудза та еспарцет у зеленій масі, буряки цукрові у листковій масі містили переважно азот і калій де їх вміст у 2-2,5 рази перевищував вміст цих елементів у

коренеплодах. Усі культури мали низький вміст фосфору, який був менший від вмісту азоту та калію у 3,5-5 разів.

2. Винос елементів живлення найвищим був у просапній сівозміні і істотно зростав за внесення органічних та мінеральних добрив. Застосування органо-мінеральних систем удобрення збільшило порівняно з контролем без добрив винос азоту, фосфору і калію із ґрунту у 1,2 рази. Обсяги виносу елементів живлення із ґрунту були співставні за органо-мінеральних систем удобрення і становили по азоту 105-107 кг/га, фосфору – 36 кг/га, калію – 104-106 кг/га сівозміни.

3. Застосувала 6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни формувало найкращі показники балансу елементів живлення у сівозмінах: додатній баланс азоту у плодозмінній та зерно-просапній сівозміні за інтенсивності балансу 140-152%, в усіх сівозмінах додатній баланс фосфору і калію за інтенсивності балансу – відповідно 158-187% та 100-143%. Натомість традиційна та альтернативна органо-мінеральні системи удобрення в усіх сівозмінах формували додатній баланс лише фосфору, від’ємний баланс калію за інтенсивності 63-95% та від’ємний баланс азоту у просапній сівозміні за інтенсивності 62-63%.

РОЗДІЛ 7
ЕНЕРГЕТИЧНА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ДОБРИВ У СІВОЗМІНАХ

7.1 Енергетична ефективність

При оцінці сучасних технологій досить часто користуються аналізом енергетичної ефективності. В основі аналізу лежить співвідношення між енергією врожаю сільськогосподарських культур та енергетичними витратами понесеними на його отримання. Цей показник отримав назву коефіцієнта енергетичної ефективності (Кее). За даними проведених досліджень у плодозмінній сівозміні у контролі без добрив енергетична ємність врожаю становила 75,0 ГДж, коефіцієнт енергетичної ефективності – 4,5 (табл. 7.1).

За внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни енергетична ємність врожаю зросла до 97,6 ГДж/га, тоді як Кее зменшився на 0,4 і становив – 4,1. Витрати енергії понесені на отримання врожаю були менші від акумуляції енергії рослинами, що супроводжувалось зниженням енергетичної ефективності.

Застосування 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни істотно не змінювало енергетичний баланс у сівозміні: енергетична ємність врожаю становила 100, Кее – 4,0, що було співставним традийному органомінеральному удобренню культур.

Підвищення енергетичної ефективності спостерігали за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни: енергетична ємність врожаю становила 98,2, Кее – 4,3. Удобрення культур сівозміни на основі побічної продукції супроводжувалось істотним зменшенням енергетичних витрат порівняно з внесенням гною, що і сприяло підвищенню коефіцієнта енергетичної ефективності. Серед культур плодозмінної сівозміни найбільш

енерговитратним було вирощування буряків цукрових, а найменш витратним вирощування пшениці озимої.

Таблиця 7.1

Енергетична ефективність вирощування культур у плодозмінній сівозміні залежно від удобрення, ВПДСС, 2022-2024 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни	Показник	Одиниця виміру	Еспарцет	Пшениця озима	Буряки цукрові	Ячмінь ярий	На 1 га сівозміни
9	Без добрив	Енергоємність врожаю	ГДж/га	85	17,4	181	16,6	75,0
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	15,2	3,6	48,9	4,3	16,7
		Кее		5,6	4,8	3,7	3,9	4,5
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	Енергоємність врожаю	ГДж/га	107	22,6	241	19,9	97,6
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	18,8	5,6	83,1	5,0	23,8
		Кее		5,7	4,0	2,9	4,0	4,1
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	Енергоємність врожаю	ГДж/га	111	23,2	247	20,1	100
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	19,5	5,9	88,2	5,3	25,1
		Кее		5,7	3,9	2,8	3,8	4,0
12	$N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ + побічна продукція	Енергоємність врожаю	ГДж/га	109	23,0	240	20,7	98,2
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	19,5	5,8	75,0	4,9	22,8
		Кее		5,6	4,0	3,2	4,2	4,3

У просапній сівозміні у контролі без добрив енергетична ємність врожаю становила 97,6 ГДж, коефіцієнт енергетичної ефективності – 4,2 (табл. 7.2).

За внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни енергетична ємність врожаю зросла до 120 ГДж/га, тоді як Кее зменшився на 0,5 і становив – 3,7.

Застосування 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни не впливало істотно на енергетичний баланс у сівозміні: енергетична ємність врожаю становила 123 ГДж/га, Кее – 3,7, що було співставним з варіантом де вносили гній і мінеральні добрива.

Таблиця 7.2

Енергетична ефективність вирощування культур у просапній сівозміні залежно від удобрення, ВПДСС, 2022-2024 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни	Показник	Одиниця виміру	Кукурудза на силос	Пшениця озима	Буряки цукрові	Ячмінь ярий	На 1 га сівозміни
27	Без добрив	Енергоємність врожаю	ГДж/га	187	17,2	170	16,0	97,6
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	42,5	3,7	44,7	4,0	23,2
		Кее		4,4	4,6	3,8	4,0	4,2
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	Енергоємність врожаю	ГДж/га	222	20,3	220	18,6	120
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	60,1	5,3	61,1	5,0	32,5
		Кее		3,7	3,8	3,6	3,7	3,7
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	Енергоємність врожаю	ГДж/га	229	21,6	224	18,0	123
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	63,3	5,7	62,2	4,7	33,2
		Кее		3,6	3,8	3,6	3,8	3,7
30	$N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ + побічна продукція	Енергоємність врожаю	ГДж/га	231	20,7	228	19,1	125
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	59,2	5,2	60,1	4,7	31,2
		Кее		3,9	4,0	3,8	4,1	4,0

Підвищення енергетичної ефективності спостерігали за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни: енергетична ємність врожаю становила 125 ГДж/га, Кее – 4,0. Удобрення культур сівозміни на основі побічної продукції супроводжувалось істотним зменшенням енергетичних витрат порівняно з внесенням гною, що і сприяло підвищенню коефіцієнта енергетичної ефективності. Серед культур просапної сівозміни найбільш енерговитратним було вирощування буряків цукрових та кукурудзи на зерно, а найменш витратним вирощування пшениці озимої.

У зерно-просапній сівозміні у контролі без добрив енергетична ємність врожаю становила 53,8 ГДж, коефіцієнт енергетичної ефективності – 4,4 (табл. 7.3).

Таблиця 7.3

Енергетична ефективність вирощування культур у зерно-просапній сівозміні залежно від удобрення, ВПДСС, 2022-2024 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни	Показник	Одиниця виміру	Пшениця озима	Пшениця озима	Буряки цукрові	горох	На 1 га сівозміни
63	Без добрив	Енергоємність врожаю	ГДж/га	20,2	16,8	172	6,0	53,8
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	4,0	3,6	44,1	1,4	12,2
		Кее		5,0	4,7	3,9	4,2	4,4
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	Енергоємність врожаю	ГДж/га	22,7	21,3	214	7,7	66,4
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	5,5	4,8	61,1	2,0	16,6
		Кее		4,1	4,4	3,5	3,8	4,0
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	Енергоємність врожаю	ГДж/га	22,2	20,5	231	7,6	70,3
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	5,6	4,7	64,2	2,1	17,6
		Кее		4,0	4,4	3,6	3,7	4,0
66	$N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ + побічна продукція	Енергоємність врожаю	ГДж/га	22,1	20,1	218	7,8	67,0
		Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	5,1	4,5	58,9	2,0	16,3
		Кее		4,3	4,5	3,7	3,9	4,1

За внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни енергетична ємність врожаю зросла до 66,4 ГДж/га, тоді як Кее зменшився на 0,4 і становив – 4,0.

Застосування 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни не впливало істотно на енергетичний баланс у сівозміні: енергетична ємність врожаю становила 70,3 ГДж/га, Кее – 4,0, що було співставним за енергетичною ефективністю варіанту де вносили гній і мінеральні добрива.

Незначне підвищення енергетичної ефективності спостерігали за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни: енергетична ємність врожаю становила 67,0 ГДж/га, Кее – 4,1. Удобрення культур сівозміни на основі побічної продукції супроводжувалось істотним зменшенням енергетичних витрат порівняно з внесенням гною, що і сприяло

підвищенню коефіцієнта енергетичної ефективності. Серед культур зерно-просапної сівозміни найбільш енерговитратним було вирощування буряків цукрових та кукурудзи на зерно, а найменш витратним вирощування гороху.

Отже, енергетична ефективність вирощування культур у плодозмінній сівозміні була значно вищою, ніж у зерно-просапній і просапній сівозмінах. Кее у плодозмінній сівозміні у контролі без добрив був вищим, ніж у зерно-просапній – на 0,1, просапній – на 0,3. Найвищої енергетичної ефективності вирощування сільськогосподарських культур досягали у плодозмінній сівозміні за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – Кее – 4,3.

7.2 Економічна ефективність

В основу розрахунків економічної ефективності взято ціни 2025 року: вартість буряків цукрових – 2000 грн/т, пшениці озимої – 9800 грн/т, ячменю ярого – 10300 грн/т, кукурудзи на силос – 1300 грн/т, еспарцету на зелений корм – 2200 грн/т, гороху – 14200 грн/т. За даними проведених досліджень у плодозмінній сівозміні у контролі без добрив рентабельність вирощування сільськогосподарських культур на 1 га сівозміни становила 49,1%. Серед культур сівозміни рентабельність еспарцету становила 62,2%, пшениці озимої – 50,0%, буряків цукрових – 40,1%, ячменю ярого – 53,0% (табл. 7.4).

За внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни рентабельність вирощування сільськогосподарських культур на 1 га сівозміни зменшилась на 2,4% і становила 46,7%. Найістотніше зменшилась рентабельність вирощування буряків цукрових до 30,8%, що обумовлено витратами на внесення гною і мінеральних добрив під цю культуру.

Застосування 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни істотно не змінювало рентабельність вирощування сільськогосподарських культур у сівозміни, яка була на рівні традиційної органо-мінеральної системи удобрення і становила 47,4%.

