

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Центи́ло Леоні́д Васи́льович

УДК 631.45:631.445.4:631.558(477)

**ДИСЕРТАЦІЯ
АГРОЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВІДТВОРЕННЯ РОДЮЧОСТІ
ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО ТА ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ
АГРОЦЕНОЗІВ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

06.01.01 «Загальне землеробство»
(сільськогосподарські науки)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора наук

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

Науковий консультант:
Танчик Семен Петрович,
доктор сільськогосподарських наук,
професор, член-кореспондент НААН

Київ–2020

АНОТАЦІЯ

Центило Л. В. Агроекологічні основи відтворення родючості чорнозему типового та підвищення продуктивності агроценозів Правобережного Лісостепу України

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук (доктора наук) за спеціальністю 06.01.01 «Загальне землеробство». – Національний університет біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України, Київ, 2020.

У дисертаційній роботі наведено теоретичне обґрунтування та представлено експериментальне розв’язання наукової проблеми підвищення родючості чорнозему типового глибокого за допомогою систем удобрення, обробітку ґрунту та підвищення продуктивності сільськогосподарських культур у Правобережному Лісостепу України.

Кореневі залишки, післяжнивні рештки, побічна продукція (солома, стебла, гичка) та зелена маса редьки олійної становлять важливе джерело поповнення необхідних для живлення рослин поживних речовин. За рахунок біомаси сидеральної культури, соломи і стебел зернових культур, гички буряків цукрових до орного шару ґрунту надходить така ж кількість органічної маси, як після вирощування основних культур сівозміни.

Встановлено, що використання мінеральної системи удобрення з внесенням $N_{80}P_{96}K_{108}$ мінеральних добрив на 1 га сівозмінної площі не забезпечує підвищення вмісту гумусу в ґрунті, а має тенденцію до стабілізації. Розширене відтворення гумусу в чорноземах типових у зерно-просапній сівозміні досягається за органо-мінеральної системи удобрення внесенням на 1 га сівозмінної площі 4,5 т компосту і $N_{40}P_{48}K_{54}$ мінеральних добрив.

Застосування мілкового безполицевого різноглибинного та полицево-безполицевого обробітку ґрунту в поєднанні з органічними і помірними нормами мінеральних добрив сприяє підвищенню його вмісту і запасів,

новоутворених і водорозчинних гумусових речовин, а також запасів енергії в органічній речовині ґрунту.

Як засвідчили одержані результати, за використання на чорноземах типових малогумусних різних систем удобрення максимальна кількість мікроорганізмів зосереджена у верхній частині оброблюваного шару, тоді як з глибиною їх чисельність зменшується. Істотний позитивний вплив на мікронаселення ґрунту виявляє органо-мінеральна система удобрення. Безполицевий обробіток ґрунту зумовлює оптимізацію мікробіологічних процесів, що сприяє збереженню ґрунтової родючості.

За систематичного застосування полицево-безполицевого обробітку, порівняно із диференційованим на фоні загальної інгібуючої дії (в середньому на 4–13 %), відбувається збільшення нітрифікаційної здатності у верхній частині оброблюваного шару в 1,8 рази, знижується ймовірність внутрішньогрунтової міграції нітратів за межі кореневого шару. При систематичному використанні компосту нітрифікаційна здатність підвищується на 22–53 %, а за їх спільного внесення з помірними нормами мінеральних добрив – на 31–39 %. Довготривале застосування високих норм мінеральних добрив (284 кг, д. р. NPK) знижує нітрифікаційну здатність ґрунту.

Локалізація азоту у верхній частині оброблюваного шару за полицево-безполицевого та мілкого безполицевого обробітку ґрунту не погіршує умови живлення рослин згаданим елементом і не призводить до зниження урожайності вирощуваних культур. Застосування органо-мінеральної та мінеральної системи удобрення сприяє суттєвому підвищенню вмісту у ґрунті сполук азоту. Властивий чорноземам типовим нітратно-амонійний азотний режим зберігається і створюються передумови більш економного використання ґрунтового азоту.

Разом із тим, Застосування органо-мінеральна система удобрення на фоні полицево-безполицевого обробітку ґрунту в сівозміні дає можливість управляти процесами нітрифікації й амоніфікації з метою регулювання

вмісту NH_4 і NO_3 у ґрунті для забезпечення оптимальних умов азотного живлення рослин, запобігати довільним втратам азоту через вимивання і забрудненню ґрунтових вод нітратами.

За мінеральної й органо-мінеральної системи удобрення у ґрунті підвищується вміст рухомих форм фосфору, а також ступінь рухомості. Застосування полицево-безполицевого обробітку ґрунту призводить до істотних змін фосфорного стану чорнозему типового.

Органо-мінеральна система удобрення за вмістом обмінного калію істотно не відрізняється від мінеральної системи удобрення. Так, за органічної системи удобрення вміст обмінного калію знижується у шарі 0–10 см на 20–32 %, 10–20 см на 15–22 %, у шарі 20–30 см на 13–21 % порівняно з мінеральною.

Встановлено, що найбільша кількість водотривких агрегатів в орному шарі відзначена за органо-мінеральної системи удобрення, що істотно перевищує контроль (без добрив). Вміст водотривких агрегатів зростає за органо-мінеральної системи удобрення в шарі 0–10 см на 5,2 %, за мінеральної – на 1,9 %.

На варіанті з органо-мінеральною системою удобрення спостерігається зменшення щільності верхнього та глибших шарів ґрунту порівняно з мінеральною системою. Зокрема, на початку вегетації зменшення щільності становило 2,5 %. За мінеральної системи удобрення відбувається підвищення щільності верхньому 0–10 см шару ґрунту на 2,5 % та 10–20 см – на 3,3 %, порівняно із варіантом без застосування добрив. Найвищий показник щільності ґрунту відзначено у варіантах із систематичним мілким безполицевим обробітком у шарі 20–30 см ($1,29 \text{ г/см}^3$), незалежно від системи удобрення.

Систематичне застосування мілкового безполицевого обробітку із щільюванням викликає збільшення твердості в нижній частині оброблювального шару. Відмінності за твердістю найбільшою мірою виражені восени, зразу після проведення основного обробітку, тоді як у

весняно-літній період вони врівноважуються і, як правило, не досягають критичних значень для вирощування культур.

Запаси доступної вологи в орному і метровому шарах ґрунту не призводять до істотної різниці у варіантах систем удобрення. За мілкого безполицевого обробітку як в орному 0–30 см, так і метровому 0–100 см шарі ґрунту створюються сприятливіші умови для більшого накопичення вологи і раціонального її використання за рахунок дрібногрудочкуватого складу і мульчуючого шару, який вони створюють. Найменшими запаси доступної вологи виявилися за диференційованого обробітку ґрунту. При застосуванні полицево-безполицевого обробітку встановлено тенденцію щодо збільшення запасів вологи порівняно з контролем.

Найвищої продуктивності ріллі у десятипільній сівозміні досягнуто за мінеральної системи удобрення, істотне зниження якої спостерігається на фоні без застосування добрив і органічної системи. Органо-мінеральна система удобрення істотно не відрізняється від мінеральної. Серед систем основного обробітку ґрунту перевага залишається за диференційованим та полицево-безполицевим обробітком.

Як встановлено, за органічної системи удобрення відбувається істотне зниження продуктивності культур чотирипільної сівозміни. Мінеральна система удобрення забезпечила підвищення продуктивності чотирипільної сівозміни порівняно з органічною. Так, за органічної системи удобрення продуктивність сівозміни у середньому становила 7,4 т/га к. од., за мінеральної – 10,2 т/га к. од.. Крім того, застосування полицевого обробітку ґрунту в сівозміні сприяло високій продуктивності культур чотирипільної сівозміни. У середньому по сівозміні у варіанті з оранкою продуктивність досягала 9,8 т/га к. од., тоді як за безполицевого з одночасним щільюванням обробітку ґрунту 8,8 т/га к. од. Тобто, безполицевий обробіток зумовив зниження продуктивності сівозміни на 1,1 т/га порівняно з мілким безполицевим обробітком з одночасним щільюванням.

За мінеральної системи удобрення зерно формувалося з вищим вмістом клейковини порівняно з органо-мінеральною та органічною системами. У зерні пшениці, вирощеної за органічної системи удобрення, містилося 25,1 %, у варіанті без застосування добрив – 24 % клейковини.

За мілкого безполицевого обробітку ґрунту вміст клейковини у зерні пшениці істотно знижується – на 4,7 % порівняно з контролем. Істотно вищим вміст клейковини у зерні пшениці озимої спостерігався за диференційованого та полицево-безполицевого обробітку ґрунту.

Теоретично обґрунтовано й експериментально підтверджено інформативність та об'єктивність компостування, що являє собою складну взаємодію між органічними речовинами, мікроорганізмами, вологою і повітрям. Мікробна активність підсилюється за умов забезпечення необхідного рівня вологи і кисню. Крім кисню, мікроорганізми потребують також азот, фосфор, калій наявність мікроелементів. Ці речовини містяться у складі гною, різних відходах.

Удосконалено агротехнічні заходи, спрямовані на зниження енергоємності обробітку ґрунту, підвищення економічної ефективності функціонування сівозмін на фоні застосування систем удобрення, встановлено вплив систем основного обробітку ґрунту та удобрення на динаміку чисельності мікроорганізмів, вміст елементів живлення й гумусу у ґрунті.

Енергетично найефективнішою за зростанням коефіцієнта енергетичної ефективності та енергоємності врожаю визначено мінеральну систему удобрення. Разом із тим, це перетворює таку систему удобрення на енергетично витратну. Застосування лише органічних добрив знижує енергоємність врожаю на 5,5 ГДж/га. Варіант мілкого безполицевого обробітку з одночасним щільюванням забезпечує найвищий коефіцієнт енергетичної ефективності – 3,7.

Ключові слова: система удобрення, система основного обробітку ґрунту, родючість ґрунту, урожайність, продуктивність сівозміни, якість продукції, енергетична ефективність.

ANNOTATION

Tsentylo L. V. Agroecological bases of chernozem typical fertility restoration and increase of agroecosystem productivity of the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine. Qualifying scientific work published as a manuscript.

The dissertation thesis submitted for the scientific degree of Doctor of Agricultural Sciences in specialty 06.01.01 «General Agriculture». – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2020.

The dissertation thesis is devoted to the theoretical substantiation and experimental solution of the scientific problem of increasing chernozem typical deep fertility using fertilizer systems, tillage and increasing crop productivity of the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine.

Root, post-harvest residues, by-products (straw of grains, stems, leaves of beet) and green manure of oil radish are important sources of nutrients replenishment needed for plant nutrition. Due to the biomass of sideral crops, straw and stems of cereals, leaves of sugar beet to the arable layer, soil receives the same amount of organic mass as after growing basic rotating crops.

It has been established that mineral fertilizers use with $N_{80}P_{96}K_{108}$ mineral fertilizers application per hectare of rotated area does not increase the humus content in the soil, but tends to stabilize. Significant chernozem typical humus restoration in grain – row crop rotation is achieved due to organic-mineral fertilizer system use by compost 4.5 t and $N_{40}P_{48}K_{54}$ mineral fertilizers application per hectare of crop rotation area.

The use of shallow different-depth non-plowing and plowing–non-plowing cultivation in combination with organic and moderate application of mineral

fertilizers, contributes to the increase of its content and reserves, newly formed and water soluble humus substances, as well as energy reserves in soil organic matter.

Different fertilizer system application to chernozem typical low-humus has shown that the maximum number of microorganisms was observed in the upper

soil cultivated layer, and their amount decreases with the depth. Organic-mineral fertilizer system has a significant positive effect on soil microorganisms. Non-plowing cultivation helps to optimize the microbiological processes, which contribute to preserve soil fertility.

The systematic use of plowing–non-plowing cultivation, compared with the differentiated one in the context of general inhibitory action (on average 4 – 13 %), contributes to 1.8 time increase the nitrification capacity in the upper cultivated soil layer, reducing the likelihood of inner soil nitrate migration from the root layer. With the systematic compost application, the nitrification capacity is increased by 22 – 53 %, and by their joint application with moderate rates of fertilizers – by 31 – 39 %. Long-term application of high fertilizer rates (284 kg, NPK) reduces soil nitrification capacity.

Nitrogen localization in the upper soil cultivated layer due to shallow non-plowing and plowing–non-plowing cultivation does not affect plant nutrition conditions and does not lead to decrease in crop yields. The use of organic-mineral and mineral fertilizer systems contributes to a significant increase in the nitrogen content of soil. The nitrate-ammoniac nitrogen regime intrinsic to typical chernozem is preserved and the prerequisites for more economical use of soil nitrogen are created.

Organic-mineral fertilizer system application in plowing–non-plowing cultivation in crop rotation makes it possible to control the processes of nitrification and ammonia use to regulate the content of NH_4 and NO_3 in the soil to ensure optimal conditions for nitrogen plants nutrition, to prevent unauthorized nitrogen losses from leakage and water pollution with nitrates.

Due to the mineral and organic-mineral fertilizer system application, the content of soluble forms of phosphorus in soil increases similar to the degree of its motility. The use of plowing – non-plowing cultivation leads to significant changes in chernozem typical phosphorus content.

The organic-mineral fertilizer system by the content of potassium did not significantly exceed the mineral fertilizer system. In the organic fertilizer system,

the potassium content reduces in the layer of 0 – 10 cm by 20 – 32 %, 10 – 20 cm by 15 – 22 %, 20 – 30 cm by 13 – 21 % compared to mineral fertilizer system.

It has been studied that the largest number of water-resistant aggregates in the arable layer was marked due to the organic-mineral fertilizer system, which significantly exceeds the control (without fertilizers). The content of water-resistant aggregates increased by 5.2 % due to the organic-mineral fertilizer system in the layer of 0 – 10 cm, and by 1.9 % due to the mineral fertilizer system.

In the alternative with the organic-mineral fertilizer system, there is a decrease in the density of the upper and deeper soil layers in comparison with the mineral fertilizer system. In particular, at the beginning of the growing season, the density reduction was 2.5 %. The mineral fertilizer system increases the density of the upper (0 – 10 cm) soil layer by 2.5 % and 10 – 20 cm by 3.3 %, compared to the fertilizer free alternative. The highest soil density was observed in variants with systematic shallow non-plowing cultivation in the layer of 20 – 30 cm (1.29 g/cm^3), regardless of the fertilizer system.

The systematic application of shallow non-plowing cultivation with slitting causes soil density increase in the lower part of the arable layer. Differences in soil density are most typical in autumn, immediately after the basic cultivation, and in the spring – summer period, they are smoothed and, as a rule, do not reach critical values for crops growing.

Available moisture stocks in the soil and meter soil layers do not make a significant difference in fertilizer systems options. With shallow non-plowing cultivation, both in the arable 0 – 30 cm and in the 0 – 100 cm soil layer, the best conditions are created for more moisture accumulation and its rational use due to the fine-grained composition and the mulching layer they create. The smallest available moisture was due to differentiated cultivation. Using plowing–non-plowing cultivation tended to increase moisture levels compared to the control.

The highest productivity of ten-field rotation was achieved with the mineral fertilizer system, a significant decrease was observed without the use of fertilizers and organic system. Organic-mineral fertilizer system is not significantly different

from mineral one. Among the systems of basic cultivation, there was the advantage of differentiated and plowing–non-plowing cultivation.

It has been found that the organic fertilizer system led to a significant decrease in the productivity of four-field rotation crops. With the mineral fertilizer system, the productivity of four-field rotation crops is increased compared to the organic one. Thus, for the organic fertilizers application, crop rotation productivity averaged 7.4 t/ha of forage crops, while for mineral fertilizers use – 10.2 t / ha of forage crops. The use of plowing cultivation in crop rotation has contributed to the high productivity of four-field rotation crops. On average, in option with plowing cultivation, the crops productivity was 9.8 t/ha. Due to the use of non-plowing cultivation with slitting, the crops productivity was 8.8 t/ha. Non-plowing cultivation contributed to a decrease in crop rotation productivity of 1.1 t/ha compared to shallow non-plowing cultivation with slitting.

Due to the mineral fertilizer system use, grains had a higher gluten content compared to the use of organic-mineral and organic fertilizer systems. Wheat grain grown under organic fertilizer system use contained 25.1 % gluten, without fertilizers – 24 %.

In case of non-plowing cultivation, wheat grain gluten content significantly reduced by 4.7 % compared to the control. Significantly higher gluten content in winter wheat grains was observed due to the differentiated and plowing–non-plowing cultivation.

It has been theoretically substantiated and experimentally verified the composting informativity and objectivity, which is the complex interaction between organic matters, microorganisms, moisture and air. Microbial activity is enhanced by providing the required level of moisture and oxygen. In addition to oxygen, microorganisms need a source of nitrogen, phosphorus, potassium and microelements. These substances are contained in manure, various wastes. The agrotechnical measures aimed at reducing the soil cultivation energy intensity, improving the economic efficiency of crop rotation due to the fertilizer systems application *have been improved*. It has been studied the influence of basic soil

cultivation and fertilizers application systems on the dynamics of the microorganisms number, the content of nutrients and humus in the soil.

It has been proved that the most energy-efficient in terms of increasing crop yield energy efficiency and energy intensity was the mineral fertilizer system, which makes this fertilizer system energy-efficient. The use of organic fertilizers only reduces the crop yield energy by 5.5 GJ/ha. The application of shallow non-plowing cultivation with slitting has the highest energy efficiency ratio – 3.7.

Key words: fertilizer system, basic soil cultivation system, soil fertility, yield, crop rotation productivity, product quality, energy efficiency.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії та навчальні посібники:

1. Танчик С. П., Манько Ю. П., Гудзь В. П., Кротінов О. П., Цюк О. А., Іванюк М. Ф., **Центи́ло Л. В.**, Косолап М. П., Рожко В. М., Тарасенко О. О., В'ялий С. О., Дудченко В. М., Анісімова А. А., Карпенко О. Ю., Бабенко А. І., Павлов О. С. Землеробство К., 2013. 278 с. *(Здобувачем підготовлено розділ щодо ерозії ґрунтів).*

2. Шувар І. А., Бунчак О. М., Сендецький В. М., Тимофійчук О. Б., Гнидюк В. С., **Центи́ло Л. В.**, Бахмат О. М. Виробництво та використання органічних добрив: монографія. Івано-Франківськ, 2015. 596 с. *(Здобувачем висвітлено аспекти використання органічних добрив, їх застосування в агропромисловому виробництві).*

3. Танчик С. П., Цюк О. А., **Центи́ло Л. В.** Наукові основи системи землеробства: монографія. Вінниця, 2015. 314 с. *(Здобувачем розроблено основні параметри ґрунтової родючості чорнозему типового).*

4. Мельник І. П., Колісник Н. М., Шувар І. А., Сендецький В. М., **Центи́ло Л. В.** Дощові черв'яки: наукові аспекти вирощування і практичне застосування: монографія. Івано-Франківськ, 2015. 444 с. *(Здобувачем висвітлено способи збирання вермикультури і одержання біогумусу).*

5. Центи́ло Л. В. Органічні добрива для сучасних систем землеробства: монографія. Івано-Франківськ, 2017. 260 с.