Таблиця 7.4

Економічна ефективність вирощування культур у плодозмінній сівозміні залежно від удобрення, ВПДСС, 2022-2024 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни	Показник	Еспарцет	Пшениця озима	Буряки цукрові	Ячмінь ярий	На 1 га сівозміни
9	Без добрив	Вартість продукції, грн/га	26620	28322	47200	27604	32437
		Витрати, грн/га	16414	18880	33680	18044	21755
		Прибуток, грн/га	10206	9442	13520	9560	10682
		Рентабельність, %	62,2	50,0	40,1	53,0	49,1
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	Вартість продукції, грн/га	33660	35770	64400	33063	41723
		Витрати, грн/га	20200	24260	49220	20140	28455
		Прибуток, грн/га	13460	11510	15180	12923	13268
		Рентабельність, %	66,7	47,5	30,8	64,2	46,7
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	Вартість продукції, грн/га	34980	36652	66000	33166	42700
		Витрати, грн/га	20650	24720	49950	20560	28970
		Прибуток, грн/га	14330	11932	16050	12606	13730
		Рентабельність, %	69,4	48,3	32,2	61,4	47,4
12	$N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ + побічна продукція	Вартість продукції, грн/га	34320	36848	65200	33475	42461
		Витрати, грн/га	17440	21040	43110	19400	25248
		Прибуток, грн/га	16880	15808	22090	14075	17213
		Рентабельність, %	96,8	75,2	51,3	72,6	68,2

Істотне зростання рентабельності вирощування культур у сівозміні досягали за альтернативного органо-мінерального удобрення, коли вносили побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – рентабельність становила 68,2% на 1 га сівозміни. Зростання рентабельності обумовлене зменшенням витрат на внесення мінеральних добрив, які в цьому варіанті не вносили.

У просапній сівозміні у контролі без добрив рентабельність вирощування сільськогосподарських культур на 1 га сівозміни становила 48,2%, що було співставним із плодозміною сівозміною. Серед культур сівозміни рентабельність кукурудзи на силос становила 59,7%, пшениці озимої – 49,1%, буряків цукрових – 37,2%, ячменю ярого – 49,6% (табл. 7.5).

За внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни рентабельність вирощування сільськогосподарських культур на 1 га

сівозміни зменшилась на 4,2% і становила 44,0%. Найістотніше зменшилась рентабельність вирощування буряків цукрових до 24,0%, тоді як рентабельність інших культур була значно вищою.

Таблиця 7.5

Економічна ефективність вирощування культур у просапній сівозміні залежно від удобрення, ВПДСС, 2022-2024 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни	Показник	Кукурудза на силос	Пшениця озима	Буряки цукрові	Ячмінь ярий	На 1 га сівозміни
27	Без добрив	Вартість продукції, грн/га	43420	28224	44600	26677	35730
		Витрати, грн/га	27200	18930	32520	17840	24123
		Прибуток, грн/га	16220	9294	12080	8837	11608
		Рентабельність, %	59,7	49,1	37,2	49,6	48,2
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	Вартість продукції, грн/га	52390	32634	58800	31415	43810
		Витрати, грн/га	31320	23310	47440	19630	30425
		Прибуток, грн/га	21070	9324	11360	11785	13385
		Рентабельність, %	67,3	40,0	24,0	60,1	44,0
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	Вартість продукції, грн/га	53170	34104	59400	31209	44471
		Витрати, грн/га	31450	21740	46680	19250	29780
		Прибуток, грн/га	21720	12364	12720	11959	14691
		Рентабельність, %	69,1	56,9	27,3	62,2	49,4
30	$N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ + побічна продукція	Вартість продукції, грн/га	54340	32634	59600	31724	44575
		Витрати, грн/га	28730	19250	42300	17750	27008
		Прибуток, грн/га	25610	13384	17300	13974	17567
		Рентабельність, %	89,2	69,6	40,9	78,8	65,1

Застосування 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни супроводжувалось підвищенням рентабельності вирощування сільськогосподарських культур у сівозміни на 5,4% порівняно з варіантом де вносили тільки гній і мінеральні добрив. Заорювання соломи у просапній сівозміні істотно підвищило рентабельність вирощування кукурудзи на силос, пшениці озимої та ячменю ярого – відповідно до 69,1%, 56,9% та 62,2%.

Найвищої рентабельності вирощування культур у просапній сівозміні досягали за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни –

рентабельність становила 65,1%. Порівняно з плодозмінною сівозміною рентабельність зменшилась на 3,1% на 1 га сівозміни.

У зерно-просапній сівозміні у контролі без добрив рентабельність вирощування сільськогосподарських культур на 1 га сівозміни становила 45,3%, що було меншим порівняно з плодозмінною та просапною сівозмінами. Серед культур сівозміни рентабельність пшениці озимої у перщому полі становила 59,0%, другому полі – 49,1%, буряків цукрових – 37,4%, гороху – 38,7% (табл. 7.6).

Таблиця 7.6

Економічна ефективність вирощування культур у зерно-просапній сівозміні залежно від удобрення, ВПДСС, 2022-2024 рр.

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни	Показник	Пшениця озима	Пшениця озима	Буряки цукрові	горох	На 1 га сівозміни
63	Без добрив	Вартість продукції, грн/га	32928	27146	44600	20306	31245
		Витрати, грн/га	20720	18210	32460	14640	21508
		Прибуток, грн/га	12208	8936	12140	5666	9738
		Рентабельність, %	59,0	49,1	37,4	38,7	45,3
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	Вартість продукції, грн/га	36946	34300	57000	25418	38416
		Витрати, грн/га	26850	24510	39900	16140	26850
		Прибуток, грн/га	10096	9790	17100	9278	11566
		Рентабельність, %	37,6	40,0	42,9	57,5	43,1
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	Вартість продукції, грн/га	35770	32634	61600	25844	38962
		Витрати, грн/га	27220	23720	41200	16370	27128
		Прибуток, грн/га	8550	8914	20400	9474	11835
		Рентабельність, %	31,5	37,6	49,6	57,9	43,7
66	$N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ + побічна продукція	Вартість продукції, грн/га	35378	32732	58200	25560	37968
		Витрати, грн/га	23840	20810	35960	15850	24115
		Прибуток, грн/га	11538	11922	22240	9710	13853
		Рентабельність, %	48,4	57,2	61,9	61,3	57,5

За внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни рентабельність вирощування сільськогосподарських культур на 1 га сівозміни зменшилась неістотно до 43,1%. Співставної рентабельності вирощування сільськогосподарських культур досягали за внесення 6,3 т/га

гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – рентабельність становила 43,7%.

Найвищої рентабельності вирощування культур у зерно-просапній сівозміні досягали за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – рентабельність становила 57,5%. Порівняно з плодозмінною сівозміною рентабельність зменшилась на 10,7%, просапною сівозміною – на 7,8% на 1 га сівозміни. Зменшення рентабельності обумовлено низькою врожайністю вирощування гороху.

Отже, в усіх сівозмінах найвищої рентабельності вирощування сільськогосподарських культур досгали за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни: у плодозмінній сівозміні – 68,2%, просапній – 65,1%, зерно-просапній – 57,5%.

7.3 Енергетична та економічна ефективність вирощування буряків цукрових залежно від обробітку грунту та удобрення

В умовах нестійкого зволоження енергетична ефективність вирощування буряків цукрових залежала переважно від обробітку грунту і неістотно залежала від застосування соломи та мікродобрив на тлі внесення мінеральних добрив. Так, на тлі внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$ та проведення мілкого обробітку грунту досягалась максимальна енергетична ефективність вирощування буряків цукрових: енергоємність врожаю – 258 ГДж/га, енерговитрати – 44,2 ГДж/га, Кее – 5,8 (табл. 7.7).

Застосування 5 т/га соломи на тлі внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$ незначно підвищило енергоємність врожаю – на 6 ГДж/га, супроводжувалось незначним зростанням енерговитрат – на 1,3 ГДж/га і зберігало Кее на рівні 5,8, що відповідає внесенню мінеральних добрив. Додатково внесення гумутного добрива Добрин в дозі 2 л/га зберігало показники енергетичної ефективності на тому рівні з Кее – 5,8.

Таблиця 7.7

Енергетична ефективність вирощування буряків цукрових залежно від удобрення і обробітку грунту, ІДСС, 2023-2025 рр.

№ вар	Глибина обробітку (фактор А)	Добрива (фактор В)	Енергоємність врожаю, ГДж/га	Енерговитрати, ГДж/га	Кее
1	Мілкий обробіток 12-14 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	258	44,2	5,8
2		Фон + 5 т/га соломи	264	45,5	5,8
3		Фон + 5 т/га соломи + добрин, 2 л/га	269	46,1	5,8
4	Оранка 30-32 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	284	63,1	4,5
5		Фон + 5 т/га соломи	290	64,4	4,5
6		Фон + 5 т/га соломи + добрин, 2 л/га	304	66,1	4,6

Проведення глибокої оранки під буряки цукрові на 30-32 см підвищило енергетичну ємність врожаю порівняно з мілкою оранкою на 12-14 см – на 26-35 ГДж/га та супроводжувалось зростанням енерговитрат на 18,9-20,0 ГДж/га. При цьому Кее зменшився на 1,2-1,3 і становив 4,5-4,6. Внесення 5 т/га соломи і мікродобрива Добрин, 2 л/га не впливало на енергетичну ефективність вирощування буряків цукрових на тлі глибокого обробітку грунту.

Отже, проведення глибокої оранки на 30-32 см під буряки цукрові в умовах нестійкого зволоження є більш енерговитратним, ніж проведення мілкого обробітку на 12-14 см і є менш енергетично ефективним.

Аналіз економічної ефективності вирощування буряків цукрових показав, що в умовах нестійкого зволоження найбільший вплив на економічну ефективність мав спосіб обробітку грунту. За внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$ і проведення мілкого обробітку грунту рентабельність становила 65,4%, за внесення додатково 5 т/га соломи рентабельність істотно не змінювалась і становила 65,9%, за внесення гуматного добрива Добрин на тлі внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$ + 5 т/га соломи рентабельність незначно підвищилась до 68,8% (табл. 7.8).

Таблиця 7.8

Економічна ефективність вирощування буряків цукрових залежно від удобрення і обробітку грунту, ІДСС, 2023-2025 рр.

№ вар	Глибина обробітку (фактор А)	Добрива (фактор В)	Вартість продукції, грн/га	Витрати, грн/га	Прибуток, грн/га	Рентабельність, %
1	Мілкий обробіток 12-14 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	71800	43430	28370	65,4
2		Фон + 5 т/га соломи	73400	44260	29140	65,9
3		Фон + 5 т/га соломи + добрин, 2 л/га	75600	44790	30810	68,8
4	Оранка 30-32 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	80200	51180	29020	56,7
5		Фон + 5 т/га соломи	81600	52070	29530	56,8
6		Фон + 5 т/га соломи + добрин, 2 л/га	83800	52610	31190	59,3

Істотне зниження рентабельності вирощування буряків цукрових спостерігали за проведення глибокої оранки на 30-32 см. За внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$ рентабельність становила 56,7%, за внесення додатково 5 т/га соломи рентабельність істотно не змінювалась і становила 56,8%, за внесення гуматного добрива Добрин на тлі внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$ + 5 т/га соломи рентабельність підвищилась до 59,3%. Порівняно з проведенням мілкого обробітку грунту на 12-14 см рентабельність вирощування буряків цукрових за глибокої оранки на 30-32 см зменшилась – на 8,7-9,5%.

Висновки до розділу 7

1. Енергетична ефективність вирощування культур залежала від структури сівозмін і найвищою була у плодозмінній сівозміні. У плодозмінній сівозміні у контролі без добрив Кее був вищим, ніж у зерно-просапній – на 0,1, просапній – на 0,3. Найвищої енергетичної ефективності вирощування сільськогосподарських культур досягали у плодозмінній сівозміні за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – Кее – 4,3.

2. В умовах недостатнього зволоження найвищої економічної ефективності вирощування сільськогосподарських культур досягнуто у плодозмінній сівозміні за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 68,2%, що порівняно з просапною сівозміною було вищн на – 3,1%, зерно-просапною – 10,7%.

3. В умовах нестійкого зволоження проведення мілкого обробітку грунту на 12-14 см та внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + Добрин, 2 л/га забезпечило найвищування рентабельність вирощування буряків цукрових - 68,8%. Порівняно з глибокою оранкою на 30-32 см рентабельність вирощування буряків цукрових зменшилась на 9,5%.

ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі наведено нове розв'язання наукового завдання з оптимізації системи удобрення та структури зерно-бурякових сівозмін. Встановлено оптимальну систему удобрення у короткоротаційних сівозмінах, яка зберігає родючість чорноземних грунтів та забезпечує стале вирощування сільськогосподарських культур у сівозмінах Лівобережного Лісостепу України.

2. Виявлено, що в умовах недостатнього зволоження внесення упродовж 46 років 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га ріллі у плодозмінній сівозміні забезпечило розширене відтворення вмісту гумусу в чорноземі типовому слабкосолонцюватому: вміст гумусу – 4,78% з перевищенням контролю без добрив на 0,97%. Застосування побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га ріллі стабілізувало вміст гумусу на рівні 4,72%. У зерно-просапній та просапній сівозмінах вміст гумусу був значно меншим – 4,46% та 4,53%, відповідно, що є наслідком підвищеної його мінералізації.

3. Встановлено, що найкращі умови азотного живлення буряків цукрових весною формувались у плодозмінній та зерно-просапній сівозмінах за внесення 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га ріллі: запаси мінерального азоту у 0-40 см шарі ґрунту – 117 та 118 кг/га, відповідно. Внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ 1 га ріллі зменшило вміст мінерального азоту у ґрунті, що є наслідком посиленої іммобілізації азоту за заорювання соломи.

4. Виявлено, що довготривале застосування органо-мінеральних систем удобрення у короткоротаційних сівозмінах значно покращило забезпеченість орного 0-30 см шару ґрунту рухомим фосфором та калієм. Найвищий їх вміст у ґрунті досягнуто за застосування 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га ріллі – 52,3 та 145 мг/кг ґрунту, відповідно. Вміст елементів живлення у ґрунті не залежав від структури сівозмін.

5. За нестійкого зволоження внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$ та проведення обробітку ґрунту на глибину 12-14 см формувало високий вміст рухомого фосфору і калію у шарі 0-10 см, тоді як оранка на глибину 30-32 см – у шарах

0-10 та 11-30 см. Додаткове внесення 5 т/га соломи на тлі $N_{90}P_{90}K_{90}$ підвищило вміст рухомого калію у ґрунті і не впливало на забезпеченість грунту рухомим фосфором.

6. Встановлено, що органо-мінеральні системи удобрення збільшили запаси вологи у 1,5 м шарі ґрунту у весняний період у розрізі усіх сівозмін порівняно з контролем без добрив на 6-15 мм. У зерно-просапній та просапній сівозмінах запаси вологи були більші порівняно з плодозмінною сівозміною на 11-15 мм. Пшениця озима найефективніше вологу ґрунту використовувала у плодозмінній сівозміні за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – 424 $м^3$/т біологічного врожаю. У зерно-просапній та просапній сівозмінах витрати вологи на формування однієї тони врожаю були вищі порівняно з плодозмінною сівозміною на 68-69 $м^3$ і становили 492 і 493 $м^3$.

7. Виявлено, що за нестійкого зволоження глибока оранка на 30-32 см збільшила накопичення вологи у метровому шарі чорнозему типового весною порівнювало з мілким обробітком на 12-14 см – на 19-25 мм. За внесення добрив глибока оранка зменшила витрати вологи на формування однієї тони врожаю буряків цукрових порівнювало з мілким обробітком на 7-31 $м^3$.

8. Встановлено, що в умовах недостатнього зволоження на чорноземі типовому слабкосолонцюватому найвищу врожайність пшениці озимої отримали у плодозмінній сівозміні на тлі післядії 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ та побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни – відповідно 3,74 та 3,76 т/га; а також у зерно-просапній сівозміні за попередника гороху на тлі післядії 6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ – 3,77 т/га. Порівняно з контролем без добрив внесення під пшеницю озиму $N_{45}P_{45}K_{45}$ на тлі післядії органо-мінерального удобрення підвищило врожайність зерна у плодозмінній сівозміні – на 0,85-0,87 т/га, зерно-просапній – на 0,41 т/га.

9. Виявлено, що в умовах недостатнього зволоження найвищої продуктивності буряків цукрових досягли у плодозмінній сівозміні за внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га ріллі: збір цукру – 5,93

т/га, що на 0,62 та 0,72 т/га було більше, ніж у просапній та зерно-просапній сівозмінах.

10. Встановлено, що за нестійкого зволоження врожайність буряків цукрових залежала від удобрення та глибини обробітку ґрунту. Найвищої продуктивності буряків цукрових досягли за проведення глибокої оранки на 30-32 см та внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Добрин», 2 л/га: врожайність коренеплодів – 41,9 т/га, цукристість – 19,2%, збір цукру – 7,96 т/га з підвищенням збору цукру до мілкого обробітку ґрунту на 12-14 см – на 0,93 т/га.

11. Виявлено, що застосування 6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ та ПП + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га ріллі у просапній сівозміні формувало найвищу кормову продуктивність – 6,71 та 6,72 т к.од./га сівозміни, що було вищим порівняно з контролем без добрив – на 1,33 та 1,34 т к.од./га, порівняно із зерно-просапною сівозміною – на 0,87 та 1,03, плодозмінною – на 0,61 та 0,64 т к.од./га сівозміни.

12. Встановлено, що в умовах недостатнього зволоження застосування 6,3 т/га гною + ПП + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га ріллі формувало найкращий баланс елементів живлення у сівозмінах: додатній баланс азоту у плодозмінній та зерно-просапній сівозміні за інтенсивності балансу 140-152%, в усіх сівозмінах додатній баланс фосфору і калію за інтенсивності балансу – відповідно 158-187% та 100-143%. Натомість традиційна та альтернативна органо-мінеральні системи удобрення в усіх сівозмінах формували додатній баланс лише фосфору, від'ємний баланс калію за інтенсивності 63-95% та від'ємний баланс азоту у просапній сівозміні за інтенсивності 62-63%.

13. Досліджено, що внесення у плодозмінній сівозміні побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га сівозміни забезпечило найвищу енергетичну та економічну ефективність вирощування сільськогосподарських культур: Кее – 4,3, рентабельність – 68,2% на 1 га сівозміни.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. В умовах недостатнього зволоження лівобережного Лісостепу України з метою отримання сталих врожаїв сільськогосподарських культур та відтворення родючості чорнозему типового слабкосолонцюватого для господарств з розвиненим тваринництвом рекомендується плодозмінна сівозміна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий) та внесення 6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га ріллі: збір кормових одиниць – 6,10, збір зерна – 1,74 т/га, цукру – 1,46 т/га.

2. Для господарств рослинницької спеціалізації рекомендується зерно-просапна сівозміна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох) та внесення побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$ на 1 га ріллі: збір кормових одиниць – 5,19, збір зерна – 2,19 т/га, цукру – 1,30 т/га.

3. В умовах нестійкого зволоження лівобережного Лісостепу України за вирощування буряків цукрових на чорноземі типовому рекомендується глибока оранка на 30-32 см та внесення 5 т/га соломи + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + «Добрин», 2 л/га: врожайність коренеплодів – 41,9 т/га, цукристість – 19,2%, збір цукру – 7,96 т/га з підвищенням збору цукру до мілкого обробітку ґрунту на 12-14 см – на 0,93 т/га. Глибока оранка порівнювало з мілким обробітком на 12-14 см збільшила накопичення вологи у метровому шарі грунту весною – на 19-25 мм та зменшила витрати вологи на формування однієї тони врожаю на 7-31 $м^3$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авраменко С.В. Урожайність пшениці озимої залежно від комплексу агротехнічних прийомів вирощування. *Вісник аграрної науки.* 2012. № 5. С. 23-25.

2. Балаєв А.Д. Біохімічно активний верхній шар ґрунту, як фактор родючості чорноземів: матеріали Міжнар. наук.-прак. конф. [“Ґрунтознавство і агрохімія на зламі століть»]. Кн. 1. Харків, 2002. С. 21-22.

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. Балюк С.А., Носко Б.С., Воротинцева Л.І. Регулювання родючості ґрунтів та ефективності добрив в умовах змін клімату. *Вісник аграрної науки.* 2018. № 4. С. 5-12

5. Барштейн Л.А., Шкаредний І.С., Якименко В.М. Сівозміни, обробіток ґрунту та удобрення в зонах бурякосіяння. К.: Тенар, 2002. 488 с.

6. Берднiков О.М. Зелене удобрення – біологізація землеробства, урожай. Чернігівське НПО Еліта, 1992. 189 с.

7. Берднiков О.М., Нимитюк Ю.А. Роль сидерації в сучасному землеробстві. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 3. С. 12-15.

8. Білітюк А.П., Пласка В.М. Вплив строків сівби на продуктивність і якість зерна пшениці озимої в умовах Західного Полісся України. *Вісник аграрної науки.* 2011. № 3. С. 23-27.