6. Шувар І. А., Бердніков О. М., **Центи́ло Л. В.**, Сендецький В. М. Сидерати в сучасному землеробстві: науково-виробниче видання: монографія. Івано-Франківськ, 2015. 156 с. *(Здобувачем розкрито значення сидерації для збагачення ґрунту органічними речовинами).*

7. Шувар І. А., Роїк М. В., Іванишин В. В., Сендецький В. М., **Центи́ло Л. В.** Сидерація в технологіях сучасного землеробства: наукововиробниче видання: монографія. Івано-Франківськ, 2016. 180 с. *(Здобувачем обґрунтовано значення зелених добрив для збагачення ґрунту органічними речовинами).*

8. Іванишин В. В., Роїк М. В., Шувар І. А., **Центи́ло Л. В.**, Сендецький В. М., Бунчак О. М., Колісник Н. К. Біологізація землеробства в Україні: реалії та перспективи: науково-виробниче видання. Івано-Франківськ, 2016. 284 с. *(Здобувачем висвітлено стан і перспективи біологізації землеробства).*

Статті у наукових фахових виданнях України:

9. Tsentylo L. V. Agrophysical characteristics of typical black soil in agrophytocenoses of winter depending on cultivation and fertilization. Таврійський науковий вісник. 2019. Вип. 105. С. 155–159.

10. **Центи́ло Л. В.**, Цюк О. А. Динаміка змін твердості ґрунту залежно від його основного обробітку. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2019. № 1. С. 147–153. *(Здобувачем досліджено твердість ґрунту, здійснено аналіз отриманих даних).*

11. Центи́ло Л. В. Формування якості зерна пшениці озимої залежно від системи удобрення і обробітку ґрунту. Миронівський вісник. 2019. № 8. С. 152–162.

12. Центи́ло Л. В. Біологічна активність ґрунту за різних систем удобрення соняшнику та обробітку ґрунту. Таврійський науковий вісник. 2019. Вип. 108. С. 117–122.

13. Центи́ло Л. В. Вплив систем удобрення та обробітку ґрунту на гумусний стан і біологічні процеси чорнозему типового. Таврійський науковий вісник. 2019. Вип. 107. С. 171–177.

14. Танчик С. П., **Центи́ло Л. В.**, Цюк О. А. Вплив удобрення і обробітку ґрунту на урожайність культур сівозміни. Вісник аграрної науки. 2019. № 8. С. 11–16. *(Здобувачем визначено урожайність культур сівозміни, здійснено аналіз отриманих даних).*

15. Центи́ло Л. В. Продуктивність сівозміни залежно від удобрення і обробітку ґрунту. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2019. Вип. 3 (103). С. 52–60.

16. Центи́ло Л. В. Зміна водного режиму чорнозему типового залежно від систем обробітку ґрунту. Вісник аграрної науки. 2019. № 11. С. 22–27.

Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних:

17. Танчик С. П., **Центи́ло Л. В.** Особливості удобрення кукурудзи за її вирощування на чорноземі типовому в Лісостепу України. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агрономія. 2017. № 269. С. 74–83. *(Здобувачем досліджено особливості удобрення кукурудзи, здійснено аналіз даних та підготовлено статтю до друку).*

18. **Центи́ло Л. В.**, Цюк О. А., Мельник В. І. Уміст поживних речовин у ґрунті під впливом застосування добрив і обробітку ґрунту. Біоресурси і природокористування. 2018. Т. 10. № 3–4. С. 164–169. *(Здобувачем досліджено вміст поживних речовин у ґрунті, здійснено аналіз даних та підготовлено статтю до друку).*

19. Цюк О. А., **Центи́ло Л. В.**, Мельник В. І. Структурно-агрегатний склад ґрунту залежно від основного обробітку та удобрення. Біоресурси і природокористування. 2018. Т. 10. № 5–6. С. 139–145. *(Здобувачем*

досліджено структурно-агрегатний склад ґрунту в полі буряків цукрових, здійснено аналіз даних та підготовлено статтю до друку).

20. **Центи́ло Л. В.,** Цюк О. А. Баланс азоту, фосфору і калію за застосування добрив. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2018. № 5. (75). Режим доступу до статті: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2018.05.020>. *(Здобувачем досліджено і проаналізовано наявність основних елементів живлення ґрунту в сівозміні, здійснено аналіз даних та підготовлено статтю до друку).*

21. Центи́ло Л. В. Вплив різних систем основного обробітку ґрунту та удобрення на вологозабезпеченість посівів пшениці озимої. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2019. № 1 (77). Режим доступу до статті: <https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.01.021>.

22. Центи́ло Л. В. Параметри вмісту гумусу в чорноземі типовому залежно від агровиробничого використання. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2019. № 2 (78). Режим доступу до статті: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2019.02.017>.

23. Центи́ло Л. В. Калійний режим чорнозему типового за різного удобрення та обробітку ґрунту. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2019. № 3 (79). Режим доступу до статті: index.php/Dopovidi/issue/view/501.

24. Центи́ло Л. В. Вологозабезпеченість буряків цукрових залежно від систем обробітку ґрунту та удобрення. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2019. № 5 (81). Режим доступу до статті: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2019.05.010>.

25. **Центи́ло Л. В.,** Цюк О. А. Азотний режим чорнозему типового залежно від удобрення і обробітку ґрунту. Біоресурси і природокористування. 2019. Т. 11. № 1–2. С. 107–114. *(Здобувачем досліджено динаміку вмісту нітратного і амонійного азоту ґрунту, здійснено аналіз даних та підготовлено статтю до друку).*

26. Центи́ло Л. В. Вплив елементів агротехнологій на спрямованість процесів трансформаційних азотних сполук у чорноземі типовому. Збалансоване природокористування. 2019. № 1. С. 32–37. 27. Танчик С. П., **Центи́ло Л. В.** Екологічні аспекти удобрення соняшнику за його вирощування на чорноземах типових в Правобережному Лісостепу України. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агрономія. 2018. № 286. С. 80–89. *(Здобувачем проведено дослідження і проаналізовано екологічні аспекти щодо удобрення соняшнику, здійснено аналіз даних та підготовлено статтю до друку).*

28. Центи́ло Л. В. Ферментативна активність чорнозему типового залежно від основного обробітку ґрунту і удобрення. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. 2019. Вип. 30. С. 66–71.

29. **Центи́ло Л. В.,** Цюк О. А., Мельник В. І. Енергетична ефективність систем удобрення і обробітку ґрунту. Біоресурси і природокористування. 2019. Т. 11. № 3–4. *(Здобувачем визначено енергетичну ефективність систем удобрення, здійснено аналіз даних та підготовлено статтю до друку).*

Стаття у науковому виданні іншої держави

30. Panchenko T., Lozinskiy M., Gamayunova V., Tsentilo L., Khakhula V., Fedoruk Y., Pokotylo I. Change of yield and baking qualities of winter wheat grain depending on the year of growing and predecessor in the central Forestry of Ukraine. Plant Archives. 2019. Vol. 19. No. 1. P. 1107–1112. *(Здобувачем визначено урожайність пшениці озимої та підготовлено статтю до друку).*

Статті у наукових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних

31. Tsyuk O. A., Tanchuk S. P., Tsentulo L. V., Kirilyuk V. I., Pavlov O. S., Sleptsov Y. Change of carbon's content of the main humus's groups of the black

typical soil with the agriculture's ecologization. Ukrainian Journal of Ecology. 2018. Vol. 8 (4). P. 154–157. *(Здобувачем проведено аналіз вмісту гумусу основних груп гумусу та підготовлено статтю до друку).*

32. Manko Yu. P., Tsyuk O. A., Tsentulo L. V., Shemetun O. The methodology resource suggesrion with environmental criteria for rationality agricultural systems estimation. Ukrainian Journal of Ecology. 2019. Vol. 9. (1). P. 121–126. *(Здобувачем створено методичний ресурс для оцінювання раціональності систем удобрення та підготовлено статтю до друку).*

Патенти України на корисну модель:

33. **Центило Л. В.**, Паламарчук М. М., Кулинич Р. М., Колісник Н. М., Сендецький В. М., Гнидюк В. С. Спосіб виробництва органічних добрив «Мікроорганік» шляхом пришвидшеної аеробної ферментації: патент 106094 України. № у 201511541; заявлено 23.11.2015. опубліковано 11.04.2016. Бюл. № 7. 6 с. *(Здобувачем досліджено компостну суміш аеробної ферментації із органічних відходів).*

34. **Центило Л. В.**, Паламарчук М. М., Кулинич Р. М., Колісник Н. М., Сендецький В. М., Гнидюк В. С. Спосіб виробництва органо-дефекатних добрив: патент 106027 України. № у 201510718; заявлено 03.11.2015. опубліковано 11.04.2016. Бюл. № 7. 6 с. *(Здобувачем запропоновано технології виробництва органо-дефекатних добрив).*

35. **Центило Л. В.**, Паламарчук М. М., Кулинич Р. М., Колісник Н. М., Сендецький В. М., Гнидюк В. С. Спосіб виробництва регуляторів росту і розвитку рослин «Мікробіофіт»: патент 109948 України. № а 201601147; заявлено 10.02.2016. опубліковано 26.09.2016. Бюл. № 18. 6 с. *(Здобувачем запропоновано внесення у ферментатор до виготовленого вермикомпостного чаю мікробних культур).*

36. Сендецький В. М., Колісник Н. М., Бунчак О. М., **Центило Л. В.**, Паламарчук М. М., Кулинич Р. М. Спосіб виробництва біокомпостних і вермикомпостних «Чаїв»: патент 106026 України. № у 2015210715; заявлено

03.11.2015. опубліковано 11.04.2016. Бюл. № 7. 6 с. *(Здобувачем досліджено умови ферментації в пластикових або металічних ємностях твердої фракції органічних добрив, виготовлених методом вермикультивування).*

37. Іванишин В. В., Сендецький В. М., Колісник Н. М., Бунчак О. М., Шувар І. А., **Центи́ло Л. В.**, Гаврилянчик Р. Ю. Спосіб вирощування гречки в проміжних посівах: патент 111898 України. № у 201605269; заявлено 16.05.2016. опубліковано 25.11.2016. Бюл. № 22. 5 с. *(Здобувачем запропоновано сумісне вирощування гречки в проміжних і післяукісних посівах).*

38. **Центи́ло Л. В.**, Кулинич Р. М., Волкогон В. В. Біоорганомінеральне добриво «Біофос»: патент 116179 Україна. № а 201700624; заявлено 23.01.2017; опубліковано 26.12.2017. Бюл. № 24. 6 с. *(Здобувачем досліджено бактеріальну асоціацію штамів *Pseudomonas sp.*, *Lactobacillus sp.*, *Bacillus subtilis*).*

Науково-методичні праці та рекомендації виробництву:

39. Танчик С. П., Демідов О. А., Манько Ю. П., Цюк О. А., Іванюк М. Ф., **Центи́ло Л. В.**, Бабенко А. І., Петришина А. А. Екологічна система землеробства в Лісостепу України. К., 2011. 39 с. *(Здобувачем досліджено продуктивність сівозміни, підготовлено розділ до друку).*

40. Мікробні препарати в сучасних аграрних технологіях (науковопрактичні рекомендації). За редакцією В. В. Волкогона. К., 2015. 248 с. *(Здобувачем висвітлено застосування мікробних препаратів за вирощування сільськогосподарських культур).*

41. Танчик С. П., **Центи́ло Л. В.**, Манько Ю. П., Цюк О. А., Бабенко А. І., Павлов О. С., Яцук І. П., Сінченко В. В., Сендецький В. М. Екологічна система землеробства. К., 2017. 30 с. *(Здобувачем висвітлено технологічний регламент аеробної ферментації органічних речовин на відкритих площах).*

42. Цюк О. А., Танчик С. П., Манько Ю. П., Літвінов Д. В., Бабенко А. І., Павлов О. С., **Центи́ло Л. В.** Новітня модель енергоощадного екологічного землеробства в Лісостепу України (науково-методичні рекомендації). К., 2019. 47 с. *(Здобувачем описана модель прогнозу змін вмісту гумусу в ґрунті).*

Тези наукових доповідей

43. **Центи́ло Л. В.**, Кулинич Р. М., Сендецький В. М. Виробництво і застосування органо-дефекатних добрив в сучасних агротехнологіях. Міжнародна науково-практична конференція Подільського державного аграрно-технічного університету, м. Кам'янець-Подільський, 25–26 квітня 2016 року: тези доповіді. Кам'янець-Подільський, 2016. С. 331–334. *(Здобувачем висвітлено виробництво органо-дефекатних добрив).*

44. **Центи́ло Л. В.**, Волкогон В. В. Біологічні аспекти удобрення пшениці озимої. Новітні агротехнології: теорія та практика: Міжнародна науковопрактична конференція, присвячена 95-річчю Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, м. Київ, 11 липня 2017 року: тези доповіді. К., 2017. С. 51–52. *(Здобувачем проведено дослідження щодо удобрення пшениці озимої).*

45. Танчик С. П., **Центи́ло Л. В.**, Павлов О. С., Бабенко А. І. Екологічні проблеми землеробства України та шляхи їх вирішення. Актуальні проблеми розвитку аграрної освіти і науки та підвищення ефективності агропромислового виробництва: Міжнародна науково-практична конференція, м. Одеса, 20–21 вересня 2018 року: тези доповіді. Одеса, 2018. С. 19. *(Здобувачем висвітлено проблеми землеробства України).*

ЗМІСТ

ВСТУП	24
РОЗДІЛ 1. ЗАЛЕЖНІСТЬ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ ВІД ОСОБЛИВОСТЕЙ УДОБРЕННЯ ТА ЙОГО ОБРОБІТКУ	30
1.1. Історичні аспекти розвитку обробітку ґрунту	30
1.2. Зміни родючості ґрунту під впливом обробітку ґрунту	33
1.3. Вплив добрив на формування родючості чорноземних ґрунтів	47
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	64
2.1. Ґрунтово-кліматична характеристика регіону	64
2.2. Схема дослідів та методика досліджень	66
2.3. Агрокліматичні умови в роки проведення досліджень	84
Висновки до розділу 2	92
РОЗДІЛ 3. ДИНАМІКА ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ ЧОРНОЗЕМНОГО ҐРУНТУ ПІД ВПЛИВОМ ОБРОБІТКУ ТА ДОБРИВ	93
3.1. Надходження у ґрунт органічних речовин	102
3.2. Вміст і запаси гумусу	112
3.3. Баланс органічної речовини гумусу в ґрунті	120
3.4. Груповий склад гумусу	127
3.5. Запаси енергії органічної речовини ґрунту	132
3.6. Рухомі органічні речовини	136
Висновки до розділу 3	144
РОЗДІЛ 4. БІОЛОГІЧНА АКТИВНІСТЬ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО	146
4.1. Чисельність мікроорганізмів	147
4.2. Виділення вуглекислоти ґрунтом	154
4.3. Асиміляція вуглекислоти ґрунту і ґрунтового повітря	159
4.4. Нітрифікаційна здатність	166
4.5. Целюлозолітична активність ґрунту	169
4.6. Ферментативна активність	172
Висновки до розділу 4	179
РОЗДІЛ 5. ПОЖИВНИЙ РЕЖИМ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО	181
5.1. Азотний режим чорноземних ґрунтів	181
5.2. Фосфатний режим	200

5.3. Калійний режим	210
5.4. Баланс елементів живлення	218
Висновки до розділу 5	229
РОЗДІЛ 6. АГРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ВОДНИЙ РЕЖИМ ҐРУНТУ	230
6.1. Структурно-агрегатний стан ґрунту	232
6.2. Щільність орного шару ґрунту	242
6.3. Пористість ґрунту	248
6.4. Твердість ґрунту.....	251
6.5. Водопроникність ґрунту	256
6.6. Запаси доступної вологи	259
Висновки до розділу 6	275
РОЗДІЛ 7. УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР	276
7.1. Урожайність сільськогосподарських культур	276
7.2. Продуктивність сівозмін	291
7.3. Якість продукції.....	301
Висновки до розділу 7	314
РОЗДІЛ 8. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ОСНОВИ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ.....	316
Висновки до розділу 8	330
РОЗДІЛ 9. ЕНЕРГЕТИЧНА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	332
9.1. Енергетична ефективність вирощування культур за різних систем удобрення та обробітку ґрунту.....	332
9.2. Еколого-енергетична ефективність агротехнологій	342
9.3. Економічна ефективність.....	345
Висновки до розділу 9	349
ВИСНОВКИ.....	350
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	357
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	358
ДОДАТКИ.....	418

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ ТЕРМІНІВ

ДСТУ – Державний стандарт України

Д.р. – діюча речовина

ІБ – інтенсивність балансу

К. од. – кормові одиниці

ГР – гумінові речовини

ФР – фульворечовини

НААН – Національна академія аграрних наук України

ГТК – гідротермічний коефіцієнт

ВСТУП

У сучасних умовах з метою зниження ресурсо- та енергоємності агротехнологій, відтворення родючості ґрунтів і забезпечення стабільного високопродуктивного виробництва якісної рослинної продукції набув, актуальності пошук нових альтернативних напрямів розвитку систем землеробства. До таких напрямів належить вдосконалення технологічних процесів, зокрема через опрацювання енергозберігаючих, ґрунтозахисних систем обробітку ґрунту, ощадливого залучення в біологічний кругообіг біогенних елементів промислового походження з раціональним використанням відходів рослинництва і тваринництва на добриво.