9. Бойко П.І., Шиліна Л.І., Гаврилюк М.С. Основні фактори землеробства та продуктивність рослин і стан родючості чорноземів на Лівобережжі Лісостепу України. *Вісник аграрної науки.* 1994. № 4. С. 35-43.

10. Бойко П.І., Літвінов Д.В., Демиденко О.В., Шаповал І.С., Коваленко Н.П. Продуктивність сільськогосподарських культур у різноротаційних сівозмінах на типових чорноземах. *Вісник аграрної науки.* 2016. № 12. С. 11-14.

11. Бондар С.О. Урожайність пшениці озимої залежно від системи удобрення в різноротаційних сівозмінах. *Вісник аграрної науки.* 2017. № 8. С. 77-80.

12. Будьоний Ю.В. Ефективність застосування соломи на чорноземі типовому в умовах лівобережного Лісостепу. *Збірник наукових праць Інституту землеробства УААН*. 2003. С. 32-38.

13. Булигін С. Ю., Величко В. А., Демиденко О. В. Агрогенез чорнозему. Київ : Аграрна наука, 2016. 356 с.

14. Гангур В.В., Браженко І.П. Вирощування пшениці озимої беззмінно та в сівозміні: біометричні параметри, урожайність зерна. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2009. № 3. С. 33-35.

15. Гораш О.С., Климишена Р.І. Формування площі листкової поверхні та накопичення сухої речовини рослинами ячменю озимого залежно від удобрення. *Вісник аграрної науки.* 2013. № 12. С. 29-32.

16. Господаренко Г.М., Машинник С.В. Вплив азотних добрив на врожайність і якість пшениці озимої в умовах правобережного Лісостепу. *Вісник Білоцерківського аграрного університету.* 2006. Вип. 43. С. 71-76.

17. Господаренко Г.М. Основи інтегрованого застосування добрив (монографія). Київ: Нічлава, 2002. 344 с.

18. Гриник І.В., Бакун Ю.О., Єгоров О.В. Продуктивність сівозмін Полісся залежно від способів використання соломи на добриво. *Збірник наукових праць ІЗ НААН*. 2003. Спеціальний випуск. С. 42-48.

19. Ґрунти. Визначання рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачигіна: ДСТУ 4114 : 2002. [Чинний від 2003–01–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 10 с. (Національний стандарт України).

20. Ґрунти. Визначання рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова: ДСТУ 4115 : 2002. [Чинний від 2003–01–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 9 с. (Національний стандарт України).

21. Грунтозахисна біологічна система землеробства в Україні /[Шикула М.К., Антонець С.С., Балаев А.Д. та ін.]: за ред. М.К. Шикули. К.: Оранта, 2000. 389 с.

22. Демиденко О. В., Бойко П. І., Блащук М. І., Шаповал І. С., Коваленко Н. П. Сівозміни та родючість чорнозему Лівобережного Лісостепу. Сміла, 2019. 484 с.

23. Демиденко О.В., Шаповал І.С., Бойко П.І., Величко В.А. Обіг азоту в різноротаційних сівозмінах Лівобережного Лісостепу. *Вісник аграрної науки.* 2018. № 7. С. 59-67.

24. Дмітрієвцева Н.В., Веремчук О.С., Пилипака С.М., Грищенко О.М. Динаміка вмісту гумусу у ґрунтах сільськогосподарських угідь Здолбунівського району Рівненської області. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 2. С. 139-146. DOI: 10.33730/2077-4893.2.2022.263329

25. Драган М.І. Ефективність соломи при удобренні проса в Лісостепу. *Збірник наукових праць ІЗ НААН*. К., 2003. Спеціальний випуск. С. 99-105.

26. Драган М.І., Гамалей В.І., Любич О.Г. Агрегатний склад сірого лісового ґрунту за різних агротехнічних заходів. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 2. С. 11-16.

27. Драган М.І., Грищенко Р.Є., Любчич О.Г., Стопа С.П. Ефективність застосування соломи пшениці озимої під круп'яні культури на сірих лісових ґрунтах. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 7. С. 19-22.

28. Єрмолаєв М.М., Шиліна Л.І., Літвінов Д.В. Вплив сівозміни й удобрення на родючість чорнозему типового. *Вісник аграрної науки.* 2011. № 10. С. 49-53.

29. Заришняк А.С., Иванина В.В., Калибабчук Т.В. Фосфатный режим чорнозема оподзоленного при длительном применении удобрений. *Агрохимия.* 2014. № 4. С. 20-26

30. Заришняк А.С., Іваніна В.В., Калібабчук Т.В. Калійний режим чорнозему опідзоленого за тривалого удобрення зерно-бурякової сівозміни. *Вісник аграрної науки.* 2013. № 6. С.10-14.

31. Заришняк А.С., Балюк С.А., Лісовий М.В., Комариста А.В. Баланс гумусу і поживних речовин в ґрунтах України. *Вісник аграрної науки.* 2012. № 1. С. 28-32.

32. Заришняк А. С., Цвей Я. П., Іваніна В. В. Оптимізація удобрення та родючості ґрунту в сівозмінах. Київ : Аграрна наука, 2015. 208 с.

33. Заришняк А.С., Іваніна В.В., Колібабчук Т.В. Оптимізація удобрення зернових культур у зерно-буряковій сівозміні. *Вісник аграрної науки.* 2012. № 12. С. 15-17.

34. Заришняк А.С., Іваніна В.В., Колібабчук Т.В. Стабілізація біогенного балансу та продуктивність зерно-бурякової сівозміни. *Вісник аграрної науки.* 2012. № 4. С. 26-30.

35. Заришняк А.С., Руцька С.І., Колібабчук Т.В. Добрива, врожайність та винос елементів живлення. *Цукрові буряки*. 2002. № 1. С. 6-7.

36. Заришняк А.С., Савчук К.І. Норми і способи внесення мінеральних добрив під цукрові буряки. *Цукрові буряки*. 2005. № 5. С. 8-9.

37. Зведенюк Т.Б. Баланс азоту в зерновій сівозміні за різних способів основного обробітку ґрунту та удобрення. *Вісник аграрної науки.* 2014. № 1. С. 69-71.

38. Зубець М.В., Ситник В.П., Третяк А.М. та ін. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Лісостепу України. Київ: Логос, 2004. 776 с.

39. Іваніна В. В. Біологізація удобрення культур у сівозмінах. Київ : ЦП «Компрінт», 2016. 328 с.

40. Іваніна В.В. Оптимізація зерно-бурякової сівозміни в умовах біологізації землеробства. *Вісник аграрної науки.* 2012. № 6. С. 10-14.

41. Іваніна В.В., Прокоп’юк Т.П. Баланс елементів живлення та продуктивність сівозмін залежно від їх структури та удобрення. *Новітні агротехнології*. 2024. 12(3). doi: 10.47414/na.12.3.2024.315944

42. Іваніна В.В., Шиманська Н.К., Мазур Г.М. Заходи біологізації у формуванні фосфатного режиму чорнозему типового. *Вісник аграрної науки.* 2013. № 12. С. 21-24.

43. Іваніна В.В., Поплавський В.Б. Обіг вуглецю та стан гумусу в чорноземі типовому за довготривалого застосування добрив у чотирипільних сівозмінах. *Вісник аграрної науки.* 2025. № 9(870). С. 5-11. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202509-01

44. Іваніна В.В., Поплавський В.Б. Вплив добрив на врожайність та використання вологи пшеницею озимою в умовах чотирипільних сівозмін. *Зернові культури.* 2025. Т. 9. № 2. С. 358-364 https://doi.org/10.31867/2523-4544/0398

45. Іваніна В.В., Поплавський В.Б. Вплив добрив на врожайність буряків цукрових та продуктивність чотирипільних сівозмін в умовах недостатнього зволоження. *Новітні агротехнології.* 2025. Т. 13. № 3. doi: 10.47414/na.13.3.2025.341816

46. Іваніна В.В., Поплавський В.Б. Вплив соломи та глибини обробітку ґрунту на вологозабезпечення та врожайність буряків цукрових. *Вісник аграрної науки.* 2025. № 12(873). С. 5-11. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202512-01

47. Іваніна В.В., Стрілець О.П., Поплавський В.Б. Вплив тривалого удобрення сівозмін на обіг вуглецю та вміст гумусу в чорноземі типовому. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції яка присвячена 100-річчю проф. М.К. Шикули «Ґрунтозахисні технології як фактор родючості ґрунтів і високих врожаїв»* 20-21 лютого 2025; Київ, 2025. С. 66-68.

48. Іваніна В.В., Поплавський В.Б., Стрілець О.П. Родючість чорнозему типового за тривалого удобрення короткоротаційних сівозмін. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Актуальні напрями та проблематика у технологіях вирощування продукції рослинництва»* 7 травня 2025; Полтава, 2025. С. 55-57.

49. Іваніна В.В., Поплавський В.Б., Стрілець О.П. Вплив добрив та сівозмін на стан гумусу ґрунту та продуктивність буряків цукрових. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції* «Сучасні інноваційні тенденції розвитку землеробства» 11 червня 2025 року; Рівне, 2025. С. 75-77.

50. Іоніцой Ю.С. Роль вологозабезпечення в життєздатності гібридів буряків цукрових різного походження. *Вісник аграрної науки.* 2014. № 4. С. 24-28.

51. Карпусь М.М., Славов В.П., Лапа М.А. Деталізована поживність кормів зони Лісостепу України. К.: Аграрна наука, 1995. 348 с.

52. Климишена Р.І. Продуктивність ячменю озимого залежно від удобрення та норм висіву насіння. *Вісник аграрної науки.* 2012. № 10. С. 76-77.

53. Корми, комбікорми, комбікормова сировина. Методи визначання вмісту азоту і сирого протеїну: ДСТУ 7169 : 2010. [Чинний від 2011–07–01]. К.: Держспоживстандарт України, 2011. 18 с. (Національний стандарт України).

54. Ковальчук В. П., Василєв В. Г., Бойко Л. В., Зосимов В. Д. Збірник методів досліджень ґрунту і рослин. Київ: Інститут цукрових буряків НААНУ, 2010. 250 с.

55. Кутова А., Скрильник Є., Гетманенко В., Артем'єва К. Трансформація добрив у ґрунті. *The Ukrainian Farmer*. 2018. № 12. С. 70-72.

56. Лісовал А.П., Сорокотяг Н.П., Коваленко О.Г. Зміна сполук вуглецю, азоту і фосфору чорноземних ґрунтів і продуктивність культур при тривалому застосуванні засобів хімізації. *Науковий вісник НАУ.* 2000. Вип. 32. С. 129-134.

57. Лісовий М.В., Комариста А.В. Вплив показників родючості ґрунту на якість зерна пшениці озимої на дерново-підзолистих ґрунтах Полісся. *Вісник аграрної науки.* 2015. № 11. С. 10-11.

58. Лісовий М.В. Нормативні показники якості зерна пшениці озимої на чорноземах Лісостепу і Степу. *Вісник аграрної науки.* 2016. № 8. С. 5-7.

59. Литвиненко М.А. Реалізація генетичного потенціалу. Проблеми продуктивності та якості зерна сучасних сортів озимої пшениці. *Науково-виробничий журнал «Насінництво».* 2010. № 6. С. 1-6.

60. Лихочвор В.В., Петренко В.Ф., Іващук П.В. Зерновиробництво. Львів: НВФ «Українські технології», 2008. 624 с.

61. Лопушняк В.І. Зміна вмісту фракцій мінеральних сполук фосфору в темно-сірому опідзоленому ґрунті під впливом різних систем удобрення. *Вісник аграрної науки.* 2014. № 11. С. 12-15.

62. Мазур Г.А. Проблема відтворення і регулювання родючості ґрунтів. *Збірник наукових праць Інституту землеробства УААН.* 1999. № 4. С. 48-56.

63. Мартиненко В. М. Врожайність культур і родючість чорнозему типового за різного удобрення та обробітку. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво.* 2015. № 58(1). С. 163-173

64. Мартинович Н.Н., Мартинович Л.І. Вплив 50-річного застосування органічних і мінеральних добрив на родючість чорнозему опідзоленного Центрального Лісостепу Правобережної України. Вплив систематичного застосування добрив на врожай культур зернобурякової сівозміни. *Агрохімія*. 1994. № 11. С. 3-11.

65. Моргун В.В., Санін Є.В., Швартау В.В. Сорти та оптимальні системи вирощування озимої пшениці. Клуб 100 центнерів. *Інститут фізіології рослин та генетики НАН України, компанія Сингента, Швейцарія*. Київ: Колос, 2012. 132 с.

66. Медведовский О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ: Урожай, 2008. 208 с.

67. Методики проведення досліджень у буряківництві / [М.В. Роїк, Н. Г. Гізбуллін, В.М. Сінченко, О.І. Присяжнюк та ін.] під заг. ред. М.В. Роїка та Н.Г. Гізбулліна. К.: ФОП Корзун Д.Ю., 2014. 373 с.

68. Мирошниченко М. С. Вплив біологізації сівозміни на урожайність зернових культур. *Збірник тез міжнародної наукової конференції, присвяченої пам'яті і науковій спадщині виданого вченого Василя Яковича Юр'єва «Підвищення ефективності селекції та рослинництва у сучасних умовах»* 3-5 липня 2019; Харків, 2019. С. 296-297.

69. Мирошниченко М.С. Продуктивність короткоротаційнийних сівозмін за системи удобрення та обробітку ґрунту. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН».* 2019. Вип. 3-4. С. 3-15.

70. Мирошниченко М. С. Формування поживного режиму чорнозему під цукровими буряками в залежності від удобрення та обробітку. *Матеріали науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів «Наукові основи ефективного розвитку галузі землеробства та використання земельно-ресурсного потенціалу України»* 22 листопада 2017; Київ, 2017. С. 8-11.

71. Мирошниченко М. С., Цвей Я. П. Агрохімічний стан чорноземного ґрунту в короткоротаційній зернопаропросапній сівозміні. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції присвяченої пам'яті професора М. К. Шикули та відзначенню 120-річчя НУБіП України* «*Родючість ґрунтів – основа безпеки країни*» 5-6 грудня 2017; Київ, 2017. С. 23-25.

72. Мірошниченко М.М., Носко Б.С., Гладкіх Є.Ю., Панасенко Є.В., Круподеря Ю.О., Арцих Р.С., Голота Є.В. Агрохімічні прийоми адаптації сільськогосподарських культур до екстремальних погодно-кліматичних умов. *Вісник аграрної науки.* 2016. № 3. С. 5-10.

73. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Лісостепу України : За. ред. М.В. Зубця. Київ: Колос, 2004. 776 с.

74. Нетіс І.Т. Пшениця озима на півдні України: монографія. Херсон: Олді-плюс, 2011. 460 с.

75. Нормативи грунтозахисних контурно-меліоративних систем землеробства : за ред О.Г. Тараріко, М.Г. Лобаса. К., 1998. 158 с.

76. Носко Б.С., Бацула А.А., Чесняк Г.Я. Гумусний стан ґрунтів України і шляхи його надходження. *Грунтознавство.* 1992. № 10. С. 33-39.

77. Носко Б.С., Лісовий М.В., Столяр В.М. Калій в ґрунтах України і ефективність калійних добрив. Харьків: ІПА, 1998. 177 с.

78. Носко Б.С., Медведєв В.В., Непочатов О.П., Скороход В.І. Роль добрив у підвищенні ефективності землеробства в посушливих умовах. *Вісник аграрної науки*. 2000. № 5. С. 11-15.

79. Носко Б.С. Фосфор у ґрунтах і землеробстві України. Харків: ФОП Бровін О.В., 2017. 476 с.

80. Носко Б.С., Чесняк Г.Я. Як зберегти і підвищити родючість чорноземів. К.: Урожай, 1984. 200 с.

81. Овсинский И. Новая система земледелия. Киев: «Зерно», 2003. 243 с.

82. Одрехівський А.Ф., Бабченко В.М., Барштейн Л.А. Вплив глибини основного обробітку ґрунту на продуктивність цукрових буряків. *Збірник наукових праць Інститут цукрових буряків.* 1996. С. 30-32.

83. Олійник К.М., Давидюк Г.В., Блажевич Л.Ю., Худолій Л.В. Вплив елементів технології вирощування на врожайність та якість зерна озимої пшениці. *Plant varieties studying and protection.* 2016. № 4. С. 45-50. doi.org/10.21498/2518-1017.4(33).2016.88671

84. Павук І. А. Рециркуляція та баланс елементів живлення за альтернативних систем удобрення буряків цукрових. *Вісник аграрної науки.* 2018. № 3. С. 79-83. doi.org/10.31073/agrovisnyk201803-14

85. Панченко В.Ф., Вербицький В.В., Власенко С.І. Підвищення родючості ґрунту при ґрунтозахисній системі його обробітку. Семенівка: ІДСС, 2001. 30 с.

86. Парфенюк Г.І. Цукрові буряки: біологізація інтенсивних технологій. *Цукрові буряки*. 2002. № 6. С. 9-12.

87. Петрова О.Т. Вміст гумусу в ґрунті на початку і в кінці ротації сівозмін багатофакторного стаціонару. *Цукрові буряки*. 2004. № 6. С. 6-7.

88. Петрова О.Г., Одрехівський В.Р., Дубовий Ю.П. Баланс елементів живлення в сівозмінах багатофакторного досліду за другу ротацію. Система землеробства в буряківництві. К.: Аграрна наука, 1997. С. 179-184.

89. Польовий В.М. Диференціація систем удобрення цукрових буряків залежно від господарсько-економічних умов їх вирощування. *Вісник аграрної науки*. 2005. № 10. С. 16-18.

90. Польовий В.М. Оптимізація систем удобрення у сучасному землеробстві. Монографія. Рівне: Волинські обереги, 2007. 320 с.

91. Пономарчук М.В. Ефективність способів основного обробітку ґрунту в польовій сівозміні. *Збірник наукових праць Інститут цукрових буряків.* 1999. № 2. С. 91-96.

92. Поплавський В.Б. Вплив удобрення на врожайність пшениці озимої та буряків цукрових в умовах короткоротаційних сівозмін. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми сучасного землеробства, рослинництва і тваринництва»* 25 червня 2025; с. Оброшине, 2025. С. 160-162.

93. Примак І.Д., Купчик В.І., Лозінський М.В., Войтовик М.В., Панченко О.Б. Агрономічне ґрунтознавство. За заг. ред. д-ра с.-г. наук, проф. І. Д. Примака. Вінниця: Нілан-ЛТД, 2017. 580 с.

94. Примак І.Д., Присяжнюк Н.М., Войтовик М.В., Ображій С.В., Панченко О.Б., Панченко І.А. Баланс гумусу орного шару чорнозему типового і продуктивність сівозміни за різних систем удобрення у правобережному лісостепу України. *Ресурсозберігаючі технології вирощування культурних рослин: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції.* Біла Церква, 2021. С. 12-15.

95. Прокоп’юк Т.П. Вплив удобрення на продуктивність сівозмін та сталі засади вирощування культур. *Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Актуальні проблеми агропромислового виробництва України: стратегії стійкості*

сільськогосподарського сектору під час війни та у післявоєнний період» 19 листопада 2024; с. Оброшине, 2024. С. 106-107.

96. Протопіш І.Г. Урожайність пшениці озимої залежно від впливу факторів технології. *Вісник аграрної науки.* 2015. № 11. С. 76-78.

97. Родючість ґрунтів: моніторинг та управлянні : за ред. В.В. Медведєва – К.: Урожай, 1992. 248 с.

98. Романенко О.Л., Конова С.Р., Солодушко М.М., Бальошенко С.В. Вологозабезпеченість ґрунту та продуктивність різновікових рослин пшениці озимої в зоні Південного Степу. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області.* 2015. Вип. 18. С. 87-94.

99. Русанов В.І. Основні агротехнічні фактори підвищення врожайності повторних посівів озимої пшениці. *Науково-технічний бюлетень Миронівського інституту пшениці ім. В.М. Ремесла.* 2008. № 8. С. 353-362.

100. Сайко В.Ф., Малиенко А.М., Мазур Г.А. Устойчивость земледелия: Проблемы и пути решения. К.: Урожай, 1993. 320 с.

101. Сайко В.Ф. Наукові основи землеробства в контексті змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 11. С. 5-10.

102. Свекловодство. Проблемыинтенсификации и ресурсосбережения / В.Ф. Зубенко, А.А. Иващенко, В.Т. Саблук [и др.]; под ред. В.Ф. Зубенко. К.: НПП ООО «Альфа-стевия ЛТД», 2005. 400 с.

103. Сеньків Г.Й., Дука Л.В., Мацишин М.М. Формування балансу гумусу в різних типах сівозмін Західного Лісостепу України. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 1998. № 2. С. 58-59.

104. Улич Л.І., Василюк П.М. Урожайний потенціал та адаптивні властивості нових сортів пшениці м'якої озимої в умовах Лісостепу. *Вісник аграрної науки.* 2013. № 12. С. 25-28.