Актуальність теми. Ріст населення планети потребує значного нарощування виробництва якісних й екологічно безпечних продуктів харчування та технічної сировини для переробки. Очевидно, що шлях подальшої інтенсивної хімізації землеробства економічно необґрунтований та екологічно небезпечний. Настала нагальна необхідність екологізації землеробства. Перші кроки в цьому напрямі здійснені в США, Канаді, країнах Європейського Союзу (Зубенко В. Ф., Барштейн Л. А., Єщенко В. О., Манько Ю. П., Танчик С. П., Малієнко А. М., Цюк О. А.) та інших країнах світу. Проте глибокі комплексні дослідження в напрямі екологізації та подальшої біологізації землеробства практично відсутні. Теоретичні основи використання органічних і мінеральних добрив за екологічного землеробства не розроблені. Роль органічних і мінеральних добрив нового покоління у формуванні якісної та екологічно безпечної продукції рослинництва за екологічного землеробства не визначена, шляхи їх спільного, ефективного використання не апробовані. Недостатня вивченість окреслених вище проблем у землеробстві стимулює наукову спільноту до проведення досліджень у цьому напрямі. Адже перспективою розвитку галузі землеробства нині визнано у розроблення та впровадження науково обґрунтованих, екологічно безпечних сучасних систем землеробства. За основу таких систем слугує дотримання та управління законів екологічної

сумісності землеробства з природними процесами. За умов ринкової економіки пріоритетом здійснених розробок стала стабілізація структури посівних площ із нормативною часткою багаторічних бобових трав; ресурсно можливе внесення органічних добрив нового покоління, нетоварної частини урожаю, маси сидеральних культур; впровадження ґрунтозахисних систем обробітку ґрунту; розроблення та впровадження екологічно регламентованої системи захисту сільськогосподарських рослин від шкідливих організмів; використання мікробних препаратів на основі нових ізолюваних штамів-продуцентів.

Теоретичні й практичні результати проведених досліджень нададуть надати нового поштовху розвитку галузі землеробства, що суттєво змінить шляхи та методи управління родючістю ґрунтів і продуктивності ріллі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано впродовж 2011–2019 рр. у Національному університеті біоресурсів і природокористування України в рамках державних наукових тем: «Теоретичне обґрунтування та розробка системи енергоощадного екологічного землеробства в Лісостепу України» (номер державної реєстрації 0107U004093, 2007–2011 рр.); Наукове обґрунтування та розроблення системи енергоощадного екологічного землеробства в Лісостепу України» (номер державної реєстрації 0117U002550, 2017–2019 рр.)

Мета і задачі дослідження. Мета роботи – теоретичне обґрунтування та розроблення заходів управління показниками родючості ґрунту за зберігаючого землеробства в Правобережному Лісостепу України. Це забезпечить стабільну, адекватну біокліматичному потенціалу, економічно й енергетично обґрунтовану урожайність вирощуваних культур за умов відтворення родючості ґрунту та екологічної безпеки довкілля і вирощеної продукції

Для досягнення поставленої мети виконано наступні завдання:

- визначено типовість погодних умов: кількість опадів, сума активних температур, гідротермічний коефіцієнт. Встановлено коефіцієнти істотності

відхилень досліджуваних елементів погодних умов від багаторічних норм, які відіграють роль критеріїв їх типовості.

- встановлено закономірності змін показників родючості чорнозему типового за зберігаючого землеробства: загальні: вміст та якісний склад гумусу, гранулометричний склад; агрофізичні: щільність ґрунту, твердість, запаси продуктивної вологи в ґрунті; агрохімічні: вміст поживних речовин у ґрунті та органічних добривах нового покоління (гноєкомпости); фізико-хімічні: реакція ґрунтового розчину; біологічні: врожайність та якість основної продукції досліджуваних культур.

- надано економічну та біоенергетичну оцінку сівозмін за зберігаючого землеробства.

Об'єкт дослідження – зміни агрохімічних, біологічних, агрофізичних та водно-фізичних показників родючості ґрунту, врожайності та якості рослинницької продукції під впливом досліджуваних факторів.

Предмет досліджень – чорноземи типові глибокі, польові культури в сівозмінах, органічні та мінеральні добрива, способи обробітку ґрунту, продуктивність сівозмін.

Методи дослідження. Для виявлення достовірної різниці між варіантами досліду, який ґрунтується на принципах єдиної логічної відміни, доцільності і точності результатів, основним методом дослідження став польовий. Із ним пов'язувалися теоретичні й практичні дослідження і на його базі розроблялися рекомендації щодо впровадження найприязніших систем обробітку ґрунту та удобрення у сільськогосподарське виробництво.

Для визначення агрохімічних, біологічних властивостей ґрунту, якості урожаю застосовувався лабораторний метод, для статистичної оцінки – дисперсійний та кореляційний методи аналізу.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше:

- в Правобережному Лісостепу України на чорноземах типових глибоких у короткоротаційній польовій сівозміні розроблено заходи управління продуктивністю вирощуваних культур;
- доведено можливість розширеного відтворення родючості ґрунту за органо-мінеральної системи удобрення. Обґрунтовано ресурсне наповнення органо-мінеральної й органічної систем удобрення для досягнення біокліматичного потенціалу родючості та продуктивності ріллі;
- встановлено основні нормативні показники агрохімічних, біологічних, водно-фізичних властивостей чорнозему типового в десятипільній польовій сівозміні під впливом органо-мінеральної системи удобрення та полицево-безполцевого основного обробітку ґрунту;
- розроблено методичний підхід з управління показниками родючості ґрунту за зберігаючого землеробства.

удосконалено:

- вплив системи основного обробітку ґрунту й удобрення на динаміку чисельності мікроорганізмів, вміст елементів живлення та гумусу в польових сівозмінах різної ротації;
- агротехнічні заходи з підвищення економічної ефективності польових сівозмін за рахунок зниження енергоємності обробітку ґрунту, ефективного використання водного режиму та елементів живлення.

набули подальшого розвитку:

- наукові положення з управління гумусового, агрофізичного, біологічного, агрохімічного та фізико-хімічного стану ґрунту за зберігаючого землеробства;
- методичні підходи до проведення комплексної економічної, енергетичної та екологічної оцінки основних параметрів польових сівозмін, систем основного обробітку ґрунту й удобрення за зберігаючого землеробства.

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень дали змогу рекомендувати господарствам Лісостепу України раціональну полицево-безполицеву систему обробітку ґрунту в сівозміні, яка передбачає науково обґрунтоване чергування полицевого обробітку з різними видами безполицевого на фоні органо-мінеральної системи удобрення зі спільним використанням компосту та побічної продукції.

Результати досліджень щодо оцінки продуктивності сівозміни і родючості ґрунту землеробства, наукові положення, висновки й пропозиції увійшли до наукових рекомендацій Міністерства аграрної політики та продовольства України. Рекомендації впроваджено у господарствах різних форм власності у Лісостепу України, вони мають перспективи для використання на території країни в цілому. Окремі положення дисертації використовуються для підготовки фахівців в аграрних навчальних закладах III–IV рівнів акредитації.

Наукові розробки автора впроваджено у господарствах колективної та приватної форм власності на землю Київської області: органо-мінеральна система удобрення на площі 56872 га, з річним економічним ефектом 5122 грн/га та система полицево-безполицевого обробітку ґрунту на площі 54263 га з річним економічним ефектом – 3154 грн/га.

Особистий внесок здобувача. Наукові положення, що виносяться на захист, отримано автором у процесі багаторічної науково-дослідної роботи. Основні результати – ідеї, закономірності, експериментальні дані, моделі, висновки та рекомендації виробництву отримано особисто дисертантом. Деякі експериментальні дані одержано спільно із співробітниками кафедри землеробства та гербології Національного університету біоресурсів і природокористування України. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, у роботі використано лише ті ідеї та положення, що є результатом особистої роботи здобувача.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації оприлюднено та обговорено на: науково-методичному семінарі

«Концептуальні підходи до обробітку ґрунту в сучасних системах землеробства» (м. Київ, 18 березня 2011 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційні технології в аграрному секторі України» (м. Київ, 2011 р.); VII міжнародній конференції молодих учених та спеціалістів «Актуальные вопросы биологии, селекции, технологии возделывания и переработки масличных культур» (г. Краснодар, Російська Федерація, 2013 г.); IX Всеукраїнській конференції молодих учених та спеціалістів «Історія освіти, науки і техніки в Україні» (м. Київ, 2014 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Охорона ґрунтів та підвищення їх родючості» (м. Одеса, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Покращення еколого-агрохімічного стану ґрунтів і якості продукції шляхом впровадження сучасних технологій застосування добрив» (м. Харків, 2014 р.); семінарі «Інноваційні шляхи вирішення проблем АПК» (м. Київ, 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми розвитку аграрної освіти і науки та підвищення ефективності агропромислового виробництва» (м. Одеса, 2018 р.).

Публікації. Основні наукові результати дисертації опубліковано у 45 наукових працях, з яких 7 монографій та навчальний посібник, 8 статей у наукових фахових виданнях України, 13 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, стаття у науковому виданні іншої держави, 2 статті у наукових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 6 патентів України на корисну модель, 4 науково-методичних праці та рекомендації виробництву, з тези наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, вступу, 9 розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 479 сторінок. Робота містить 82 таблиці та 14 рисунків. Список використаних джерел налічує 639 найменувань, у тому числі 33 латиницею.

РОЗДІЛ 1

ЗАЛЕЖНІСТЬ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ ВІД ОСОБЛИВОСТЕЙ УДОБРЕННЯ ТА ЙОГО ОБРОБІТКУ

1.1. Історичні аспекти розвитку обробітку ґрунту

Сучасні дискусії з питань обробітку ґрунту знаходяться в площині, головним чином, трьох напрямів: необхідності застосовування глибокого обробітку, доцільності виконання оранки та використання обробітку взагалі.

Однак ефективність таких дискусій, як вказують історичні факти, забезпечується через великі труднощі. Серед причин такої низької ефективності можна виділити запізнений розвиток агрономічної науки, елементарне нехтування історії застосування й розвитку обробітку ґрунту, а також непорозуміння через недосконалість класифікації і стандартизації на міжнародному рівні та в межах країни.

Обробіток ґрунту став одним з основних заходів добування продуктів харчування майже одночасно з появою землеробства. За різними свідченнями істориків відлік цього періоду розпочато у VII–VI тисячолітті до нашої ери в Палестині та в VI–V – у Західній Європі. Кардинальні зміни стану ґрунту через розпушування надали можливість отримати більшу біомасу рослин, що росли без втручання людини [448]. І як будь-яка діяльність людства, обробіток ґрунту розвивався й удосконалювався циклічно, з урахуванням минулого досвіду та періодичного повернення до застарілих відомих заходів.

Відкритим питанням залишається визначення традиційним заходом оранку плугом з обертанням оброблюваного шару. Як вказують історичні дані, період застосування такого заходу значно поступається перед первісним прототипом безполицевим обробітком, яким швидше за все був обробіток із використанням рала. Перша подібність плуга з'явилася у древніх греків, хоча у найбільш наближеному вигляді до сучасних це знаряддя мало місце лише в кінці Римської імперії. При цьому незначне його поширення було пов'язане із розширенням імперії на Півночі Європи для освоєння нових цілинних

земель, але на тривалий час забуте з падінням Риму. Лише через тривалий період Середньовіччя в середині XVII сторіччя плуг з палицею був сконструйований в Бельгії та Нідерландах з подальшим удосконаленням у Великій Британії й Німеччині [448].

Таким чином, використання справжнього полицевого обробітку в історії світового землеробства нараховує період близько трьох століть, що в десятки разів менше від періоду розпушування ралом, не завжди з перевагою за обсягами застосування.

Ще менший період використання плуга вказується на території Древньої Русі. Перші осередки сільського господарства з обробітком ґрунту в басейні Дніпра відзначаються в період VI–IV століття до нашої ери, яке характеризується як плужне землеробство з частковим експортом зерна [280]. Однак, за свідченням вчених-істориків, перші спроби виготовлення й застосування плуга на території України зафіксовані лише у XI сторіччі, поширення ж його до обсягів використання рала відбулося тільки у XVIII–XIX сторіччях на Полтавщині [40, 330].

Плужна оранка забезпечувала новий агротехнічний ефект – сприяла підйому вологи з нижніх шарів у верхні, а також посиленню аерації ґрунту. З початком цього процесу прискорюється й процес мінералізації органічних речовин у ґрунтах, тобто формування гумусу, що було важливим для підвищення родючості ґрунтів. Крім того, плуг міг ефективно знищувати коріння трав, зокрема бур'янів, а також проводити загортання органічного добрива – гною. Плужна оранка була більш глибокою, а борозни – широкими; не залишалися незораними проміжки. Саме всі ці позитивні якості плуга зумовлювали можливість впровадження в орний фонд нових земель – важких чорноземів, укритих травою з переплутаними корінцями й недоступних для обробітку за допомогою рала [204].

Про одночасне використання обробітку і сівби, як ще один з елементів мінімізації, свідчить застосування на території України знаряддя під назвою «буккер». Занесений у вітчизняну практику колоністами з Німеччини, він

являв собою комплексний агрегат із три- або п'ятикорпусного плуга та сівалки для одночасної мілкої оранки (до 12–14 см), сівби і загортання насіння. Використання останнього, незважаючи на гостру критику відомими вченими, продовжувалось аж до колективізації у XX сторіччі [448].

Розвиток агрономічної науки виявився поштовхом не тільки для бурхливого розвитку теорії і практики обробітку ґрунту, а й усвідомлення проблем, що виникли внаслідок сільськогосподарського використання земель. Визначені всесвітньовідомими публікаціями наслідки екологічного погіршення через втрату родючості та розвиток ерозійних процесів, підсилювалися не менш небезпечними – забрудненням навколишнього середовища синтетичними засобами та енергетичною проблемою в землеробстві. Всі ці наслідки представниками агрономічної науки та практики частіше ототожнювалися з розширенням полицевого обробітку починаючи з другої половини XIX сторіччя [612]. І вже з кінця XIX сторіччя з'явилися перші офіційні пропозиції мінімального обробітку ґрунту, пов'язані з діяльністю І.Е. Овсинського в Україні, Жана у Франції та Ахенбаха в Німеччині [362, 433].

Разом із тим, спроба змінити найбільш поширені заходи відкрили щонайменше дві проблеми в дискусії з питань обробітку ґрунту, які актуальні і на сьогодні.

По-перше, авангардом впровадження і теоретичного обґрунтування мінімізації обробітку ґрунту, в тому числі сучасних технологій без обробітку, виступає не наука, а виробництво. У подібній ситуації переважно відстежується відсутність наукового експерименту, некоректність порівняння власного досвіду з іншою практикою, або власною в минулі роки. Підтвердженням цього слугує всесвітньовідомий досвід застосування системи обробітку ґрунту без плуга Т.С. Мальцева [287] та Е. Фолкнера [507], як продовження наведених вище прикладів. За перевірки ж досвіду новаторів мінімізації в наукових установах у більшості випадків позитивного результату не одержували.

По-друге, однією з головних причин непорозуміння між прихильниками й опонентами мінімального обробітку слід вказати є недосконалість та неузгодженість у термінах і визначеннях з питань обробітку ґрунту та землеробства.

1.2. Зміни родючості ґрунту під впливом обробітку ґрунту

До основних завдань землеробства належить охорона та раціональне використання земельних ресурсів.

Застосування людиною будь-яких знарядь вважається переважно руйнівним заходом стосовно створеної природою родючості. Адже обробіток ґрунту в більшості випадків, підсилює мінералізацію органічної речовини та послаблює стійкість ґрунтів проти ерозії, особливо якщо він спрямований на розпушування оброблюваного шару.

Про негативні наслідки перевищення процесу мінералізації органічної речовини над гуміфікацією, як однієї з головних причин зниження родючості ґрунтів, свідчать дослідження відомих науковців протягом останніх років [200, 499]. Як наслідок, за останні понад сто років типові чорноземи України втратили 88 т/га, південні – 30–75 т/га гумусу, або 30–43 і 25–36 % відповідно їх вихідного вмісту [141]. Подібні темпи втрати родючості відзначали і в закордонній практиці сільського господарства, зокрема в Канаді, США та Аргентині вміст гумусу зменшився на 40 %, у Бразилії – від 6 до 2 % [207].

За деякими даними, підвищення темпів втрати родючості через дегуміфікацію виникають внаслідок застосування інтенсивного обробітку ґрунту. На даний час щорічне зниження вмісту гумусу в чорноземах південно-східної Чорноземної зони становить 0,01–0,03 %, або 0,2–0,6 т/га [551]. У зв'язку з цим виникла теорія необхідності заміни обробітку з обертанням скиби, що підтримується і на сьогодні [23, 576]. Професором Н. І. Картамишевим навіть запропоновано закон землеробства, який вказує у

постійне протиборство з природою порушуючи формування родючості ґрунту зверху донизу [198].

Багаторічні дослідження М. К. Шикули та ін. [582], проведені на чорноземних ґрунтах, свідчать, що в умовах інтенсивного землеробства відтворенню гумусового фонду орних чорноземів значною мірою сприяє впровадження систематичного мінімального обробітку ґрунтів. Автори пов'язують збільшення вмісту гумусу в поверхневому шарі чорнозему за систематичного обробітку без його обертання із зниженням темпів мінералізації органічної речовини, що пояснюється заробкою у верхній шар ґрунту рослинних залишків із широким співвідношенням C:N, а також зростанням ферментативної активності ґрунту, яка активізує процеси гуміфікації.

Процес мінералізації не можна вважати лише негативним явищем, а в більшості своїй швидше усвідомленою аграріями необхідністю для створення оптимальних умов живлення рослин. Глибока оранка, з одного боку, викликає підвищену втрату родючості, тоді як з іншого – сприяє істотному підвищенню врожайності культур залежно від типів ґрунту на 2,3–17,1 % [628]. А визначення про недоцільність глибокого обробітку, зокрема оранки, ще не вказує на головну причину втрати родючості, бо тільки заміна оранки не вирішує цієї проблеми. Відомі ж факти про відновлення родючості, наприклад, у в ПП «Агроекологія» на Полтавщині [364], що стало результатом не тільки скасування глибокого обробітку, скільки впровадження цілого комплексу заходів оригінальної системи землеробства і, особливо, підвищеної кількості внесених органічних добрив, сидерації, сівозміни. Керуючись раніше викладеним матеріалом, у згаданому господарстві, подібно до випадку з досвідом І. Е. Овсинського і Т. С. Мальцева, технологія обробітку ґрунту за кількістю прийомів характеризується досить високою інтенсивністю.

Ряд досліджень, які проводилися на чорноземних ґрунтах, показали, що вміст гумусу та його втрати залежать від багатьох факторів: ґрунтово-

кліматичних умов, інтенсивності обробітку ґрунту. Вони складаються з мінералізації органічної речовини за вирощування сільськогосподарських культур та із втрат через вимивання й ерозійні процеси [33, 136, 274, 394].

Антропогенне навантаження на ґрунт змінює не тільки кількісний, а й якісний склад гумусу, що залежить від системи обробітку і удобрення ґрунту, змінюється не тільки вміст гумінових, а й фульвокислот, їх співвідношення між собою [22, 92, 209, 342, 365, 394, 488, 489].

Вплив гумусу на хімічні характеристики ґрунту насамперед пов'язаний з тим, що в органічній формі акумулюється 98 % запасів азоту, 60 – фосфору, 80 % – сірки й велика кількість інших елементів, які знаходяться в органо-мінеральних комплексах і таким чином надійно захищені від вимивання [380].