105. Фатєєв А. І., Мартиненко В. М., Собко М. Г. Продуктивність культур сівозміни і винос елементів живлення за різних систем удобрення та обробітку ґрунту. *Вісник аграрної науки.* 2016. № 3. С. 11-14. doi.org/10.31073/agrovisnyk201603-02

106. Філоненко С. В. Продуктивність і технологічні якості коренеплодів буряка цукрового залежно від позакореневого внесення регулятора росту «Марс-1». *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2013. № 4. С. 14-18. doi.org/10.31210/visnyk2013.04.03

107. Цвей Я. П., Іваніна В. В., Ленишин А. Г. Формування родючості чорнозему в зернобурякових короткоротаційних сівозмінах. *Цукрові буряки.* 2017. № 7. С. 18-20.

108. Цвей Я.П., Бойчук О.В., Мартинюк Л.С. Вплив обробітку ґрунту на продуктивність бурякових посівів в сівозміні з короткою ротацією. *Цукрові буряки.* 2013. № 2. С. 34-35.

109. Цвей Я.П., Бондар С.А., Колібабчук Т.В., Костенко С.С., Карпенко Я.Л. Формування врожайності культур за різних видах і структурі сівозміни. *Цукрові буряки.* 2018. № 8. С. 19-22.

110. Цвей Я.П., Горобець А.М. Продуктивність короткоротаційних сівозмін в Лісостепу України. *Цукрові буряки.* 2006. № 6. С. 10-11.

111. Цвей Я.П., Іваніна В.В., Петрова О.Т., Дубовий Ю.П. Вплив тривалого внесення добрив на калійний режим чорнозему типового в різноротаційних сівозмінах. *Вісник аграрної науки.* 2013. № 4. С. 17-20.

112. Цвей Я.П., Іваніна Р.В., Сенчук С.М. Вплив мінеральних добрив і попередників на водоспоживання та продуктивність пшениці озимої. *Зернові культури.* 2019. Т. 3. № 2. С. 305-311. http://doi.org/10.31867/2523-4544/0090

113. Цвей Я.П., Іваніна В.В., Цебро Ю.М., Петрова О.Т., Одреховський А.Ф., Климчук С.М. Баланс елементів живлення у зерно-буряковій сівозміні залежно від системи удобрення. *Вісник аграрної науки.* 2012. № 1. С. 33-37.

114. Цвей Я.П., Карачка В.П., Петрова О.Т. та ін. Формування поживного режиму чорнозему від добрив у посівах цукрових буряків. *Вісник аграрної науки.* 2008. № 12. С. 23-26.

115. Цвей Я.П., Касянчук Ф.П. Використання пожнивної гірчиці при вирощуванні цукрових буряків. *Цукрові буряки*. 2004. № 3. С. 14-15.

116. Цвей Я.П., Кісілєвська М.О., Ременюк Ю.О. Залежність родючості

чорноземних ґрунтів від системи удобрення і чергування культур у сівозміні. *Вісник аграрної на*уки. 2007. № 11. С. 5-7.

117. Цвей Я.П., Мирошниченко М.С., Левченко Л.М. Залежність урожайності озимої пшениці від системи удобрення й обробітку ґрунту в короткоротаційних сівозмінах. *Таврійський науковий вісник.* 2019. № 1(110). С. 200-206. doi.org/10.32851/2226-0099.2019.110-1.25

118. Цвей Я.П., Мирошниченко М.С., Тищенко М.В. Продуктивність цукрового буряку та ячменю в короткоротаційних сівозмінах залежно від добрив та обробітку ґрунту. *Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків.* 2019. Вип. 27. С. 84-92.

119. Цвей Я.П., Мирошниченко М.С., Кісілевська М.О. Моніторинг родючості чорнозему слабосолонцюватого в залежності від системи удобрення та обробітку ґрунту у сівозмінах. *Новітні агротехнології.* 2019. № 7. URL: http://jna.bio.gov.ua/article/view/204792

120. Цвей Я. П. Мирошниченко М. С. Обґрунтування родючості чорнозему слабосолонцюватого в короткоротаційній сівозміні в умовах Лісостепу. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека та збалансоване природокористаування в агропромисловому виробництві*» 3-5 липня 2019; Київ, 2019. С. 265-267.

121. Цвей Я.П., Недашківський А.І., Горобець Н.А. Продуктивність цукрових буряків в короткоротаційних сівозмінах. *Цукрові буряки.* 2003. № 5. С. 10-12.

122. Цвей Я. П., Тищенко М. В., Герасименко Ю. П. та ін. Обробіток ґрунту, добрива та продуктивність цукрових буряків. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2018. № 1. С. 42-47. doi.org/10.31210/visnyk2018.01.06

123. Цвей Я.П., Торліна А.Н., Левченко Л.Н. Продуктивність цукрових буряків в залежності від ланок сівозміни. *Цукрові Буряки.* 2016. № 2. С.27-29.

124. Цвей Я.П. Родючість ґрунтів і продуктивність сівозмін. Київ: «КОМПРИНТ», 2014. 416 с.

125. Цюк О.А. Вплив систем землеробства на родючість чорнозему типового в Лісостепу. *Збалансоване природокористування.* 2015. № 4. С. 15-21. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zp_2015_4_5

126. Чередниченко І.В. Вміст рухомих органічних речовин за різних систем удобрення в умовах органічного землеробства. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2015. № 3. С. 66-69.

127. Чесняк Г.Я., Сєрокуров Ю.І., Бацула О.О. Заходи, що запобігають дегуміфікації ґрунтів. Родючість ґрунтів: Моніторинг та управління. К.: Урожай, 1992. С. 158-163.

128. Якість ґрунту. Визначення pH (ISO 10390:2005, IDT) : ДСТУ ISO 10390:2007. [Чинний від 2009–10–01]. К. : Держспоживстандарт України, 2007. 13 с. (Національний стандарт України).

129. Якість ґрунту. Визначення нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського : ДСТУ 4729:2007. [Чинний від 2008–01–01]. К.: Держспоживстандарт України, 2008. 14 с. (Національний стандарт України).

130. Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини: ДСТУ 4289:2004. [Чинний від 2005–07–01]. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 14 с. (Національний стандарт України).

131. Якименко В.М., Шкаредний І.С., Одреховський А.Ф. Солома як добриво під цукрові буряки. *Цукрові буряки*. 1999. № 5. С. 9-11.

132. Якименко В.Н., Теселько В.Л., Кожухівский М.М. Продуктивність культур зернобурякових сівозмін за різних норм добрив в центральному Лісостепу України. *Агрохімія*. 1984. № 6. С. 22-31.

133. Abbas M. S., Soliman A. S., Moustafa Z. R., Abd El-Reheem K. M. Effect of some soil amendments on yield and quality traits of sugar beet (Beta vulgaris L.) under water stress in sandy soil. *Egyptian journal of agronomy* 2018, 40(1), 75-88. doi.org/10.21608/agro.2018.2660.1091

134. Antolin-Rodriguez, J. M., Sanchez-Bascones M, Martin-Gil J, Martin-Ramos P. Effect of dried pig manure fertilization on barley macronutrients and

sodium in a nitrate vulnerable zone. *Journal of soil science and plant nutrition* 2019, 4, 52-60. doi.org/10.1007/s42729-019-00123-x

135. Armstrong M., Miford G., Jackstone J. Revised fertilizer recommendations for the sugar beet crop. *British Sugar Beet Review* 2000, 68, 2-6.

136. Bender S.F., Wagg C., and van der Heijden M.G. An underground revolution: biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends Ecology Evoluyion* 2016, 31, 440–452. doi:10.1016/j.tree.2016.02.016

137. Cordes L. Organische Dünger – ideal auch für Zuckerrüben? *Zuckerrübe* 2014, 3, 40–42.

138. deCarvalho A. M.; Marchao R. L.; Souza K. W.; Bustamante M. M. D. Soil fertility status, carbon and nitrogen stocks under cover crop sand tillage regimes. *Revista ciencia agronomica* 2014, 45(5), 914-921. doi.org/10.1590/S1806-66902014000500007

139. Draycott A.P., Christenson D.R. Nutrients for sugar beet production. *Soil-Plant Relationships*. CABI: Wallingford, 2003, 7-181.

140. Hu W., Beare M. Tregurtha C. et al. Effects of tillage, compaction and nitrogen inputs on crop production and nitrogen losses following simulated forage crop grazing. *Agriculture ecosystems and environment* 2020, 289(10), 67-73. doi.org/10.1016/j.agee.2019.106733

141. Isbell F., Craven D., Connolly J., Loreau M., Schmid B., Beierkuhnlein C. Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature* 2015, 526, 574–577. doi.org/10.1038/nature15374

142. Jacobs A., Koch H. J., Marlander B. Preceding crops influence agronomic efficiency in sugar beet cultivation. *Agronomy for sustainable development* 2018, 38(1), 5-14. doi.org/10.1007/s13593-017-0469-z

143. Jenkinson D.S. An introduction to global nitrogen cycle. *Soil Use and Management* 1990, 6, 56-61.

144. Joachim Bischoff. Verfahren der Bodenbearbeitung zu Zuckerrüben im Vergleich. *Zuckerrübe* 2013, 4, 30-33.

145. Karlen D. L., Kovar J. L., Cambardella C. A., Colvin T. S. Thirty-year tillage effects on crop yield and soil fertility indicators. *Soil and tillage research* 2013, 130, 24-41. doi.org/10.1016/j.still.2013.02.003

146. Kiryushin V. I. The management of soil fertility and productivity of agrocenoses in adaptive-landscape farming systems. *Eurasian Soil* 2019, 52(9), 1137-1145. doi.org/10.1134/S1064229319070068

147. Kwiatkowski C.A., Harasim E. Chemical Properties of Soil in Four-Field Crop Rotations under Organic and Conventional Farming Systems. *Agronomy* 2020, 10, 1045-1061. doi.org/10.3390/agronomy10071045

148. Lemke R. L., Bygaart A. J., Campbell C. A., Lafond G. P., Grant B. Crop residue removal and fertilizer N: effects on soil organic carbon in a long-term crop rotation experiment on a Udic Boroll. Agricultural Ecosystem Environment. 2010, 135, 42-51. doi.org/10.1016/j.agee.2009.08.010

149. Lori M., Symanczik S., Mäder M., Efosa N., Jaenicke S., Buegger F., Tresch S., Goesmann A., Gattinger A. Distinct nitrogen provisioning from organic amendments in soil as influenced by farming system and water regime. *Environment Science* 2018, 3, 35-42. doi.org/10.3389/fenvs.2018.00040

150. Märländer B., Hoffmann C., Koch H.J., Ladewig E., Merkes R., Petersen J., Stockfisch N. Environmental situation and yield performance of the sugar beet crop in Germany: heading for sustainable development. *Journal Agronomy Crop Science* 2003, 189, 201-226.