Більшість дослідників дійшли висновку, що мінімалізація обробітку ґрунту за рахунок зменшення кількості, глибини, а також інтенсивності перемішування орного шару сприяє збереженню гумусу внаслідок скорочення його невиробничих втрат [215, 388, 428, 438, 602].

Разом із тим наявні дані, за якими безполицевий обробіток призводить до накопичення органічних речовин тільки у верхньому шарі ґрунту і знижує його вміст у нижніх шарах. Так, дослідженнями Л.І. Акентьєвої встановлено достовірне збільшення вмісту гумусу в шарі ґрунту 0–10 см після семирічного застосування плоскорізного обробітку, тоді як на глибині 10–30 см приріст мала оранка [8]. Такий перерозподіл вмісту гумусу в шарі, що обробляється, відзначено й іншими авторами [111, 282, 581].

Ряд авторів вказують на негативний вплив безполицевого обробітку на накопичення органічних речовин [71, 338]. Зниження вмісту гумусу у ґрунті за безполицевих обробітків пояснюється зменшенням доступу органічних матеріалів у нижні шари у зв'язку з локалізацією кореневої системи рослин у верхній частині ґрунтового профілю.

У формуванні практично всіх цінних властивостей ґрунтів бере участь як рослинна біомаса, так і ґрунтова мікрофлора [478]. Рослинні залишки і

прижиттєві кореневі виділення слугують основним джерелом поживних речовин та енергетичного матеріалу для всього живого в ґрунті, завдяки чому забезпечується безперервний колообіг поживних речовин у природі. У цілому в агроценозах з рослинами в ґрунт надходить у 1,5–3,0 рази більше сухої біомаси, ніж з органічними добривами [254]. За даними М.З. Станкова, маса коренів у просапних культур становить 10–20 ц/га, зернових – 20–40, конюшини – 30–50 ц/га [464].

Щільність ґрунту значною мірою впливає на водний, повітряний і температурний режими, тим самим забезпечує умови, необхідні для росту і розвитку культур [310, 311, 385].

Дослідженнями В. П. Гордієнка [111], А. М. Марущака [300] показано, що глибокий полицевий обробіток підвищує врожайність культур не лише в перший рік, а й на другий та наступні, поліпшується агрегатний склад і водотривкість структурних агрегатів.

Застосування поверхневого обробітку у більшості випадків викликає підвищення щільності та впливає на розвиток кореневої системи сільськогосподарських культур, перешкоджаючи її проникненню в глибші горизонти ґрунту [202].

Закономірності зміни щільності ґрунту пов'язані з способом основного обробітку та кількістю побічної продукції попередника, яку заробляють у ґрунт. Динаміка щільності за певний період формулюється як «дрейор», у більшості випадків ці зміни несприятливі. Запобігати та протидіяти ущільненню ґрунту можливо за рахунок зароблення побічної продукції культур сівозміни [311].

Ряд авторів; серед яких С. П. Танчик, О. І. Циліурик, С. Н. Шевченко стверджують, що за безполцевого обробітку щільність ґрунту збільшується порівняно з оранкою [468, 540, 542]. Згідно з даними [403], на фоні безполцевого обробітку щільність чорнозему типового ґрунту в шарах 0–10, 10–20 і 20–30 см збільшувалася відповідно на 0,04; 0,10 і 0,13 г/см³, аналогічні результати отримали у дослідях інші вчені [125].

За безполицевих способів обробітку основна маса побічної продукції попередника розміщується у верхньому шарі 0–10 см, тоді як за полицевих вона локалізується у шарі 20–30 см. За оранки створюється більш гомогенне за щільністю середовище шару, що обробляється, порівняно із безполицевими обробітками. Це зумовлює формування дещо пухкішого верхнього шару 0–10 см та ущільненого нижнього шару 10–30 см [286].

Як показали дослідження ННЦ «Інститут землеробства НААН», застосування побічної продукції на добриво за безполицевих обробіток сприяє зменшенню щільності у шарі 0–10 см. Водночас спостерігається підвищення рівня щільності у нижньому шарі 10–30 см [604].

Ущільнення ґрунту гальмує процеси амоніфікації та нітрифікації, надходження азоту до рослин, зумовлює зниження польової схожості насіння, утруднює ріст кореневої системи, погіршує використання вологи і поживних речовин у ґрунті [110, 194].

Аналіз літературних джерел та проведені дослідження свідчать про тісну залежність між агрофізичними показниками ґрунту (щільності складення будови ґрунту, твердості) та врожайністю сільськогосподарських культур. Підвищення щільності за межі оптимальних показників призводить до зниження урожайності культур [4, 281].

Основні фізичні властивості ґрунту, в тому числі водно-повітряний режим, залежать, за даними Н. П. Ремезова і В. Т. Макарова [420] та А. М. Алієва [13], від структурного чи агрегатного стану. Особливо важливого значення структурі ґрунту надавали П. А. Костичев і В. Р. Вільямс, які вважали її найважливішим показником родючості ґрунту. На їхнє переконання, а також ряди інших вітчизняних науковців (І. Б. Ревут, О. А. Роде, Е. Рассел та ін.) лише структурний ґрунт може забезпечити рослину сприятливішими умовами росту й розвитку [418, 419, 422]. В. Р. Вільямс у структурі ґрунту вбачав панацею для культури від усіляких негараздів, що можуть статися за період вирощування рослин [27].

Як один з антропогенних факторів І. Б. Ревут вказує внесення органічних добрив, вирощування у сівозміні багаторічних трав та обробіток ґрунту. Вчений зазначає, що в процесі обробітку одночасно може не лише руйнуватися структура ґрунту, а й утворюватися багато різних структурних окремоностей [418].

По-різному підходив до оцінки впливу обробітку ґрунту на структурність шару, що обробляється, Е. Рассел [416]. За його твердженням, що розпушення ґрунту в суху погоду розпилює ґрунт і приводить до окислення ґрунтової органічної речовини, деякі фракції якої діють як цемент, скріплюючи окремі його часточки в структурні окремості. Разом із тим, на його думку, яку підтримали інші науковці, принцип, який знаходиться в основі створення стійкої структури, полягає в тому, що оптимальна структурна форма утворюється за умов, коли ґрунт обробляється при найменшому допустимому вмісті вологи. У цей час ґрунтові часточки під впливом робочих органів знарядь обробітку ковзають одна об одну, максимально ущільнюючись при цьому [416].

Згідно з іншими дослідженнями [105], на структуру верхнього шару ґрунту негативно впливають багаторазові міжрядні обробітки, тоді як В. А. Чернишов і Е. Г. Вальдгауз вважають, що зменшення кількості обробітків суттєво не впливає на агрофізичні властивості ґрунту, в тому числі і на його структурність [555].

Підсумком аналізу літератури щодо впливу обробітку ґрунту на структуру оброблюваного шару міг би бути висновок О. А. Роде, за яким потрібно розробити таку агротехніку вирощування будь-яких сільськогосподарських культур, яка б містила найменшу кількість обробітків, здатних руйнувати структуру ґрунту [422].

Твердість ґрунту являє собою інформаційно ємний показник, який відображає фізичний стан ґрунту, умови, в яких рослина розвивається, росте та формує урожайність, реалізуючи свій генетичний потенціал [307].

Оптимальні значення твердості для зернових культур знаходяться в межах 5–8 кг/см² для початкової стадії розвитку рослин і до 20–25 кг/см² у період цвітіння та досягання. Твердість ґрунту залежить від вологості, а відповідно, між цими показниками і продуктивністю сільськогосподарських культур існує тісний лінійний зв'язок. Найменш чутливим періодом розвитку рослини щодо рівня твердості визначено початкові стадії розвитку [109, 307, 453].

У тривалих дослідженнях В. В. Медведєва встановлено, що високі показники твердості спричиняють низьку водопроникність ґрунту, обмежений ріст і розвиток коренів сільськогосподарських культур, зріджені й недружні сходи, низький рівень урожайності [307]. Твердість ґрунту у зоні плужної підшви, на рівні 35–40 кг/см², обмежує ріст коренів [115].

Одним із перших на залежність твердості ґрунту від запасів вологи у ґрунті та способу його обробітку звернув увагу Н. А. Качинський [202]. Як було ним встановлено, зі зменшенням вмісту вологи у ґрунті твердість значно зростає і чинить негативну дію на кореневу систему культурних рослин.

До висновку, що фізичний стан ґрунту пов'язаний з особливостями агрофону, глибиною обробленого шару, виду культури та способу сівби дійшов П. У. Бахтін [29]. Науковець наголошував на особливостях впливу мікрорельєфу, зокрема мікропониження на твердість ґрунту. Так, у блюдцях спостерігалось пригнічення рослини, а показники твердості в 2 рази перевищували допустимі значення.

Ґрунтова волога – одна з найважливіших складових ґрунту. Як зазначав О. А. Роде, управління водним режимом ґрунту завжди залишається одним з основних, а часто і найважливішим для сільськогосподарських угідь. Знання законів поведінки вологи у ґрунті необхідні для вирішення різних проблем у системах землеробства [422].

Ряд дослідників, серед яких А. В. Бакума [21], П. В. Костогриз [220] вважають, що у нагромадженні запасів ґрунтової вологи значну роль відіграє

основний обробіток ґрунту, тоді як на збереження цих запасів значною мірою впливає весняно-літній обробіток ґрунту.

Іншої думки дотримується В. П. Гордієнко, за якою ранньовесняний обробіток ґрунту взагалі не впливає на ступінь збереження весняних запасів ґрунтової вологи. Це пояснюється тим, що з вирівняної поверхні одночасно втрачається ґрунтова волога через капіляри і через великі пори. Якщо обмежити у поверхневому шарі ґрунту капілярний рух, то при цьому збільшиться дифузний, і навпаки. Тому на ґрунтах із сприятливими агрофізичними показниками його розпушувати або ущільнювати рано весною з метою збереження нагромадженої вологи немає потреби. Такі технологічні операції в цих умовах завдадуть лише шкоди у вигляді деградації ґрунту і зайвих витрат на їх виконання [111]. Разом із тим, на переконання І. Б. Ревута, чим значніше ґрунт розпушувати, тим більше шар ґрунту, який обробляється, втрачатиме вологу [418].

За безполицевих способів обробітку на поверхні ґрунту утворюється мульча з рослинних залишків. У посушливих умовах вона зменшує фізичне випаровування і поліпшує водний режим посівного шару ґрунту. Після плоскорізного обробітку вміст вологи в шарі 0–20 см виявився на 15–20 % вищим, ніж після оранки. При цьому в ґрунті утримується більше вологи, і вона повніше використовується, що забезпечує отримання дружних сходів [515].

Надходження і витрати вологи формують водний баланс, який розраховується за річними циклами. Він характеризується як комплекс процесів надходження, перерозподілу, акумуляції й фізичного випаровування та транспірації вологи і залежний від фізичного стану ґрунту [80, 622].

Регулювання водного режиму ґрунту відбувається за рахунок проведення якісного і своєчасного механічного обробітку останнього, який впливає, з одного боку, на водопроникність ґрунту, з іншого – викликає перерозподіл кількості і маси рослинних залишків в орному шарі або на його

поверхні, створюючи тим самим екран, який сповільнює ґрунтове випаровування [154, 538].

Із ґрунту в середньому може непродуктивно втрачатися 30 % вологи від обсягу річних опадів [58]. Особливо значні втрати на випаровування спостерігаються навесні безпосередньо після танення снігу. Це пояснюється перенасиченому ґрунту у весняний період вологою, яка активно рухається капілярами до поверхні та вивільняється [111, 539]. Зниження швидкості вітру і тіньовий бар'єр, які створюють рослини, дає можливість знижувати непродуктивне використання вологи [38].

Наявність рослинних залишків на поверхні ґрунту та у шарі 0–10 см може сприяти додатковому накопиченню та збереженню вологи не тільки у осінньо-зимовий період, а й впродовж вегетації рослин у весняно-літній період за рахунок зменшення випаровування. Збереження вологи забезпечується за наявності рослинних залишків попередника на поверхні ґрунту на рівні ≥ 30 % від площі поля [109, 122].

За умов високого зволоження процеси випаровування вологи визначаються капілярним переміщенням, яке можливо регулювати завдяки розпушуванню верхнього шару ґрунту [38].

У зонах Степу та Лісостепу на чорноземі опідзоленому перевагу має безпліцевий обробіток, адже підвищує протиерозійну стійкість ґрунту. На формування весняних запасів вологи основний обробіток і глибина суттєво не впливають, але спостерігається різниця щодо їх використання протягом вегетаційного періоду. Забезпеченість вологою у весняно-літній період за плоскорізного обробітку на глибину 4–6 см більша порівняно з оранкою, що зумовлено наявністю верхнього мульчуючого шару рослинних залишків попередника [154].

Дослідження протягом 15 років станції Центру Аграрних наук Дебреценського Університету в Латокепі свідчать, що вплив основного обробітку на запаси вологи у ґрунті залежать від погодних умов року і способу основного обробітку. Проведення осіннього основного обробітку з

обертанням скиби збільшує накопичення вологи та сприяє сталим врожаїм сільськогосподарських культур порівняно з поверхневим обробітком [603].

Шляхом моделювання було встановлено залежність водного режиму ґрунту від його структури, щільності та ступеня вихідної зволоженості [109].

Оптимальна модель 0–10 см шару ґрунту, яка дає можливість найповніше зберегти вологу в літній період, передбачає щільність ґрунту 1,22–1,24 г/см³, вміст макроструктурних агрегатів 78–79 %, твердість 1,3–1,6 МПа і масу рослинних залишків на поверхні ґрунту 1,7–1,8 т/га. Така модель забезпечує накопичення і збереження продуктивності вологи у шарі ґрунту 0–10 см на час сівби озимих у межах 8,9–9,2 мм [118].

При вивченні тривалого застосування систем основного обробітку на поживний режим ґрунтів встановлено, що особливо помітний вплив вони здійснюють на вміст рухомих елементів живлення, тоді як валові запаси практично не змінюються [212, 401].

Серед усіх елементів живлення, що необхідні для росту і розвитку рослин, основна роль належить азоту, фосфору, калію [212].

Як встановлено В.П. Дмитренко, безполицеве розпушування призводить до погіршення азотного режиму ґрунту, особливо у верхньому його шарі. Насамперед знижується вміст нітратів, що пояснюється біологічним поглинанням азоту мікроорганізмами, які беруть участь у перетворенні рослинних залишків, зароблених у поверхневий шар [142]. Інші дослідники, навпаки, відзначають сприятливу дію плоскорізного обробітку на накопичення нітратного азоту [87]. Аміачна форма азоту й азот, що легко гідролізується, порівняно з нітратною характеризується більшою стабільністю. Їх вміст у ґрунті, як правило, мало підлягає змінам під впливом обробітку [410].

За безполицевого розпушування здійснюється перерозподіл рухомих фосфатів у межах оброблюваного шару з локалізацією у верхній 0–10 см його частині і зменшенням на глибині 10–30 см порівняно з оранкою [415].

Аналогічні результати в різних ґрунтово-кліматичних зонах одержані й іншими авторами [227].

Фосфатні іони легко фіксуються твердою фазою ґрунту, їхня міграція по профілю ґрунту незначна. Внаслідок низької дисоціації на іони і розчинності фосфорних сполук, їх рухомість залежить від показника рН ґрунтового середовища.

Чітко встановленої думки про вплив плоскорізного обробітку на калійний режим серед дослідників до цього часу немає. За безполіцевого обробітку найбільша кількість рухомого калію знаходилась у 0–10 см шарі ґрунту, за оранки – в шарі 10–20 см. Така тенденція відзначається як на неудобреному, так і удобреному фонах [493]. За даними інших авторів, калійний стан ґрунту виявився сприятливішим за безполіцевого обробітку, ніж за оранки [104].

Біологічна активність ґрунту виступає одним із показників його родючості.

Механічний обробіток ґрунту, завдяки безпосереднього впливу на його фізичні властивості та водний режим, впливає й на характер і напрям ґрунтових біологічних процесів, регулює процеси синтезу та розкладу органічної речовини, темпи її мінералізації і перетворення у форми доступної для живлення рослин.

Енергетичну основу життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів становить органічна речовина. Тому одним з основних методів визначення біологічної активності виступає дослідження виділення ґрунтом вуглекислоти, що являє собою результат кінцевої стадії руйнування мікроорганізмами органічної речовини [84].

При обробітку ґрунту без обертання скиби у верхній частині орного шару накопичується значна кількість свіжої органіки, яка сприяє зменшенню витрат вологи у процесі фізичного випаровування, в результаті складаються сприятливі умови для біологічної діяльності мікроорганізмів. Мікрофлора формує практично всі агрономічно цінні властивості ґрунту. До найбільш

важливих біологічних процесів слід віднести мікробну трансформацію свіжої органічної речовини, що зумовлює рівень запасів гумусу у ґрунті [266, 335].

Інтенсивність виділення вуглекислоти характеризує загальну активність біомаси ґрунту і темпи розкладу органічної речовини. Утворення й виділення CO_2 сприяє підвищенню фотосинтетичної активності культурних рослин. Як вважає І. Б. Ревут, інтенсивність виділення CO_2 корелює з швидкістю розкладу целюлози, активність процесу нітрифікації та перетворення в легкорухомі форми поживних речовин, що відповідним чином впливає на ефективну родючість ґрунту. Тому ступінь розкладу целюлози можна використовувати як показник стану ефективної родючості ґрунту [69]. Крім того, автором встановлено, що при збільшенні щільності ґрунту швидкість виділення CO_2 зменшується. Найсприятливіші умови для діяльності мікрофлори відповідають вологості ґрунту в межах 60–80 % від найменшої вологоємності і температурі 20–30 °C [418].

Літературні дані констатують, що тривале застосування безполицевих способів обробітку призводить до посилення диференціації орного шару за родючістю, що підтверджено й проведеними дослідженнями [41].

Розклад клітковини, що містить біля 50 % всіх органічних сполук ґрунту за допомогою ферментів – центральна частина в колообігу вуглецю в природі. З її мінералізацією пов'язані процеси гумусо- і структуроутворення, життєдіяльності мікроорганізмів і живлення рослин [509].

Дослідниками встановлено, що вищі показники біологічної активності спостерігалися за різноглибинної оранки [223]. За поверхневого обробітку в результаті меншої аерації активність целюлозоруйнівних мікроорганізмів у шарі 20–30 см була значно нижчою, ніж у шарі ґрунту 0–20 см [36]. Подібні результати одержали й інші вчені, на фоні поверхневого обробітку чисельність мікроорганізмів у шарі ґрунту 0–20 см збільшувалася, тоді як шарі 20–40 см – зменшувалася [39].

Зміна біологічних процесів у ґрунті під дією різних обробітків відбивається на азотному режимові, який тісно з ними пов'язаний. За

результатами досліджень [516], вміст нітратного азоту в шарі ґрунту 0–40 см був вищим за поверхневого обробітку на 15 мг/кг ґрунту порівняно з оранкою. Однак, згідно з дослідженнями [247], перевага за цим показником була на фоні безполицевого обробітку порівняно з полицевим та мілким обробітком ґрунту в сівозміні. Різниця між вмістом нітратів простежувалася у верхньому шарі ґрунту 0–10 см на початок вегетації культури. Так, на фоні плоскорізного обробітку порівняно з оранкою їх вміст був вищим на 57 %, що пояснюється надходженням більшої маси побічної продукції за плоскорізного обробітку у верхню частину шару [111].

Негативний вплив полицевого обробітку на біологічну активність ґрунту викликає шоківий стан ґрунту, який створюється за умов обертання скиби. Аеробна біота шару ґрунту 0–15 см заорюється в анаеробні умови на глибину 10–30 см, в разі чого частково гине без кисню і знижує свою активність. Анаеробна біота, вивернута на поверхню з глибини 18–30 см, також гине, але вже від насиченості кисню [137].

Важливою характеристикою речовини, що легко розкладається, є вміст у ній азоту, а також співвідношення C:N, що впливає на швидкість її розкладання. Численними дослідженнями встановлено, що мінералізація бобових вища порівняно із злаковими. Це пояснюється вмістом азоту у вихідному матеріалі (відношенням між C:N) та наявністю важкомінералізованих сполук – лігнін, смола та ін. [69].

Як запевняють М. В. Коломієць та ін. [213, 214], під пшеницю озиму ґрунт необхідно орати з одночасним прикочуванням. На їхню думку, після оранки на полі повніше акумулюються опади, культура менше забур'янюється. Усе це в кінцевому результаті сприяє формуванню більших і якісніших урожаїв, ніж за поверхневого обробітку. Разом із тим, інші вчені віддають перевагу поверхневому обробітку ґрунту, відзначаючи його особливу високу ефективність за умов недостатньої вологозабезпеченості посівів [329, 501].

За даними Ю. В. Будьонного, Л. С. Каютіної, В. І. Ємельянова [60], використання широкозахватних дискових і плоскорізних знарядь для поверхневого обробітку ґрунту під посів пшениці озимої значно знижує затрати праці й витрати на підготовку ґрунту та скорочує строки їх проведення, що позитивно впливає на одержання своєчасних і дружних сходів культури.

У науковій літературі наявно багато даних про позитивну реакцію пшениці озимої на безполицеві способи обробітку ґрунту. Основна перевага безполицевого обробітку – у скороченні терміну підготовки ґрунту і можливості отримання дружних сходів. Ефект його посилюється найменшими енерговитратами [182, 574].

За даними Л.І. Ворони, у зоні Полісся України застосування плоскорізних і дискових знарядь під пшеницю озиму поліпшує фізичні властивості орного шару, знижує витрати і скорочує строки підготовки ґрунту та підвищує урожай [81].

Ефективність поверхневого обробітку зростає в посушливі роки, а також тоді, коли під пшеницю озиму не вносять достатньої кількості добрив. Особливо ефективний він під озимі культури, коли до оптимальних строків сівби залишається мало часу. Так, у дослідях Миронівського НДІ селекції та насінництва пшениці при підготовці ґрунту під пшеницю озиму після кукурудзи на силос за 20 днів до сівби урожайність зерна на оранці становила 46,3 ц/га, за поверхневого обробітку – 48,5 ц/га.

На думку інших учених, до вибору способу основної підготовки ґрунту необхідно підходити диференційовано, враховуючи ступінь його зволоження. При достатньому зволоженні ґрунт необхідно орати, за дефіциту води застосовувати поверхневий обробіток [148].

У Лісостепу України дослідженнями Сумської, Вінницької, Драбівської дослідних станцій встановлено, що кукурудза, яка розвиває потужну кореневу систему, позитивно реагує на підвищення глибини оранки. За її

поглиблення від 20–22 до 30–35 см відбувається підвищення урожайності кукурудзи на зерно та силос [197].

Про ефективність різних способів основного обробітку ґрунту під ярі зернові культури дані в літературі суперечні. Деякі дослідники вважають, що у Лісостепу під ячмінь і овес потрібно виконувати оранку на глибину 20–22 см, інші допускають застосування плоскорізного обробітку. За зменшення глибини обробітку в цій зоні спостерігається стала тенденція зниження урожайності ярих колосових культур [435].

За результатами досліджень І. П. Макарова [277], при різних прийомах обробітку ґрунту не відзначалося суттєвої різниці в урожаєх ячменю, але найбільший економічний ефект отримали за мінімальних обробітків – дискування і плоскорізний обробіток на глибину 10–12 см.

Аналіз наукових даних свідчить, що в сучасних умовах, де останніми десятиліттями спостерігається загальне потепління і динаміка зміни клімату, необхідно вдосконалити традиційну систему основного обробітку з метою поліпшення складових родючості ґрунту. Незважаючи тривале й активне вивчення основного обробітку ґрунту, у дослідників остаточно думка щодо ефективності цього агрозаходу до сьогодні не сформувалася.

1.3. Вплив добрив на формування родючості чорноземних ґрунтів

Фізичні процеси, що відбуваються у ґрунті, надзвичайно важливі для ґрунтової родючості. Встановлено, що мінеральні добрива стимулюють розвиток культур, сприяючи підвищенню вмісту органічної речовини в ґрунті й тим самим побічно впливаючи на його фізичні властивості. Органічні добрива виявляють дію на фізичні властивості ґрунту, поліпшуючи їх [43].

Аналізуючи еволюційні зміни ґрунтів під впливом тривалого застосування добрив, очевидно, центральне місце слід надати показникам гумусового стану ґрунтів, оскільки у формуванні родючості провідна роль належить органічним речовинам ґрунту, які значною мірою визначають весь

комплекс агрофізичних, фізико-хімічних та біологічних властивостей, особливості формування ґрунтових режимів [273, 595].

Розорювання та тривале сільськогосподарське використання в більшості випадків активізує процес трансформації органічних речовин ґрунту. Активне перемішування та розпушування орного шару, зміна характеру рослинного покриву, вилучення значної частини біомаси порушує природну рівновагу між нагромадженням та мінералізацією ґрунтової органіки. Сільськогосподарське освоєння ґрунтів із високим природним вмістом та запасами гумусу досить часто супроводжується посиленням процесів мінералізації гумусу під час їх тривалого використання [134]. Найяскравішим прикладом прояву таких процесів стала проблема дегуміфікації чорноземів, на чому вже досить давно акцентують увагу вчені [55, 312, 344, 575, 625].

Серед факторів антропогенного впливу, пов'язаного з гумусовими станом ґрунтів, органічні та мінеральні добрива належать до найвагоміших. Добрива виявляють різнобічний вплив на процеси трансформації органічної речовини ґрунтів, змінюючи весь комплекс показників, що характеризують гумусовий стан ґрунтів [64, 596].

За даними М. М. Городнього, А. Г. Сердюка та В. П. Каленського [113], післяжнивнио-кореневі рештки забезпечують компенсацію втрат гумусу лише на 24–40 %. Решту втрат можна компенсувати за рахунок органічних добрив. Органічні добрива, і зокрема гній, забезпечують ефективне відновлення запасів гумусу. Хоча відомо, що процеси гуміфікації при застосуванні органічних добрив залежать від багатьох факторів: гранулометричного складу та вмісту гумусу у ґрунті, способу та глибини внесення органіки, мінеральних добрив. Як правило, нагромадження гумусу швидкими темпами відбувається іде в низькогумусних ґрунтах [31, 356]. Так, за даними Л. С. Любарської [270], регулярне застосування гною підвищує вміст гумусу в слабогумусових ґрунтах на 78 %, середньогумусових – на 25 і високогумусових – лише на 5 %.

Вплив мінеральних добрив на гумусовий стан ґрунтів не такий однозначний. Ряд науковців відзначає, що регулярне застосування мінеральних добрив стабілізує вміст гумусу [514]. Інші підкреслюють негативну дію мінеральних добрив на гумусовий стан ґрунтів [512]. Наявні свідчення і позитивного впливу мінеральних добрив на вміст гумусу [268].

Більшість учених схиляється до думки, що підвищення вмісту гумусу можна забезпечити переважно при застосуванні органо-мінеральних систем удобрення [135, 374]. Органічні добрива пом'якшують негативну дію мінеральних добрив, забезпечують позитивний баланс органічних речовин, поліпшують умови гуміфікації органічних залишків.

У більшості досліджень, де порівнюються мінеральна та органо-мінеральна системи удобрення, збільшення вмісту та запасів гумусу відзначається лише в органо-мінеральній системі удобрення [65].

Тривале сільськогосподарське використання ґрунтів без внесення добрив призводить до зниження вмісту гумусу на 20–40 % до вихідного рівня, або в кращому випадку дозволяє підтримувати вихідний вміст гумусу в ґрунті [288].

Тому для запобігання процесам дегуміфікації орних ґрунтів важливим заходом є застосування добрив. За ефективністю до відновлення запасів гумусу системи удобрення можна ранжувати за рівнем ефективності: мінеральна – органічна – органо-мінеральна [288]. Так, за даними В. М. Польового [397], застосування органічної системи удобрення із внесенням на 1 га площі сівозміни 14 т гною і соломи забезпечило за шість років зростання вмісту гумусу в орному шарі темно-сірого опідзоленого ґрунту від 1,91 до 1,95 %, тоді як за мінеральної системи удобрення його вміст навіть зменшився.

Не менш важливим наслідком тривалого сільськогосподарського використання і внесення добрив, як зміна вмісту й запасів гумусу, виступає зміна його групового та якісного складу. Дослідження, проведені в різних ґрунтово-кліматичних умовах, засвідчують, що як сільськогосподарське

освоєння, так і регулярне застосування органічних та мінеральних добрив, меліорантів супроводжується зміною якісного складу гумусу.

Сільськогосподарське використання призводить насамперед до трансформації найбільш лабільної частини ґрунтової органіки та рослинних залишків [121]. При цьому підвищення темпів мінералізації гумусу супроводжується збільшенням частки лабільних форм гумусу. Регулярне застосування мінеральних і органічних добрив також сприяє підвищенню вмісту рухомих форм гумусу. За М. Н. Кулагіною [241], підвищення рухомих форм гумусу спостерігається при всіх досліджуваних системах удобрення, просте більший ефект відзначено при орґано-мінеральній системі.

Регулярне застосування добрив супроводжується і зміною групового складу гумусу. За орґано-мінеральної системи їх застосування переважно відбувається збільшення частки гумінових кислот, зростає ступінь гуміфікації органічних речовин, розширюється співвідношення $C_{ГК}:C_{ФК}$ [342]. На думку деяких вчених, мінеральна система удобрення підвищує рухомість гумусу, збільшує частку останнього, зв'язаного з півтораоксидами, знижуючи зв'язану з кальцієм [440].

Як показують дослідження М.О. Клименко та ін. [203], біологічна активність ґрунтів значною мірою залежить від внесення добрив і, в першу чергу, органічних. Застосування мінеральних добрив не призводить до росту більшості показників біологічної активності ґрунтів, а також негативно відображається на розвитку мікроорганізмів. Лише орґано-мінеральна система удобрення забезпечує стійке підвищення біогенності ґрунтів та позитивні зміни видового складу мікроорганізмів: зростає чисельність азотфіксуючих бактерій.

Фізичні процеси, що відбуваються у ґрунті, надзвичайно важливі для ґрунтової родючості. Встановлено, що мінеральні добрива стимулюють розвиток культур, сприяючи підвищенню вмісту органічної речовини в ґрунті й тим самим побічно впливаючи на його фізичні властивості.

Органічні добрива виявляють пряму дію на фізичні властивості ґрунту, поліпшуючи їх [43].

Вченими зарубіжних країн встановлено, що об'ємна маса орного, підорного шарів і підґрунтя за біологічного землеробства й використанні засобів хімізації однакова і становить $1,21\text{--}1,22\text{ г/см}^3$, загальна пористість ґрунту – $54,2\text{--}54,6\%$, вологість – $18,2\text{--}18,6\%$ [609].

Проведені дослідження Б. С. Носко та ін. [355] засвідчили, що щільність ґрунту слугує визначальним фактором ефективності добрив. Найвищі високі прирости врожаю ячменю від застосування добрив у дозі $N_{70-80}P_{70-80}K_{50-60}$ досягнуті в інтервалі щільності чорнозему звичайного в орному шарі від $1,12$ до $1,28\text{ г/см}^3$.

За даними В. В. Медведєва [308], внесення гною загальною нормою 80 т/га тричі за ротацію сівозміни по $20\text{--}30\text{ т/га}$ кожні $4\text{--}5$ років зумовлює умови стабілізації органічної речовини в чорноземі типовому і одночасно зменшує зрівноважену щільність на $0,06\text{ г/см}^3$, збільшує вміст структурних агрегатів агрономічно цінних розмірів від 72 до 81% .

Класичними стосовно цього можна вважати дослідження Ю. К. Кудзіна [235], за якими систематичне застосування гною, а також сумісного внесення гною з мінеральними добривами поліпшує об'ємну масу ґрунту, загальну шпаруватість, водопроникність. Найбільш позитивно впливає систематичне внесення гною та спільне застосування його з мінеральними формами NPK , меншою мірою – тільки мінеральних добрив.

За традиційного техногенно-хімічного й альтернативного землеробства учені виявили в структурному стані ґрунтів деякі розбіжності, коли стабільність ґрунтових агрегатів була вищою за біологічного ведення господарства, тоді як щільність ґрунту в орному шарі – за традиційного. У цих дослідах встановлена вища опірність ґрунту механічним впливам за альтернативного землеробства, що пояснюється наявністю конюшино-злакових травосумішок і пов'язаною з цим відсутністю розпушування [626].

Серед факторів антропогенного впливу на ґрунтовий покрив добрива були одним з найбільш значимих. Застосуванню добрив завжди відводилось центральне місце в комплексі заходів із підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Добрива найсуттєвіше впливають на формування кругообігу речовин та енергії в ґрунтах, агроекологічний стан земель, якість сільськогосподарської продукції.

Оскільки в орних ґрунтах кругообіг поживних елементів стає розімкнутим, значна їх частина відчужується із зібраним врожаєм. Внесення добрив забезпечує збільшення кількості поживних елементів, що використовуються на формування врожаїв. Відзначається тісна кореляція між нормами внесення добрив та забезпеченістю ґрунтів поживними елементами [301, 565].

Застосування мінеральних та органічних добрив насамперед забезпечує покращення поліпшення режиму ґрунтів, підвищує вміст рухомих форм поживних елементів, їх загальні запаси, призводить до певних змін їх фракційного складу [463].

У більшості випадків учені засвідчують, що застосування добрив сприяє поліпшенню поживного режиму ґрунтів. За даними Н. Н. Михальова, З. С. Єфремова, добрива сприяють підвищенню вмісту рухомих форм поживних елементів. Поліпшують азотний режим та вміст мінерального азоту при внесенні добрив в орних ґрунтах [634]. Разом із тим, не завжди тривале застосування добрив призводить до підвищення вмісту поживних елементів у ґрунті. Так, Ю. І. Єрмохін та В. В. Шевелєв [150] зазначають, що при тривалому застосуванні добрив, за поліпшення азотного й фосфорного режиму ґрунтів відзначено зниження вмісту обмінного калію в лугово-чорноземних ґрунтах. За даними Н. К. Бороніна, І. І. Філон [54], не виявлено поліпшення азотного режиму чорноземів за мінеральної системи удобрення, тоді як лише застосування гною забезпечувало підвищення валових запасів та вмісту мінерального азоту.

Під впливом довготривалого систематичного застосування підвищених норм гною і мінеральних добрив зростають запаси загального азоту. При цьому підвищується кількість гідролізованих сполук азоту, які зумовлюють зростання частки мінеральних сполук, що свідчить про поліпшення ґрунтової родючості [117].

Основна кількість азоту в чорноземі знаходиться в органічній формі (95–99 %) і являє собою структурний елемент гумусних речовин [597].

Оптимальне забезпечення мінеральним азотом буряків цукрових у сівоzmіні досягається при застосуванні органо-мінеральної системи удобрення [262, 524].

Доступний азот наявний в ґрунті переважно в амонійній формі. Роботами Д. М. Прянішнікова [409] встановлено, що амонійний азот при позитивній сумі факторів може мати в живленні рослин рівноцінне з нітратним азотом значення або навіть перевагу. Рослини для синтезу органічних речовин можуть використовувати більшою мірою амонійний азот, ніж нітратний. Перевага амонійного живлення порівняно з нітратним зумовлена тим, що амонійний азот ближчий до продуктів синтезу азотних речовин у рослинах, оскільки для синтезу амінокислот потрібна відновлена форма азоту [217].

Використання люцерни, гороху, сої дає можливість поліпшити азотний режим ґрунту, підвищити вміст мінеральних сполук азоту в період вегетації сільськогосподарських культур.

У ряді досліджень, проведених на чорноземних ґрунтах у зерно-бурякових сівоzmінах у ланках з багаторічними травами, горохом спостерігалось підвищення вмісту мінеральних сполук азоту у посівах цукрових буряків і озимої пшениці по мінеральному й органо-мінеральному фону [328]. Використання багаторічних трав і бобових культур у сівоzmіні дає можливість зменшити витрати азотних добрив й оптимізувати азотне живлення цукрових буряків та інших культур сівоzmіни.

Азотні добрива виступають основним регулятором співвідношення процесів азотфіксації – денітрифікації, іммобілізації – мінералізації, результатом чого стає збагачення або збіднення ґрунту азотом. Тому при проведенні моніторингових спостережень за родючістю ґрунту необхідно визначити разом з гумусом та лужногідролізованим азотом і валовий азот ґрунту. З внесенням азотних добрив відбувається додаткове накопичення мінерального азоту ґрунту або «екстра» азоту [230].

Дослідження, проведені на чорноземних ґрунтах, свідчать, що направленість у ґрунті процесів іммобілізації – мінералізації азоту добрив упродовж вегетації буряків цукрових залежить від доз. При незначних нормах азоту за період від середини до кінця вегетації у ґрунті процеси мінералізації переважали над іммобілізацією. За оптимальних умов ці процеси взаємно урівноважуються, при надлишковому – переважають процеси іммобілізації [587].

Відносно закріплення азоту в дослідження [89] залежало від норм застосування азотних добрив. Найбільшим було закріплення азоту при застосуванні 45 кг/га і закономірним – зниження за норм 180 і 360 кг азоту на 1 га. У перший рік застосування гною стає доступним близько 20–30 % азоту, до 40 % іммобілізується і приблизно 20–30 % втрачається, 10 % – використовується на наступний рік. Водночас іммобілізований азот гною стає доступним рослинам упродовж року як повільно діюче джерело азоту.