151. Medinski T., Freese D., Reitz T. Changes in soil phosphorus balance and phosphorus-use efficiency under long-term fertilization conducted on agriculturally used chernozem in Germany. *Canadian journal of soil science* 2018, 98(4), 650-662. doi.org/10.1139/cjss-2018-0061

152. Milic S., Ninkov J., Zeremski T., etc. Soil fertility and phosphorus fractions in a calcareous chernozem after a long-term field experiment. *Geoderma* 2019, 339, 9-19. doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.017

153. Minth T. Phosphor, Kalium und Kalk – das Dreigestirn hoher Rübenerträge. *Zuckerrüben* 2014, 3, 38–39.

154. Miroshnychenko M. M., Siabruk O.P. Dynamics of CO_2 emission from chernozems under agricultural use. *Agricultural Science and Practice* 2017, 3, 43-49.

155. Muller S. Wirkung von differenziefter Herbst Und Fruhjahrsstickstoffdüngung auf Ertrag und Qualität der Zuckerrüben. *Zuckerrtibe* 1986, 36(1), 20-27.

156. Murphy D.W. Soluble nitrogen in agricultural soils. *Biology Fertilizers' Soils* 2000, 30, 374-387.

157. Palmer J., Thorburn P., Biggs J., Dominati E., Probert M., Meier E., Huth N., Dodd M., Snow V., Larsen J., Parton W. Nitrogen cycling from increased soil organic carbon contributes both positively and negatively to ecosystem services in wheat agro-ecosystems. *Frontiery Plant Science* 2017, 8. doi.org/10.3389/fpls.2017.00731

158. Petrovic B., Đuric S., Vasic M., Tunguz V., Pokluda R. Effect of bean cultivars on soil microorganisms. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 2018, 66(1), 155–160. doi.org/10.11118/actaun201866010155

159. Power J.F. Nitrogen in the cultivated ecosystems. *Ecological Bulletin* 1981, 33, 529-546.

160. Rahnavard A., Ashrafi Z.Y., Alizade H.M., Sadeghi S. Studies on the effect of fertilizer application and crop rotation on the weed infestated fields in Iran. *Journal of Agricultural Technology* 2009, 5(1), 41-50.

161. Randy L. Anderson. Growth and yield of winter wheat as affected by preceding crop and crop management. *Agronomy journal* 2008, 10. doi.org/10.2134/agronj2007.0203

162. Schönberger H. Wie Viel Stickstoff brauchen die Zuckerrüben? *Zuckerrübe* 2015, 64(2), 38–41.

163. Schlinker G. Stickstoffdüngung zu Zuckerrüben. *Zuckerrübe* 2016, 1, 45–48.

164. Schütz L., Gattinger A., Meier M., Muller A., Boller T., Mäder P. Improving crop yield and nutrient use efficiency via biofertilization – a global meta-analysis. *Frontiery Plant Science* 2018, 8, 2204. doi.org/10.3389/fpls.2017.02204

165. Stefan Büsching. Fortschritte in Bodenbearbei – tung und Sätechnik / Stefan Büsching, Dirk Wollenweber. *Zuckerrübe* 2015, 1, 31-33.

166. Suwara I., Pawlak-Zaręba K., Gozdowski D., Perzanowska A. Physical properties of soil after 54 years of long-term fertilization and crop rotation. *Plant, Soil and Environment* 2016, 62(9), 389-394. doi.org/10.17221/151/2016-PSE

167. TsialtasJ.T., Maslaris N. Effect of N fertilization rate on sugar yield and non-sugarimpurities of sugar beets (Beta vulgaris) grown under Mediterranean conditions. *Journal Agronomy Crop Science* 2005, 191, 330-339.

168. Tsvey Ya., Ivanina R., Ivanina V., Senchuk S. Yield and quality of winter wheat (Triticum aestivum L.) grain in relation to nitrogen fertilization. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 2021, 74(1), 9413-9422. https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/issue/view/5486/1674

169. Tsyuk O.A., Kyrylyuk V.I. Effect of cropping systems on the biological activity of typical chernozem in the forest of Ukraine. *Mikrobiologichnyi Zhurnal* 2019, 78(4), 102-108.

170. Wang X., Xing Yi. Effects of mulching and nitrogen on soil nitrate-N distribution, leaching and nitrogen use efficiency of maize (*Zea mays L.*). *PLoS One* 2016, 11(8), 0161612. doi.org/10.1371/journal.pone.0161612

171. Wahbi S., Prin Y., Thioulouse J., Sanguin H., Baudoin E., Maghraoui T., Oufdou K., Le Roux C., Galiana A., Hafidi M., Duponnois R. Impact of wheat/faba bean mixed cropping or rotation systems on soil microbial functionalities. *Frontiery Plant Sci*ence 2016, 7, 1364. doi.org/10.3389/fpls.2016.01364

172. Zavalin A. A., Dridiger V. K., Belobrov V. P., Yudin S. A. Nitrogen in chernozems under traditional and direct seeding cropping systems: a review. *Eurasian soil science* 2018, 51(12), 1497-1506. doi.org/10.1134/S1064229318120141

ДОДАТКИ

АКТ № 1

Впровадження науково-технічного дослідження (НТД) як результат закінченої науково-дослідної чи дослідно-конструкторської роботи (НДР чи ДКР)

« 27 » січня 2026 року

1. Назва НДР, що впроваджується: осучаснена система удобрення короткоротаційних сівозмін з внесенням побічної продукції сільськогосподарських культур та мінеральних добрив з підвищеною дозою азоту.

2. Якою науково-дослідною установою (вищим навчальним закладом) одержано НДР та запропонованому до впровадження, її автори: Інститутом біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, аспірант відділу агрохімічних досліджень Поплавський В.Б.

3. Місце впровадження: с. Вереміївка, Кременчуцького району, Полтавської області.

4. Рік і обсяг впровадження: 2025 р., виробничі поля господарства. Загальна площа 9 га.

5. Отримано фактичний економічний ефект від впровадження на одиницю (га, голову, машину) і на весь обсяг впровадження: отримано продуктивність короткоротаційних сівозмін 6,64 т к.од./га з перевагою над існуючої системи удобрення – 1,20 т к.од./га. Одержано додаткової продукції з одного гектара сівозміни на суму 8200 грн.

6. Відповідальні:

а) в. о. директора Веселоподільської дослідно-селекційної станції

Юрій ЗУБАТОВ

б) від наукової установи, вищого навчального закладу:

завідувач відділу агрохімічних досліджень Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків

Вадим ІВАНІНА

аспірант відділу агрохімічних досліджень Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків

Владислав ПОПЛАВСЬКИЙ

Додаток Б.1

Надходження вуглецю органічної речовини у грунт у складі кореневих решток залежно від удобрення і структури сівозмін, ВПДСС, 2022-2024 рр., т/га сівозмінної площі

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни	Культури сівозміни				На 1 га сівозміни
		пшениця озима	буряки цукрові	ячмінь ярий (пшениця озима)	- еспарцет; -кукурудза на силос; - горох	
Плодозмінна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)						
9	Контроль (без добрив)	0,42	0,22	0,41	0,50	0,39
10	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0,53	0,30	0,50	0,67	0,50
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0,57	0,31	0,50	0,69	0,52
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0,56	0,30	0,51	0,57	0,49
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)						
27	Контроль (без добрив)	0,40	0,21	0,39	1,16	0,54
28	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0,45	0,27	0,47	1,38	0,64
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0,46	0,28	0,52	1,40	0,67
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0,46	0,27	0,48	1,39	0,65
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)						
63	Контроль (без добрив)	0,39	0,21	0,38	0,24	0,31
64	6,3 т/га гною + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0,48	0,26	0,47	0,28	0,37
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	0,51	0,27	0,46	0,28	0,38
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	0,46	0,27	0,46	0,28	0,37

Додаток Б.2

Надходження вуглецю органічної речовини у грунт у складі побічної продукції залежно від удобрення і структури сівозмін, ВПДСС, 2022-2024 рр., т/га сівозмінної площі

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни	Культури сівозміни				На 1 га сівозміни
		пшениця озима	буряки цукрові	ячмінь ярий (пшениця озима)	еспарцет; кукурудза на силос; горох	
Плодозмінна (еспарцет – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)						
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	2,12	1,21	1,93	0,69	1,49
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	2,16	1,18	1,97	0,57	1,47
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)						
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	1,89	1,07	1,80	1,40	1,54
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	1,78	1,06	1,80	1,39	1,51
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)						
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	1,79	1,04	1,88	1,10	1,45
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	1,77	1,06	1,86	1,11	1,45

Примітка: у варіантах з внесенням 6,3 т гною додатково надходило у грунт 0,80 тон вуглецю на 1 га сівозміни

Додаток Б.3

Запаси продуктивної вологи у посівах пшениці озимої залежно від удобрення і структури сівозмін, ВПДСС, 2022 р., мм

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни (фактор А)	Шар ґрунту, см					
		0-50		0-100		0-150	
		I	II	I	II	I	II
Плодозмінна (багаторічні трави – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий) (фактор В)							
9	Контроль (без добрив)	31	13	76	26	96	47
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	30	11	84	20	106	40
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	30	13	82	22	100	42
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)							
27	Контроль (без добрив)	35	50	68	58	84	68
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	31	41	76	49	91	55
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	31	47	75	50	96	59
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)							
63	Контроль (без добрив)	58	47	108	51	138	83
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	57	43	115	48	146	72
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	57	45	115	50	147	67
$НІР_{05}$ (фактор А)		1	1	2	1	3	1
$НІР_{05}$ (фактор В)		3	2	5	3	6	5
$НІР_{05}$ (фактор А+В)		4	3	7	4	9	6

Примітка: I – відновлення весняної вегетації, II – кінець вегетації

Додаток Б.4

Запаси продуктивної вологи у посівах пшениці озимої залежно від удобрення і структури сівозмін, ВПДСС, 2023 р., мм

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни (фактор А)	Шар ґрунту, см					
		0-50		0-100		0-150	
		I	II	I	II	I	II
Плодозмінна (багаторічні трави – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий) (фактор В)							
9	Контроль (без добрив)	73	14	133	28	177	62
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	67	11	140	24	184	47
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	73	11	140	27	180	44
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)							
27	Контроль (без добрив)	73	27	136	34	210	71
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	68	21	147	41	223	56
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	72	21	150	44	216	60
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)							
63	Контроль (без добрив)	75	18	130	33	180	55
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	71	14	143	29	193	48
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	72	18	145	33	201	54
$НІР_{05}$ (фактор А)		2	1	5	2	4	2
$НІР_{05}$ (фактор В)		4	3	5	3	8	3
$НІР_{05}$ (фактор А+В)		6	4	10	5	12	5