Значною мірою вплив на регулювання міграції нітратного азоту в ґрунтовому профілі впливають способи застосування добрив, що дає можливість не лише оптимізувати азотне живлення рослин у сівозміні, а й зменшити його трансформацію у нижчі шари ґрунту.

Саме поєднання азотних добрив з гноєм утримує мінеральний азот у верхній частині ґрунтового профілю, поліпшує амонійне та нітратне живлення рослин упродовж всієї вегетації [526].

Через скорочення тваринництва в господарствах зменшилось застосування гною на 1 га ріллі, тому почали широко використовувати солому і сидеральні культури при післяжнивному посіві на зелене добриво.

Використання сидеральних культур поліпшує забезпеченість ґрунту нітратним азотом у першу половину вегетації буряків цукрових, кукурудзи, соняшнику та зменшує його вимивання. Тому підбір сидеральних культур, строків їх заорювання, поєднання з мінеральними й органічними добривами дає можливість поліпшити азотний режим ґрунту, оптимізувати азотне живлення буряків цукрових, що потребує вивчення і впровадження у сівозмінах з довгою і короткою ротаціями.

Сільськогосподарські культури, які вирощуються у сівозмінах, система удобрення сівозмін, обробіток ґрунту впливають на зміну фосфатного режиму чорноземних ґрунтів, підвищення вмісту рухомого фосфору [524], оскільки мінеральні фосфати виступають головним джерелом збільшення запасів розчинних і засвоєних рослинами сполук фосфору. Найцінніші відносно цього рухомі сполуки.

Найбільший вміст рухомих фосфатів спостерігається при застосуванні органо-мінеральної системи удобрення під сільськогосподарських культур, дає змогу підвищити вміст рухомого фосфору під ними [502].

Міграція фосфору по профілю ґрунту відзначена за спільного внесення органічних і мінеральних фосфорних добрив, що зумовлено синтезом поліфосфатів, відповідно до чого утворюються поліфосфатні комплекси. Біосинтез поліфосфатів у ґрунті посилюється за наявності в середовищі органічних сполук та іонів ортофосфорної кислоти. Окрім того, для поліфосфатів характерна властивість утворювати стабільні комплекси з усіма метанами, міграція фосфору [233].

За органічної та мінеральної системи удобрення в дослідженнях Н. К. Бороніна, Б. С. Носка, І. І. Філон [53] встановлено, що обидві системи удобрення однаково впливали на вміст валового фосфору в чорноземі типовому, забезпечуючи помітне його збільшення в орному та підорному

шарах до глибини 0–50 см. При цьому накопичення мінеральних фосфатів відбувалося інтенсивніше за мінеральної системи удобрення, тоді як органічних – за внесення гною.

Внесення 6,25 т/га гною + $N_{33,8}P_{45}K_{33,8}$ на 1 га ріллі в зерно-буряковій сівозміні на чорноземі типовому слабосолонцюватому було достатнім для формування позитивного балансу фосфору у ґрунті. При цьому вміст рухомого фосфору в орному шарі ґрунту зріс за період ротації сівозміни на 4,1, підорному – 7,0 мг/кг ґрунту [524, 534].

У дослідженнях Ф. Ф. Адаменя, Л. А. Радченка, К. Г. Женченка [5] на чорноземі південному малогумусному в зерно-просапній сівозміні внесення 7 т гною + $N_{40}P_{40}$ на 1 га ріллі забезпечило позитивний баланс фосфору та збільшило його вміст у шарі ґрунту 0–30 см за період ротації сівозміни на 1,3 мг/100 г ґрунту порівняно з варіантом без добрив.

В умовах недостатнього зволоження на чорноземі типовому слабосолонцюватому за період шести ротацій у варіанті без внесення добрив вміст фосфору в орному шарі плодозмінної сівозміни зменшився на 1,0; підорному – на 0,7; просапної – відповідно на 3,5 і 2,1 мг/кг ґрунту [524].

Таким чином, підвищення вмісту рухомого фосфору у ґрунті, досягнення стабільності фосфатного фонду залежить від доз застосування фосфорних добрив. Внесення добрив має забезпечувати фізіологічні потреби сільськогосподарських культур у фосфорі та створювати позитивний баланс фосфору у ґрунті.

Застосування калійних добрив дає змогу забезпечити рослини цим елементом живлення, водночас якась частина калію може бути не використана рослинами [406].

Найбільший вміст обмінного калію у ґрунті спостерігається при використанні органо-мінеральної системи удобрення [351]. Так, застосування у зерно-буряковій сівозміні на чорноземі опідзоленому за п'ять ротацій вміст обмінного калію в орному шарі ґрунту становив 131 мг/кг ґрунту, при органо-мінеральній системі удобрення – 159 мг/кг ґрунту, одинарній нормі

органомінеральної системи удобрення – 130, подвійної – 121 мг/кг ґрунту [293].

У дослідженнях, які проводилися на чорноземах типових у зерно-буряковій сівозміні, при застосуванні мінеральних і органічних добрив вміст обмінного калію підвищився від 75 мг/кг ґрунту до 100 мг/кг ґрунту [351].

За щорічного застосування 40 т/га гною на темно-сірому ґрунті вміст обмінного калію становив 21,7 мг/100 г, що в три рази перевищував його вміст на варіанті без внесення добрив [159].

На чорноземах типових застосування гною у нормі 30 і 60 т/га при позитивному балансі калію не поліпшило калійного стану ґрунту [441]. Такі самі результати були одержані В. М. Якименком [599], що пов'язано з високим рівнем забезпеченості ґрунтовбирного комплексу іонами Са і Mg. Відповідно до цього норму застосування калійних добрив у зерно-просапних сівозмінах потрібно пов'язувати з використанням калію з ґрунту рослинами сівозміни і балансу калію в ґрунті, а також кількістю калію у ґрунтовбирному комплексі, щоб не допустити зниження ґрунтової родючості на ґрунтах.

У дослідженнях, які проводилися із внесенням мінеральних добрив, не спостерігалось підвищення вмісту калію у підорному шарі ґрунту [128], тоді як у дослідженнях Кіровоградської дослідної станції [17], спостерігалось помітне збільшення вмісту обмінного калію порівняно з початковим вмістом і варіантом без добрив. За іншими даними, підвищені дози повного мінерального добрива збільшили вміст обмінного калію у підорному шарі ґрунту в 1,5 рази [413]. Водночас у дослідженнях Верхняцької ДСС [293], за межами орного шару за мінеральної системи удобрення було виявлено 69,4 % обмінного калію, органомінеральної системи – 65,1 %, одинарної, подвійної і потрійної норми на фоні органічних добрив визначено 69,3 і 68,9 та 67,9 % калію.

На чорноземах лучних карбонатних застосування органомінеральної системи удобрення підвищило вміст необмінно-фіксованого калію за 20 років в орному шарі від 1862 до 1938 мг/кг ґрунту [605].

Отже, вміст обмінного калію на чорноземних ґрунтах залежить від норм використання добрив як безпосередньо під культури, так і в сівозміні у цілому. Тому завдання досліджень було обґрунтувати зміну калійного фонду чорноземних ґрунтів і розробити способи його оптимізації залежно від обробітку ґрунту та удобрення.

Серед культур зерно-бурякової сівозміни найвибагливіші до умов мінерального живлення буряки цукрові. Вони потребують значно більшої кількості поживних речовин для формування біомаси порівняно з іншими культурами [524, 588].

Буряки цукрові досить чутливі до умов азотного живлення. Надмірне споживання азоту, особливо в другій половині вегетаційного періоду, подовжує розвиток буряків цукрових, веде до зниження цукристості та погіршує технологічні якості коренеплодів [588, 610].

Пом'якшення негативного впливу азоту на технологічну якість коренеплодів буряків цукрових можна досягти за збільшення частки фосфору і калію у складі добрив [619].

За органо-мінеральної системи удобрення в умовах зерно-бурякової сівозміни (з внесенням гною під просапні культури) в середньому за 20–30 років врожайність буряків цукрових підвищилася до початкового на 22–33 %, кукурудзи на зерно – на 22–25 %, ячменю – на 42 %, вико-житньої сумішки – на 38 %, що порівняно з мінеральною системою удобрення було вищим відповідно на 8–10 %, 15–16 %, 24 % та 12 % [293].

За даними В. Marlänter, С. Hoffmann, Н. J. Koch, Е. Latewig [614], оптимальною дозою внесення мінеральних добрив для отримання врожайності коренеплодів буряків цукрових 50–55 т/га є $N_{120}P_{100}K_{140}$. При цьому фосфорні і калійні добрива вносять під оранку, азотні – у передпосівну культивуацію N_{90} та ґрунтове підживлення N_{30} (фаза змикання листків у рядку).

У Франції, згідно з дослідженнями J. T. Tsialtas, N. Maslaris [637], під урожайність коренеплодів буряків цукрових 50 т/га оптимальною дозою внесення мінеральних добрив на фоні 20 т/га гною визначено $N_{130}P_{110}K_{200}$.

На думку П. Я. Бісовецького [42], найефективніша доза мінеральних добрив під буряки цукрові на фоні органіки становить $N_{75}P_{85}K_{90}$. Застосування високих доз мінеральних добрив нераціональне, оскільки призводить до збільшення собівартості продукції та нераціонального використання добрив.

За даними А. А. Козакова, В. С. Залізовського [210], оптимальна доза добрив під пшеницю озиму в зоні Лісостепу це внесення $N_{40-90}P_{40-60}K_{30-60}$. На думку А. П. Лісовала, Н. Г. Жмурка, В. М. Ярославича [259], на ґрунтах із низьким рівнем забезпечення елементами живлення дозу внесення добрив необхідно збільшувати до $N_{120}P_{120}K_{120}$.

На Білоцерківській дослідній станції в середньому за сім років уміст клейковини в борошні пшениці озимої, яку сіяли після багаторічних трав і гороху, був вищим, ніж після попередника кукурудзи на силос – відповідно на 2,8 і 2,2 % [28].

На Іванівській дослідній станції уміст клейковини і протеїну в борошні та скловидність зерна пшениці озимої після попередника вико-вівсяної сумішки становили 29,8, 13,7 і 88,9 %, після кукурудзи на зелений корм – 27,7, 13,7 і 87,1 % [28].

У країнах Західної Європи отримання врожайності зерна пшениці озимої 8–10 т/га потребує внесення високих доз мінеральних добрив. За даними О. Korlovsky, J. Balik, J. Cerny [623], у Чехії для отримання врожайності зерна пшениці озимої 8,5–9,5 т/га вносять $N_{150}P_{110}K_{120}$. Фосфорно-калійні добрива застосовують під оранку, азотні – у три прийоми: по мерзлоталому ґрунту N_{90} , у передпосівну культивуацію – N_{30} та позакоренево у фазі молочно-воскової стиглості – N_{40} .

За даними W. S. Wilson, K. L. Moore, A. D. Rochford, L. V. Vaifganathan [616], у Великій Британії для отримання врожайності зерна пшениці озимої 9

т/га вносять $N_{120-200}P_{35-45}K_{100-130}$. Застосування добрив диференційоване і залежить від індексу забезпечення ґрунту елементами живлення. За високого рівня забезпечення доза мінеральних добрив становить $N_{120}P_{35}K_{100}$, азотні добрива вносять у два прийоми: 1/3 у передпосівну культивуацію, 2/3 – у фазі кушіння.

За даними С. David, M. Valantin-Morison, D. Makowski, M. Jenffroy [615], у Франції для отримання врожайності 9–10 т/га під пшеницю озиму задають $N_{180}P_{130}K_{150}$. При цьому азотні добрива вносять у передпосівну культивуацію – N_{60} , фазі кушіння – N_{80} та позакоренево у фазі кушіння – N_{80} , позакоренево у фазі молочно-воскової стиглості – N_{40} .

За даними М. В. Козлова, А. А. Плішка [212], для забезпечення врожайності зерна кукурудзи 6,0–8,0 т/га в зоні Лісостепу на чорноземних ґрунтах необхідно вносити за мінеральної системи удобрення $N_{110-150}P_{90-120}K_{120-150}$, на фоні 30–40 т/га гною – $N_{90-120}P_{60-90}K_{90-120}$.

У країнах Західної Європи внесення мінеральних добрив під кукурудзу на зерно поєднують із застосуванням на добриво зеленої маси сидеральних культур, таких як люпин, ріпак, гірчиця біла, редька олійна. За даними Т. L. Roberts [630], у Франції для отримання врожайності зерна 9–10 т/га під кукурудзу задають $N_{180}P_{100}K_{100}$. Фосфорні і калійні добрива застосовують під оранку, азотні у два прийоми: 1/3 норми у передпосівну культивуацію, 2/3 норми – у фазі 6–8 листків.

За даними R. G. Hoefl [621], E. D. Nafzider, J. E. Sawyer, R. G. Hoefl [629], в США оптимальною дозою мінеральних добрив для отримання врожайності зерна кукурудзи понад 10 т/га на сході кукурудзяного поясу визначено $N_{170}P_{80}K_{80}$, заході – $N_{150}P_{50}K_{60}$. Фосфорні і калійні добрива застосовують під основний обробіток ґрунту, азотні – 2/3 у передпосівну культивуацію, 1/3 – після появи сходів шляхом ґрунтового підживлення у міжряддя на глибину 8–10 см.

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

Ячмінь ярий в зерно-буряковій сівозміні висівають переважно після буряків цукрових. Елементи живлення із ґрунту рослини ячменю найінтенсивніше використовують у першій половині вегетації. За даними А. І. Буджерак [56], до кінця фази кушіння ячмінь засвоює майже половину азоту та фосфору і 75 % калію від загального виносу.

Однорічні й багаторічні бобові трави та горох у зерно-буряковій сівозміні розміщують переважно після буряків цукрових і ярих зернових культур як попередник пшениці озимої. Це дає змогу поповнити ґрунт біологічним азотом, збільшити кількість органічної речовини у ґрунті за рахунок корневих залишків та оптимізувати умови мінерального живлення пшениці озимої [28, 434].

Дослідження М. М. Мартиновича, Л. І. Мартинович [293] свідчать, що в умовах нестійкого зволоження на чорноземі опідзоленому найефективнішою була органо-мінеральна система удобрення із внесенням на 1 га ріллі 7,7 т гною + $N_{18}P_{22}K_{20}$. За п'ять ротацій продуктивність зерно-бурякової сівозміни зросла в середньому за органо-мінеральної системи удобрення на 24 %, тоді як за мінеральної – на 17 %. Зміни співвідношення елементів живлення та дози добрив, а також перерозподіл добрив між культурами не призвели до росту продуктивності сівозміни.

У дослідженнях В. М. Якименка, В. Л. Теселька, Н. Н. Кожуховського [405], які проводили в умовах достатнього зволоження на чорноземі типовому вилугуваному легкосуглинковому, вищі показники продуктивності зерно-бурякової сівозміни досягали за внесення на 1 га ріллі 6 т гною + $N_{56}P_{50}K_{60}$ та 9 т гною + $N_{42}P_{38}K_{45}$ і становили відповідно 7,81 та 8,03 т к.од./га, що на 2,31 та 2,53 т к.од./га більше, ніж на контролі без добрив.

За нестійкого зволоження на чорноземі вилугуваному середньосуглинковому, за даними Л. А. Барнштейна, І. С. Шкаредного, В. М.

Якименка [28], оптимальною дозою добрив у 10-пільній зерно-буряковій сівозміні було внесення 6 т гною + $N_{42}P_{38}K_{45}$ на 1 га сівозмінної площі. У варіанті без добрив загальна кількість кормових одиниць у першій ротації становила 6,28, у другій – 4,87, за органо-мінеральної системи удобрення відповідно 9,11 та 8,84 т к.од./га.

За даними В. А. Єськова, А. П. Кузьміна, А. Ф. Ступіна, М. С. Савіної [151], при внесенні оптимального складу і помірних доз мінеральних добрив в умовах зерно-просапної сівозміні найбільшу віддачу приростом урожаю одержано на буряках цукрових, пшениці озимій, кукурудзі на зерно. За цим принципом, на думку дослідників, має визначатися черговість внесення добрив у сівозміні. Культури з низькою віддачею від внесення добрив повинні використовувати їх у післядії.

У дослідженнях В. А. Єськова, А. П. Кузьміна, А. Ф. Ступіна та ін. [74] на чорноземі слабовилугуваному встановлено, що внесення щорічно лише мінеральних добрив у дозі $N_{60}P_{30}K_{60}$ на 1 га ріллі створювало від'ємний щорічний баланс азоту і калію в ґрунті, зберігаючи позитивний баланс фосфору.

На чорноземі опідзоленому застосування в зерно-просапній сівозміні 9 т/га гною + $N_{117}P_{56}K_{127}$ забезпечило зрівноважений баланс за вмістом азоту, позитивний – фосфору та калію. За зменшення дози органічних добрив до 6 т/га гною + $N_{117}P_{56}K_{127}$ баланс азоту був від'ємним – (–20) кг/га, фосфору – позитивним (+15) кг/га, калію – зрівноваженим [76].

Дослідження С. І. Войтенка, В. І. Іванової, Е. А. Андрейченко [76], Я. П. Цвея, Н. К. Шиманської [535] свідчать, що стабілізація балансу елементів живлення у сівозмінах відбувається за органо-мінеральної системи удобрення.

Отже, ефективність добрив в умовах зерно-просапної сівозміні залежить від оптимізації доз, застосування під окремо визначені взяті культури з урахуванням біологічних особливостей їх попередників. Використання добрив у сівозміні повинно бути диференційованим.

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

Одержані результати досліджень опубліковано в наступних джерелах:

1. Сидерація в технологіях сучасного землеробства : науково-виробниче видання (монографія) / [Шувар І. А., Роїк М. В., Іванишин В. В., Сендецький В. М., Центи́ло Л. В. та ін.]; за заг. ред. І. А. Шуvara, М. В. Роїка. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2016. 180 с.
2. Сидерати в сучасному землеробстві : науково-виробниче видання (монографія)/ [Шувар І. А., Бердніков О. М., Центи́ло Л. В., Сендецький В. М. та ін.]; за заг. ред. І. А. Шуvara. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2015. 156 с.
3. Мікробні препарати в сучасних аграрних технологіях (науково-практичні рекомендації) / за ред. В. В. Волкогона. Київ, 2015. 248 с.
4. Біологізація землеробства в Україні: реалії та перспективи / науково-виробниче видання / [В. В. Іванишин, М. В. Роїк, І. А. Шувар, Л. В. Центи́ло, В. М. Сендецький, О. М. Бунчак, Н. К. Колісник та ін.] ; за заг. ред. В. В. Іванишина та І. А. Шуvara. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2016. 284 с.
5. Panchenko T., Lozinskiy M., Gamayunova V., Tsentilo L., Khakhula V., Fedoruk Y., Pokotylo I. Change of yield and baking qualities of winter wheat grain depending on the year of growing and predecessor in the central Forestry of Ukraine. Plant Archives. Vol. 19. No. 1. 2019. P. 1107–1112.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Ґрунтово-кліматична характеристика регіону

Дослідження виконані в стаціонарному польовому досліді Навчально-науково-інноваційному центрі агротехнологій ТОВ «Агрофірма Колос» упродовж 2011–2019 рр., с. Пустоварівка Сквирського району Київської області Національного університет біоресурсів і природокористування України.

Лісостепова зона простягається від Передкарпаття до західних відрогів Середньоросійської височини майже на 1100 км. Вона охоплює 34 % (202,8 тис. км²) території України. Південна її межа проходить на північ від Великої Михайлівки, Ширяєвого, через Первомайськ, поблизу Новоукраїнки, Кіровограда, Олександрії, вздовж р. Ворскла до Кобеляків, через Красноград, Балаклею, вздовж р. Оскіл до кордону з Росією. Зона Лісостепу – важливий аграрний регіон України, в якому площа орних земель становить 42 % загального їх фонду.

Переважну частину Лісостепу формують дві підзони нестійкого і недостатнього зволоження. Підзона нестійкого зволоження (центральна) включає території Вінницької (крім північно-західних районів), Черкаської, східних районів Чернівецької, північних лісостепових районів Київської, Чернігівської, Сумської (крім північних), Харківської, північних і центральних районів Полтавської областей. Середньорічна кількість опадів близько 480–500 мм. Слід зазначити, що частіше посушливі роки в цій підзоні спостерігаються в південних і східних її районах.

Підзона недостатнього зволоження (східна і південно-східна) включає території південних лісостепових районів Одеської, південно-західних і північно-східних лісостепових районів Кіровоградської, південних районів Полтавської областей. Середньорічна кількість опадів знаходиться в межах 430–480 мм. Сума ефективних температур понад 10°C досягає 2600–900°C. У

зв'язку з тим, що посушливі роки в цій під зоні – явище досить часте, то для оптимізації водного режиму ґрунту в сівозмінах необхідно запроваджувати чисті пари.

За структурою ґрунтового серед покриву найпоширеніших типів ґрунтів у правобережного Лісостепу розрізняють чорноземи типові, чорноземи опідзолені, лучно-чорноземні, темно-сірі опідзолені та ін. Чорноземи сформувалися на вододільних поверхнях центральної та південної частин Придніпровської височини, на лівобережній терасовій низовинній рівнині. Типові малогумусні чорноземи мають потужність до 130 см, вміст гумусу становить 4–5 %. Опідзолені чорноземи і темно-сірі ґрунти спостерігаються по краях типових чорноземів і містять 3–6 % гумусу. Сірі і світло-сірі лісові ґрунти розвинуті на вершинних поверхнях Придніпровської височини, вздовж берегів річок Псла, Ворскли та ін. На давніх терасах, у широких зниженнях сформувалися лучно-чорноземні ґрунти, в заплавах річок – лучні, дернові та болотні ґрунти.

Клімат Правобережного Лісостепу помірно-континентальний. Середня місячна температура зимових місяців (січень, лютий) змінюється від -4°C у західній частині до -8°C – у східній. Для зимового періоду характерні досить тривалі проміжки інтенсивних відлиг, під час яких температура повітря може підвищуватися до $10\text{--}14^{\circ}\text{C}$. Середньомісячна температура повітря літнього періоду коливається від 10°C у західній частині до 20°C у східній, за абсолютного максимуму $39\text{--}40^{\circ}\text{C}$. Тривалість періоду із середньомісячною температурою вище 5°C становить 200–215 днів на заході і 190–200 днів на сході і у своїй більшості збігається з тривалістю вегетаційного періоду найпоширеніших у лісостеповій зоні сільськогосподарських культур. Період активної вегетації цих культур, який визначається межами переходу температури через $+10^{\circ}\text{C}$, триває 115–170 днів, розпочинається орієнтовно в третій декаді квітня і закінчується на початку жовтня.

Таким чином, кліматичні умови регіону досить сприятливі для ведення сільськогосподарського виробництва й отримання високих та стабільних урожаїв усіх сільськогосподарських культур.

2.2. Схема дослідів та методика досліджень

Дослідження виконували впродовж 2011–2019 рр. у стаціонарному польовому досліді з вивчення систем основного обробітку ґрунту та удобрення, зерно-просапних сівозмін, закладених у 2010 р.

Ґрунт дослідної ділянки. За морфологічними ознаками ґрунт дослідного поля відноситься до чорнозему типового глибокого великопилювато-середньосуглинкового, що залягає на лесі (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Опис ґрунтового профілю досліджуваного ґрунту

Н (0–50 см)	Гумусово-аккумулятивний, темно-сірий, у вологому стані майже чорний, грудочкувато-зернистий, в орному шарі багато пилу – пилювато-грудочкуватий, перехід поступовий
НРк (50–120 см)	Верхня частина перехідного горизонту, темнувато-сірий, дрібно-грудочкуватий, наявно багато кротовин і червоточин, карбонатна цвіль, перехід поступовий
РнК (120–200 см)	Нижня частина перехідного горизонту, нерівномірно-гумусований, переритий кротовинами, тому – плямисто-сірувато-палевого забарвлення, велико-грудочкуватий, карбонатна цвіль, перехід поступовий
Рк (200 см)	Материнська порода – буровато-палевий лес

За даними агрохімічного аналізу вихідних зразків досліджений ґрунт чорнозем типовий глибокий середньосуглинковий, вміст гумусу в орному шарі 4,5 %, у підорному – від 4,5–2,3 % (табл. 2.2).

З глибиною кількість гумусу знижується до 3,4 % у шарі 50–120 см і до 2,3 % на глибині 120–200 см. Ґрунт характеризується високим вмістом фосфору 233–270 мг/кг – у підорному шарі, високим і середнім вмістом обмінного калію (80–100 мг/кг ґрунту).

**Фізико-хімічні та агрохімічні показники родючості чорнозему типового
великопилювато-середньосуглинкового на час закладання
дослід (2010 р.)**

Місце відбору грунто- вих зразків	Генетич- ний горизонт, шар грунту, см	Вміст						
		гуму- су %	ємніс- ть погли- - нання МГ екв/100 г грун- ту	pH KCL	ступі- нь насиче- ння ос- новами , % від ємнос- ті	лужно- гі- дролізо- ваного азоту	P ₂ O ₅	K ₂ O
Грунто- вий розріз	Н 0–50	4,5	16,8	5,4	85	119	183	69
	НР _к 50– 120	3,44	26,5	6,2	97	63	204	64
	Р _h К 120– 200	2,3	48,7	6,8	99	46	7	32
	Р _к >200	0,97	48,7	7,0	99	34	2	32

Реакція ґрунтового розчину слабокисла, ступінь насичення вбирного комплексу основами високий (85–99 %). За своїм складом і властивостями ґрунт цілком придатний для вирощування усіх сільськогосподарських культур, які рекомендовані для цієї зони.

Водно-фізичні властивості ґрунту дослідного поля сприятливі. Так, щільність ґрунту оброблюваного шару коливається в межах 1,16–1,25 г/см³, а загальна щільність становить 52–55 %. Діапазон активної вологи широкий, що зумовлює відносно низьку вологість в'янення і порівняно високу вологоємність ґрунту (табл. 2.3).

Водно-фізичні властивості чорнозему типового

Показник	Глибина горизонту, см		
	5–25	25–45	80–100
Щільність ґрунту, г/см ³	1,16	1,25	1,27
Загальна пористість, %	52	55	52
Максимальна молекулярна вологоємність, %	13,6	13,2	12,3
Вологість в'янення, %	10,8	10,7	9,8
Повна вологоємність, %	41,6	47,4	41
Польова вологоємність	28,2	27,3	25,6

Дослід № 1

Схемою двофакторного стаціонарного дослідження передбачалося вивчення трьох систем обробітку ґрунту, спільно з чотирма системами удобрення, система захисту рослин закладається однаково на всі варіанти. Чергування культур в досліді наступне: люцерна 3 укоси – люцерна 2 укоси – пшениця озима – буряки цукрові – чміль – соя – пшениця озима – кукурудза на силос – пшениця озима – соняшник. У дослідженнях здійснювалася порівняльна оцінка агрономічної, біоенергетичної, господарської ефективності наступних варіантів основного обробітку ґрунту (табл. 2.4).

1. Диференційований (контроль): проведення за ротацію сівозміни 5 разів різноглибинної оранки, 2 рази мілкою безполицевою обробітку під пшеницю озиму після сої і кукурудзи на силос та 1 раз – чизельного обробітку під ячмінь.

2. Полицево–безполицевий: проведення за ротацію сівозміни 2 рази оранки під буряки цукрові і соняшник, мілкою безполицевою під пшеницю озиму в полях, зазначених в контролі та безполицевого розпушування під решту культур.

3. Мілкий безполицевий: проведення обробітку ґрунту дисковими знаряддями на глибину 8–10 см під усі культури сівозміни.

Для виконання технологічних умов вирощування культур у дослідках залучали сільськогосподарські машини: плуг ПЛН 3–35, чизель глибокорозпушувач АГЧ–1,8, важка дискова борона БДТ–3, культиватор КРН–4,2 комбінований агрегат «Європак», сівалки – Джон Дір, Моносем.

Таблиця 2.4

Система основного обробітку ґрунту в стаціонарному досліді

Варіанти систем обробітку ґрунту	Послідовність заходів, глибина (см) і кратність (разів) під культур				
	Дискування	Оранка	Оранка ярусна	Чизельний обробіток	Культивация основного заходу
Пшениця озима після люцерни, редька олійна на сидерат					
Диференційований (контроль)	8–10 (2 р.)	20–22	-	-	5–6 (2 р.)
Полицево-безполицевий	8–10 (2 р.)	-	-	-	5–6 (2 р.)
Мілкий безполицевий	8–10 (2 р.)	-	-	-	5–6 (2 р.)
Буряки цукрові					
Диференційований (контроль)	6–8	28–30 (компост)	-	-	5–6 (2 р.)
Полицево-безполицевий	6–8	-	28–30 (компост)	-	5–6 (2 р.)
Мілкий безполицевий	6–8, 8–10 (компост)	-	-	-	5–6 (2 р.)
Ячмінь ярий					
Диференційований (контроль)	-	-	-	20–22	-
Полицево-безполицевий	-	-	-	20–22	-
Мілкий безполицевий	8–10	-	-	-	-
Соя					
Диференц. контр.)	8–10 (2 р.)	20–22	-	-	-
Полицево-безполицевий	8–10 (2 р.)	-	-	20–22	-
Мілкий безполицевий	8–10 (2 р.)	-	-	-	-

Пшениця озима після сої, редька олійна на сидерат					
Диференційований (контроль)	5–6 (2 р.)	-	-	-	5–6 (2 р.)
Полицево - безполицевий	5–6 (2 р.)	-	-	-	5–6 (2 р.)
Мілкий безполицевий	5–6 (2 р.)	-	-	-	5–6 (2 р.)
Кукурудза на силос					
Диференційований (контроль)	-	25–27	-	-	-
Полицево-безполицевий	-	-	-	25–27	-
Мілкий безполицевий	8–10	-	-	-	-
Пшениця озима після кукурудзи на силос, редька олійна на сидерат					
Диференційований (контроль)	5–6 (2 р.)	-	-	-	5–6 (2 р.)
Полицево-безполицевий	5–6 (2 р.)	-	-	-	5–6 (2 р.)
Мілкий безполицевий	5–6 (2 р.)	-	-	-	5–6 (2 р.)
Соняшник					
Диференційований (контроль)	6–8	25–27 (компост)	-	-	5–6 (2р)
Полицево-безполицевий	6–8	-	25–27 (компост)	-	5–6 (2р)
Мілкий безполицевий	6–8, 8–10 (компост)	-	-	-	5–6 (2р)

Складовою частиною системи удобрення є застосування добрив, яка розроблена з урахуванням рівня родючості ґрунту та рівня запланованої урожайності. Далі наведено розрахунок урожайності культур і продуктивності ріллі, адекватної біокліматичному потенціалу Лісостепу України. Показана тут інформація засвідчує можливість отримання урожайності основної і побічної продукції вирощуваних культур, адекватної ФАР на рівні 11,3 т/га, а можлива продуктивність за ресурсами вологи становить 8,4 т/га кормових одиниць. Реальна урожайність провідних

культур в Лісостепу за цими розрахунками, аргументована ресурсами доступної вологи, становить 5 т/га зерна пшениці озимої і 40 т/га буряків цукрових з відповідною величиною її для решти культур сівозміни (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Розрахункова урожайність культур і продуктивності ріллі, адекватної біокліматичному потенціалу Лісостепу України

Культури сівозміни в досліді	Енергія ФАР за вегетацію, Мдж/га	Енергоємність сухої речовини продукції, Мдж/кг	Коефіцієнт корисно дії ФАР, %	Урожай абсолютно сухої маси, т/га	Урожай основної продукції, адекватний ФАР, т/га	Ресурси продуктивної вологи за вегетацію, мм	Коефіцієнт водоспоживання, м³/т	Урожай основної продукції, адекватний ресурсам вологи, т/га
1. Люцерна, 3 укоси	$1610 \cdot 10^4$	21,83	2,0	14,8	59,2	444	90	49,0
2. Люцерна, 2 укоси	$1159 \cdot 10^4$	21,83	2,0	10,6	42,4	376	90	42,0
3. Пшениця озима	$1159 \cdot 10^4$	19,13	2,5	14,9	7,0	350	700	5,0
Редька олійна	$576 \cdot 10^4$	16,39	1,5	5,2	21,0	313	400	7,84
4. Буряки цукрові	$1735 \cdot 10^4$	18,26	2,0	19,0	67,0	474	120	40,0
5. Ячмінь	$1159 \cdot 10^4$	19,13	2,0	12,0	6,0	350	900	4,0
Редька олійна	$576 \cdot 10^4$	16,39	1,5	5,2	21,0	313	400	7,84
6. Соя	$1398 \cdot 10^4$	20,57	2,0	13,6	6,5	418	1100	3,8
7. Пшениця озима	$1159 \cdot 10^4$	19,13	2,5	14,9	7,0	350	700	5,0
Редька олійна	$576 \cdot 10^4$	16,39	1,5	5,2	21,0	313	400	7,84
8. Кукурудза на силос	$1430 \cdot 10^4$	16,39	2,0	17,5	58,0	400	80	50,0
9. Пшениця озима	$1159 \cdot 10^4$	19,13	2,5	14,9	7,0	350	700	5,0
Редька олійна	$576 \cdot 10^4$	16,39	1,5	5,2	21,0	313	400	7,84
10. Соняшник	$1398 \cdot 10^4$	19,38	2,0	14,4	5,8	418	1000	4,2
Середнє по сівозміні	$1336 \cdot 10^4$	19,47	2,1	14,6	11,3	393	X	8,4

Джерелами для компенсації винесення елементів мінерального живлення рослин запрограмованими врожаями у розрахунках слугували надходження їх із ґрунту, компост, з побічної продукції, кореневих залишків і післяжнивних решток, сидератів, симбіотичної і несимбіотичної фіксації атмосферного азоту (табл. 2.6). За органічної системи удобрення з можливим внесенням на 1 га ріллі в сівозміні 7,5 т органічних добрив за рахунок внутрішніх ресурсів господарства перелічені джерела компенсації винесеної урожаями кількості елементів мінерального живлення не забезпечують повної відповідності, зумовлюючи дефіцит 156 кг/га ($N_{71}P_{32}K_{53}$).

У зв'язку з цим доступні форми ресурсів мінерального живлення рослин за органічної системи удобрення становлять 367 кг/га ($N_{134}P_{44}K_{189}$), а в орґано-мінеральній і мінеральній – 486 кг/га, за рахунок внесення на 1 га ріллі мінеральних добрив, відповідно, 142 і 284 кг NPK.

Отже, очікувана адекватна біокліматичному потенціалу агроландшафту середня продуктивність 1 га ріллі в сівозміні в умовах орґано-мінеральної і мінеральної системи удобрення, забезпечена розрахованими ресурсами, становитиме 8,4 к. од. із витрачанням на 1 т 57,8 кг NPK.

Очевидною продуктивністю ріллі за органічної системи удобрення, забезпеченого розрахованими можливими ресурсами органіки, слід очікувати 6,3 т/га ($367 : 57,8$) кормових одиниць, тобто неадекватну біокліматичному потенціалу агроландшафту.

Ресурсне забезпечення елементами мінерального живлення в стаціонарному досліді вивчене в трьох градаціях. У варіанті мінеральної системи для забезпечення запрограмованої, біокліматично обґрунтованої урожайності вирощуваних культур пріоритетними стали – мінеральні добрива із внесенням на 1 га сівозмінної площі 4,5 т компосту і 284 кг діючої речовини мінеральних добрив – $N_{80}P_{96}K_{108}$.

За орґано-мінеральної системи удобрення обрані природні органічні добрива 8 т/га, із них 4,5 т компост і 3,5 т (побічна продукція, маса сидеральних культур у перерахунку на гній) мікробіологічні препарати з

одночасним екологічно обґрунтованим використанням мінеральних добрив у нормі 142 кг/га – $N_{40}P_{48}K_{54}$. Із ресурсного забезпечення елементами живлення рослин у системі органічного удобрення були повністю вилучені мінеральні добрива з внесенням на 1 га ріллі 7,5 т органічних добрив із них 4,5 т компост і 3 т (побічна продукція, маса сидеральних культур у перерахунку на гній).

Варіант органічного удобрення розрахований лише на можливе надходження у ґрунт за рахунок внутрішніх ресурсів господарства органічних добрив 7,5 т/га. Ці ресурси органіки об'єктивно не можуть забезпечити винесення елементів мінерального живлення урожаєм, адекватним біокліматичному потенціалу агроландшафту, з дефіцитом згаданих елементів 156 кг/га – $N_{71}P_{32}K_{53}$.

Система застосування мінеральних добрив у стаціонарному досліді наведена в табл. 2.7.

За орґано-мінеральної системи удобрення пріоритетним стало застосування біологічних препаратів, а також хімічних засобів за критерієм еколого-економічного порога наявності на полях об'єктів контролю.