Примітка: I – відновлення весняної вегетації, II – кінець вегетації

Додаток Б.5

Запаси продуктивної вологи у посівах пшениці озимої залежно від удобрення і структури сівозмін, ВПДСС, 2024 р., мм

№ вар.	Внесено добрив на 1 га сівозміни (фактор А)	Шар ґрунту, см					
		0-50		0-100		0-150	
		I	II	I	II	I	II
Плодозмінна (багаторічні трави – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий) (фактор В)							
9	Контроль (без добрив)	64	6	127	30	189	56
11	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	62	5	129	20	197	37
12	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	63	6	133	22	202	42
Просапна (кукурудза на силос – пшениця озима – буряки цукрові – ячмінь ярий)							
27	Контроль (без добрив)	78	5	156	19	204	35
29	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	83	0	157	6	213	19
30	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	78	2	161	7	210	20
Зерно-просапна (пшениця озима – пшениця озима – буряки цукрові – горох)							
63	Контроль (без добрив)	57	8	122	20	162	31
65	6,3 т/га гною + побічна продукція + $N_{33,6}P_{33,6}K_{33,6}$	56	5	117	15	180	26
66	Побічна продукція + $N_{46,4}P_{33,6}K_{33,6}$	59	5	118	16	181	26
$НІР_{05}$ (фактор А)		3	1	4	1	5	2
$НІР_{05}$ (фактор В)		4	1	7	2	8	2
$НІР_{05}$ (фактор А+В)		7	2	11	3	13	4

Примітка: I – відновлення весняної вегетації, II – кінець вегетації

Додаток Б.6

Запаси продуктивної вологи у посівах буряків цукрових залежно від удобрення і обробітку грунту, ІДСС, 2023, мм

№ вар.	Глибина обробітку (фактор А)	Добрива (фактор В)	Шар ґрунту, см					
			0-50		51-100		0-100	
			I	II	I	II	I	II
1	Мілкий обробіток 12-14 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	54	39	43	40	97	79
2		Фон + 5 т/га соломи	60	44	48	45	108	83
3		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	59	49	61	48	120	97
4	Оранка 30-32 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	74	56	70	51	144	107
5		Фон + 5 т/га соломи	72	61	80	55	152	116
6		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	77	49	77	48	154	97
$НІР_{05}$ (фактор А)			2	1	1	1	3	2
$НІР_{05}$ (фактор В)			4	3	4	3	7	5
$НІР_{05}$ (фактор А+В)			6	5	5	4	10	8

Примітка: I – початок вегетації, II – кінець вегетації

Додаток Б.7

Запаси продуктивної вологи у посівах буряків цукрових залежно від удобрення і обробітку грунту, ІДСС, 2024, мм

№ вар.	Глибина обробітку (фактор А)	Добрива (фактор В)	Шар ґрунту, см					
			0-50		51-100		0-100	
			I	II	I	II	I	II
1	Мілкий обробіток 12-14 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	46	4	55	11	101	15
2		Фон + 5 т/га соломи	46	4	58	12	104	16
3		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	47	6	58	12	105	18
4	Оранка 30-32 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	51	4	58	14	109	18
5		Фон + 5 т/га соломи	50	6	60	14	110	20
6		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	55	6	63	15	118	21
$НІР_{05}$ (фактор А)			2	1	1	1	2	1
$НІР_{05}$ (фактор В)			3	1	3	2	6	2
$НІР_{05}$ (фактор А+В)			5	2	4	3	8	3

Додаток Б.8

Запаси продуктивної вологи у посівах буряків цукрових залежно від удобрення і обробітку грунту, ІДСС, 2025, мм

№ вар.	Глибина обробітку (фактор А)	Добрива (фактор В)	Шар ґрунту, см					
			0-50		51-100		0-100	
			I	II	I	II	I	II
1	Мілкий обробіток 12-14 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	62	14	39	5	101	19
2		Фон + 5 т/га соломи	59	22	26	6	85	28
3		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	60	25	34	7	94	32
4	Оранка 30-32 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	64	21	45	11	109	32
5		Фон + 5 т/га соломи	62	35	49	12	111	47
6		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	59	33	43	11	102	44
$НІР_{05}$ (фактор А)			2	2	2	1	3	2
$НІР_{05}$ (фактор В)			5	2	4	1	6	3
$НІР_{05}$ (фактор А+В)			7	4	6	2	9	5

Примітка: I – початок вегетації, II – кінець вегетації

Додаток Б.9

Продуктивність буряків цукрових залежно від удобрення і обробітку грунту, ІДСС, 2023 р.

№ вар.	Глибина обробітку (фактор А)	Добрива (фактор В)	Врожайність коренеплодів, т/га	Цукристість, %	Збір цукру, т/га	Врожай-ність гички, т/га
1	Мілкий обробіток 12-14 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	45,8	18,8	8,58	18,1
2		Фон + 5 т/га соломи	47,6	18,7	8,89	19,0
3		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	49,6	18,8	9,30	19,7
4	Оранка 30-32 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	54,4	18,6	10,13	21,2
5		Фон + 5 т/га соломи	56,1	18,6	10,45	22,3
6		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	56,6	18,6	10,52	22,6
$НІР_{05}$ (фактор А)			2,4	0,2		0,9
$НІР_{05}$ (фактор В)			1,2	0,1		0,4
$НІР_{05}$ (фактор А+В)			3,7	0,4		1,4

Додаток Б.10

Продуктивність буряків цукрових залежно від удобрення і обробітку грунту, ІДСС, 2024 р.

№ вар.	Глибина обробітку (фактор А)	Добрива (фактор В)	Врожайність коренеплодів, т/га	Цукристість, %	Збір цукру, т/га	Врожай-ність гички, т/га
1	Мілкий обробіток 12-14 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	26,1	18,6	4,85	13,4
2		Фон + 5 т/га соломи	26,5	20,2	5,35	13,6
3		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	26,9	19,5	5,25	13,8
4	Оранка 30-32 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	27,8	21,4	5,95	14,3
5		Фон + 5 т/га соломи	28,4	21,5	6,11	14,6
6		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	29,8	20,6	6,14	15,3
$НІР_{05}$ (фактор А)			1,0	0,2		0,6
$НІР_{05}$ (фактор В)			0,8	0,2		0,4
$НІР_{05}$ (фактор А+В)			1,9	0,5		1,1

Додаток Б.11

Продуктивність буряків цукрових залежно від удобрення і обробітку грунту, ІДСС, 2025 р.

№ вар.	Глибина обробітку (фактор А)	Добрива (фактор В)	Врожайність коренеплодів, т/га	Цукристість, %	Збір цукру, т/га	Врожай-ність гички, т/га
1	Мілкий обробіток 12-14 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	35,7	18,0	6,43	10,6
2		Фон + 5 т/га соломи	36,0	18,2	6,55	11,8
3		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	36,8	17,8	6,55	11,7
4	Оранка 30-32 см	$N_{90}P_{90}K_{90}$ - Фон	38,2	18,8	7,18	12,0
5		Фон + 5 т/га соломи	37,8	18,6	7,03	11,8
6		Фон + 5 т/га соломи + «Добрин», 2 л/га	39,4	18,3	7,21	12,6
$НІР_{05}$ (фактор А)			1,6	0,2		0,4
$НІР_{05}$ (фактор В)			1,1	0,1		0,4
$НІР_{05}$ (фактор А+В)			2,7	0,4		0,8

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях України

1. Іваніна В.В., Поплавський В.Б. Обіг вуглецю та стан гумусу в чорноземі типовому за довготривалого застосування добрив у чотирипільних сівозмінах. *Вісник аграрної науки.* 2025. № 9(870). С. 5-11. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202509-01 *(частка здобувача у авторстві 83%, проведення та аналіз результатів досліджень, написання статті)*.

2. Іваніна В.В., Поплавський В.Б. Вплив добрив на врожайність та використання вологи пшеницею озимою в умовах чотирипільних сівозмін. *Зернові культури.* 2025. Т. 9. № 2. С. 358-364 https://doi.org/10.31867/2523-4544/0398 *(частка здобувача у авторстві 81%, проведення та аналіз результатів досліджень, написання статті)*.

3. Іваніна В.В., Поплавський В.Б. Вплив добрив на врожайність буряків цукрових та продуктивність чотирипільних сівозмін в умовах недостатнього зволоження. *Новітні агротехнології*. 2025. Т. 13. № 3. doi: 10.47414/na.13.3.2025.341816 *(частка здобувача у авторстві 85%, проведення та аналіз результатів досліджень, написання статті)*.

4. Іваніна В.В., Поплавський В.Б. Вплив соломи та глибини обробітку ґрунту на вологозабезпечення та врожайність буряків цукрових. *Вісник аграрної науки.* 2025. № 12(873). С. 5-11. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202512-01 *(частка здобувача у авторстві 84%, проведення та аналіз результатів досліджень, написання статті)*.

Матеріали наукових конференцій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

5. Іваніна В.В., Стрілець О.П., Поплавський В.Б. Вплив тривалого удобрення сівозмін на обіг вуглецю та вміст гумусу в чорноземі типовому. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції яка присвячена 100-річчю проф. М.К. Шикули «Ґрунтозахисні технології як фактор родючості ґрунтів і високих врожаїв»* 20-21 лютого 2025; Київ, 2025. С. 66-68.

6. Іваніна В.В., Поплавський В.Б., Стрілець О.П. Родючість чорнозему типового за тривалого удобрення короткоротаційних сівозмін. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Актуальні напрями та проблематика у технологіях вирощування продукції рослинництва»* 7 травня 2025; Полтава, 2025. С. 55-57.

7. Іваніна В.В., Поплавський В.Б., Стрілець О.П. Вплив добрив та сівозмін на стан гумусу ґрунту та продуктивність буряків цукрових. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції* «Сучасні інноваційні тенденції розвитку землеробства» 11 червня 2025 року; Рівне, 2025. С. 75-77.

8. Поплавський В.Б. Вплив удобрення на врожайність пшениці озимої та буряків цукрових в умовах короткоротаційних сівозмін. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми сучасного землеробства, рослинництва і тваринництва»* 25 червня 2025; с. Оброшине, 2025. С. 160-162.