На фоні перерахованих систем обробітку ґрунту вивчалися чотири системи удобрення:

1. Без добрив
2. Органічна – застосування лише природних ресурсів з внесенням на 1 га 4,5 компосту та 3,0 т нетоварної частини урожаю, маси пожнивних сидератів для відтворення родючості ґрунту. Норма органічних добрив визначена необхідністю позитивного балансу гумусу і можливістю розвиненого тваринництва.
3. Орґано-мінеральна – пріоритетне використання для відтворення родючості ґрунту органічних добрив із внесенням на 1 га сівозмінної площі 4,5 т компосту та 3.5 т нетоварної частини урожаю, маси післяжнивних сидератів і 142 кг (N_{40} , P_{48} , K_{54}) мінеральних добрив.

Таблиця 2.6

Розрахунок ресурсного забезпечення біокліматично обґрунтованої урожайності культур доступними формами елементів мінерального живлення за різних систем землеробства

Культура	Урожайність, т/га	Елементи живлення	Внесення	Надходження, кг/га									Компост, 4,5 т/га Органічна система		Компост, 4,5 т/га N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄ Органо-мінеральна		Компост, 4,5 т/га N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈ Мінеральна система	
				з ґрунту	компост 1 рік	компост, 2 року	побічна продукція	кореневі і пожнивні	сидерати	симбіотична фіксація	несимбіотична азот фіксація	разом	дефіцит	норма внесення	дефіцит	норма внесення	дефіцит	норма внесення
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Люцерна	з/м 49 сіно 11,2	N	202	36		3	4	5		91	20	159	-43	0	-43	0		-
		P	89	15		16	3	3				126	+37	0	+37	40		80
		K	179	20		17	10	12				59	-120	0	-120	50		70
		сума	470	71		36	17	20		91	20	164	-306	0	-306	90		150
Люцерна	з/м 42 сіно 9,6	N	173	36				17		91	20	164	-9	0	-9	-		-
		P	77	15				10				25	-52	0	-52	40		80
		K	156	20				42				62	-94	0	-94	50		70
		сума	403	71				69		91	20	160	-243	0	-243	90		150
Пшениця озима	5,0	N	175	68				10			20	98	-77	0	-77	90		100
		P	60	19				6				25	-35	0	-35	80		90
		K	125	57				24				81	-44	0	-44	80		90
		сума	360	144				40			20	204	-156	0	-156	250		280
Редька олійна	18 3,6 сух. реч.	N	62	45				4				49	-13	0	-13			
		P	28	11				3				14	-14	0	-14			
		K	90	185				11				196	+106	0	+106			
		сума	180	241				18				259	+79	0	+79			

Продовження табл. 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Буряки цукрові	40	N	200	49	19		7	10	4		20	109	-91	0	-91	40		120
		P	52	16	11		4	6	3			40	-12	0	-12	50		120
		K	200	54	37		16	24	11			142	-58	0	-58	60		150
		сума	452	119	67		27	40	18		20	291	-161	0	161	150		390
Ячмінь	4,0	N	108	37		3	3	6			20	69	-39	0	-39	10		70
		P	44	13		16	2	4				35	-9	0	-9	50		90
		K	104	48		17	8	14				87	-17	0	-17	50		90
		сума	256	98		36	13	24			20	191	-65	0	-65	110		250
Редька олійна	16	N	62	45				4				49	-13	0	-13			
		P	28	11				3				14	-14	0	-14			
		K	90	185				11				196	+106	0	+106			
		сума	180	241				18				259	+79	0	+79			
Соя	3,8	N	270	117			3	7	4	138	20	289	+19	0	+19			
		P	61	27			2	4	3			36	-25	0	-25	30		70
		K	68	21			8	16	11			56	-12	0	-12	20		80
		сума	399	165			13	27	18	138	20	381	-18	0	-18	50		150
Пшениця озима	5,0	N	175	68			3	3			20	94	-81	0	-81	60		90
		P	60	19			2	2				23	-37	0	-37	10		90
		K	125	57			6	8				71	-54	0	-54	50		100
		сума	360	144			11	13			20	188	-172	0	-172	120		280
Редька олійна	16	N	62	45				4				49	-13	0	-13			
		P	28	11				3				14	-14	0	-14			
		K	90	185				11				196	+106	0	+106			
		сума	180	241				28				259	+79	0	+79			
Кукурудза на силос	50,0	N	225	8	19		5	8	4		10	54	-171	0	-171	70		160
		P	50	10	11		3	5	3			32	-18	0	-18	60		120
		K	140	59	37		12	20	11			139	-1	0	-1	70		120
		сума	415	77	67		17	33	18		10	222	-193	0	-193	200		400

Продовження табл. 2.6

Пшениця озима	5,0	N	175	68		3		11			20	102	-73	0	-73			100
		P	60	19		16		6				41	-19	0	-19	60		100
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		K	125	57		17		26				100	-25	0	-25	50		90
		сума	360	144		36		43			20	243	-117	0	-117	110		290
Соняшник	4,2	N	240	19			7	8			20	54	-186	0	-186	60		150
		P	122	11			3	5				19	-103	0	-103	30		120
		K	479	37			11	19				57	-422	0	-422	30		130
		сума	841	67			21	32			20	140	-701	0	-701	120		400
Середнє по по сівозміні	N P K Σ	N	213	64	4	1	3	10	1	32	19	134	-71	0	-71	40		80
		P	76	20	2	5	2	6	1			44	-32	0	-32	48		96
		K	197	118	9	5	7	24	3			189	-53	0	-53	54		108
		сума	486	202	15	11	12	40	5	32	19	367	-156	0	-156	142		284

4. Мінеральна – пріоритетне використання промислових агрохімікатів для відтворення родючості ґрунту з внесенням на 1 га сівозмінної площі 4,5 т компосту, 284 кг (N_{80}, P_{96}, K_{108}) мінеральних добрив.

Очікувана адекватна біокліматичному потенціалу агроландшафту середня продуктивність 1 га ріллі в сівозміні в умовах органо-мінеральної і мінеральної системи удобрення, забезпечена розрахованими ресурсами становитиме 8,4 т кормових одиниць. Реальність внесення вказаних норм органічних добрив забезпечується наявністю на кожному гектарі сільськогосподарських угідь кількості голів великої рогатої худоби, використання побічної продукції і зеленої маси післяжнивних сидеральних культур, розташованих у трьох полях сівозміни після збирання пшениці озимої і ячменю. За таких розрахунків запланована урожайність культур сівозміни забезпечується у системних мінерального і органо-мінерального удобрення (див. табл. 2.6)

Розміщення варіантів систематичне, розмір посівної ділянки 240 м², облікової – 209 м². Повторність чотириразова.

Дослід № 2

Здійснювалася порівняльна оцінка з вивчення ґрунтозахисної ефективності варіантів основного обробітку ґрунту.

Чергування культур у досліді наступне: люцерна – пшениця озима – кукурудза на зерно – ячмінь з підсівом люцерни.

1. Полицевий обробіток ґрунту – (контроль).
2. Безполицевий різноглибинний обробіток.
3. Мілкий безполицевий обробіток з одночасним щілюванням.

У полі з озимою пшеницею на варіанті 1 проводилося лушення стерні АГ–2,1 на 6–8 см, внесення добрив, оранка ПЛН–3–35 на 20–22 см в агрегаті з кільчасто-шпоровим котком, культивація в агрегаті з боронуванням, боронування після кожного дощу при проростанні бур'янів, культивація

Таблиця 2.7

Система застосування мінеральних добрив у стаціонарному досліді

Культура, урожайність, т/га	Діюча речовина	Мінеральна система удобрення, на тлі внесення органічних добрив у сівозміні 4,5 т/га				Орґано–мінеральна система удобрення, на тлі внесення органічних добрив у сівозміні 8 т/га			
		усього	основне	припосівне	підживлення	усього	основне	припосівне	підживлення
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Люцерна	N	-	-	-	-	-	-	-	-
	P	80	-	-	80	40	-	-	40
	K	70	-	-	70	50	-	-	50
	Σ	150	-	-	150	90	-	-	90
2. Люцерна	N	-	-	-	-	-	-	-	-
	P	80	-	-	80	40	-	-	40
	K	70	-	-	70	50	-	-	50
	Σ	150	-	-	150	90	-	-	90
3. Пшениця озима	N	100	-	-	100	90	-	-	90
	P	90	60	-	30	80	50	-	30
	K	90	60	-	30	80	50	-	30
	Σ	280	120	-	160	250	100	-	150
4. Буряки цукрові	N	120	-	60	60	40	-	20	20
	P	120	90	15	15	50	30	20	-
	K	150	120	15	15	60	40	20	-
	Σ	390	210	90	90	150	70	60	20
5. Ячмінь	N	70	-	70	-	10	-	10	-
	P	90	-	90	-	50	-	50	-
	K	90	-	90	-	50	-	50	-
	Σ	250	-	250	-	110	-	110	-
6. Соя	N	-	-	-	-	-	-	-	-
	P	70	70	-	-	30	30	-	-
	K	80	80	-	-	20	20	-	-
	Σ	150	150	-	-	50	50	-	-

Закінчення таблиці 2.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7. Пшениця озима	N	90	-	-	90	60	-	-	60
	P	90	60	-	30	10	10	-	-
	K	100	70	-	30	50	50	-	-
	Σ	280	130	-	150	120	60	-	60
8. Кукурудза на силос	N	160	-	160	-	70		70	-
	P	120	100	20	-	60	40	20	-
	K	120	100	20	-	70	50	20	-
	Σ	400	200	200	-	200	90	110	-
9. Пшениця озима	N	100	-	-	100	90	-	-	90
	P	100	70	-	30	90	60	-	30
	K	90	60	-	30	80	50	-	30
	Σ	290	130	-	160	260	110	-	150
10. Соняшник	N	150	-	100	50	60	-	30	30
	P	120	80	20	20	30	30	-	-
	K	130	90	20	20	30	30	-	-
	Σ	400	170	140	90	120	60	30	30
11. Середнє по сівозміні	N	79		39	40	39		13	26
	P	96	53	14	29	48	25	9	14
	K	99	58	15	26	54	29	9	16
	Σ	274	110	68	96	141	54	31	56

на 5–7 см, передпосівна культивуація на глибину заробки насіння. Сівба 15–20 вересня. Весною виконувалося боронування.

На варіанті 2 обробіток стерні БРЗ–5,8, внесення добрив, основний обробіток ґрунту чизель глибокорозпушувач АГЧ–1,8 на 20–22 см, передпосівна культивуація КН–4,8, сівба восени.

На варіанті 3 обробки БРЗ–5,8, внесення добрив, заробка добрив БРЗ–5,8, обробіток 10–12 см з одночасним щілюванням на 35–40 см плоскоріз – щілювач ПЩН–2,5, передпосівний обробіток КН–4,8, сівба.

На варіанті 1 під кукурудзи на зерно і соняшник проводилося лущення стерні на 6–8 см, через 7–8 днів – лемішне лущення на 12–14 см в агрегаті з кільчасто-шпоровим котком, у міру проростання бур'янів – культивуація, внесення органічних і мінеральних добрив, оранка на 25–27 см – у жовтні. Весною – закриття вологи в два сліди, ранньовесняна культивуація на 10–12 см, передпосівна культивуація на 3–5 см, коткування, сівба, внесення гербіцидів.

На варіанті 2 поля обробляли БРЗ–5,8, з появою бур'янів обробка АГ–2,1, внесення добрив, їх заробка БРЗ–5,8. У жовтні – розпушення чизель глибокорозпушувачем АГЧ–1,8 на 25–27 см. Весною закриття вологи БРЗ–5,8, ранньовесняна культивуація КН–4,8 на 10–12 см, передпосівна культивуація на 3–5 см. Сівба, внесення гербіцидів, розпушування міжрядь.

На варіанті 3 обробіток БРЗ–5,8, через 7–10 днів АГ–2,1 на 8–10 см, за необхідності – повторний обробіток. У жовтні обробіток на 10–12 см із щілюванням на 35–40 см плоскорізом-щілювачем ПЩН–2,5. Весною закриття вологи БРЗ–5,8, передпосівна культивуація КН–4,8 на 6–8 см, сівба, внесення гербіцидів, розпушування міжрядь.

На варіанті 1 під ячмінь + люцерна проводилося лущення стерні АГ–2,1 на 6–8 см, оранка ПЛН–3–35 на 20–22 см, закриття вологи весною зубовими боронами, передпосівна культивуація з боронуванням, сівба ячменю і люцерни. Передпосівне прикочування, боронування легкими боронами.

На варіанті 2 обробіток стерні БРЗ–5,8, розпушування ПГ–3–5 на 20–22 см. Весною – закриття вологи БРЗ – 5,8, передпосівна культивация КН–4,8 на 3–5 см, сівба.

На варіанті 3 внесення добрив і їх заробка БРЗ–5,8, обробіток на 10–12 см з одночасним щільюванням на 35–40 см плоскорізом-щільювачем ПЩН–2,5. Весною закриття вологи БРЗ–5,8, передпосівна культивация КН–4,8 на 3–5 см, сівба.

На багаторічних травах на всіх варіантах здійснювалося боронування середньою зубовою бороною.

На фоні перерахованих систем обробітку вивчалися дві системи удобрення:

1. Органічна – застосування компосту 4,5 т/га сівозмінної площі.
2. Мінеральна – застосування на 1 га сівозмінної площі 4,5 т компосту, 284 кг (N₈₀, P₉₆, K₁₀₈) мінеральних добрив.

Добрива у формі аміачної селітри, гранульованого суперфосфату і калійної солі на всіх варіантах вносилися поверхово врозкид із наступним проведенням основного обробітку ґрунту. На варіантах безполицевого обробітку добрива зароблялися БРЗ–5,8, на варіантах із полицевим обробітком – плугом ПЛН–3–35.

Розміщення варіантів систематичне, розмір посівної ділянки $8,5 \cdot 40 = 340 \text{ м}^2$, обліковий $6,5 \cdot 30 = 195 \text{ м}^2$. Повторність триразова. У досліді використовували такі гібриди і сорти культур: люцерна – Каміла, Лідія; пшениця озима – Центилівка; Пустоварівка, Світило; кукурудза на зерно – Ріст СВ, Ігорів 290 СВ; соя – Султана, Сігалія; горох – Саламанка, Стардер; соняшник – Конді НК, Роккі НК; буряки цукрові – Вапіті, Предатор.

Система захисту рослин використовували загальноприйняту для цієї зони.

У досліді проводилися систематичні спостереження за динамікою вологості і поживного режиму ґрунту, змінами агрофізичних, фізико-хімічних і біологічних показників родючості, ростом і розвитком рослин.

Залежно від мети і завдань досліджень відбір, підготовку і аналізи ґрунтових і рослинних зразків виконували різними методами. Так, відбір ґрунтових зразків індивідуальних і змішаних, з порушенням і непорушеною будовою проводили в динаміці і статиці, за генетичними горизонтами, із орного й підорного шарів, а також пошарово на глибину до 1 м.

Відбір і готування зразків ґрунту до аналізу здійснювали згідно із загальноприйнятими методиками, описаними у літературі та відповідно до ДСТУ 4287:2004, ДСТУ ISO 10381–1:2004, ДСТУ ISO 10381–2:2004, ДСТУ ISO 10381–3:2004, ДСТУ ISO 10381–5:2005.

Спостереження, обліки, аналізи проводили за методиками: вміст загального гумусу – методом І. В. Тюріна в модифікації С. М. Симакова (ДСТУ 4289:2004); груповий склад гумусу – за М. М. Кононовою – Н. П. Бельчиковою з використанням лужного розчину пірофосфату натрію; рухомі органічні речовини вилучали з безпосередньої 0,1н витяжки NaOH.

Запаси енергії в гумусі розраховували за формулою С. А. Алієва (1978), удосконаленою В. Козіним (1980):

$$Q = 517,2 \cdot \Gamma \cdot H \cdot d_{pв}(C_{Г} : C_{Ф}),$$

де Q – запаси енергії в гумусі, млн Ккал/га; 517,2 – коефіцієнт переведу, млн. Ккал/га; Γ – вміст гумусу, %; H – потужність шару, м; $d_{pв}$ – рівноважна щільність будови ґрунту, г/см³; $C_{ГК} : C_{ФК}$ – якісний показник гумусу; енергія 1 Ккал/га становить 0,00419 ГДж/га.

Облік маси коренів проводили методом рамочної виїмки ґрунту за методикою Н. З. Станкова (1964) безпосередньо перед збиранням. Площа рамки становила 0,1 м² (33,3x30,1). Після жнивні залишки обліковували відокремленою рамкою 1 м² (100x100 см), відразу після збирання. Кількість соломи, отриманої з урожаєм і заробленої в ґрунт, визначали методом пробного снопа. Розрахунок балансу гумусу здійснювали за Г. Я. Чесняком (1987).

Для виявлення впливу різних систем землеробства на біологічну активність чорнозему типового визначали: чисельність основних еколого-

трофічних груп мікроорганізмів – за методикою Д. Г. Звягінцева (1991) висіванням ґрунтової суспензії у чашки з селективним середовищем; коефіцієнт мінералізації та іммобілізації азоту – за Є. М. Мішустіним (1975); інтенсивність виділення ґрунтом вуглекислоти (CO_2) – методом В. І. Штатнова; целюлозоруйнівну здатність ґрунту – методом аплікації ляного полотна за Є. М. Мішустіним (1971); нітрифікаційну здатність ґрунту – за Кравковим; його ферментативну активність – за методикою Д. Г. Звягінцева (1991).

Вміст загального азоту в ґрунті визначали за К'ельдалем (ДСТУ ISO 11261:2001); нітратний і амонійний азот у сольовій ґрунтовій витяжці – відповідно, за Грандваль-Ляжу і з використанням реактиву Неслера; азот, що легко гідролізується – за методом Корнфілда; рухомий фосфор і обмінний калій – за Б. П. Мачигінім згідно з ДСТУ 4114–2002; баланс NPK розраховували за методикою І. Г. Захарченка (1977).

Дослідження фізичних та водно-фізичних властивостей ґрунту проводили на початку та в кінці вегетації за методами: структурно-агрегатний склад ситовим методом у модифікації Н. І. Савінова (ДСТУ 4744:2007); визначення щільності складання на суху масу – за ДСТУ ISO 11272:2001; твердість ґрунту – за ДСТУ 5093:2008; водопроникність ґрунту – з використанням приладу ПВН за методом Н. С. Нестерова; найменша вологоємність – методом заливних ділянок після визначення водопроникності; пористість ґрунту – розрахунковим методом; загальні та доступні запаси вологи у ґрунті, баланс вологи – розрахунковим методом на основі визначення вологості ґрунту (ДСТУ ISO 16586:2005).

Урожайність культур сівозміни визначали у стані технічної стиглості методом суцільного збирання з облікових ділянок з перерахунком на стандартну вологість та чистоту з кожного варіанта окремо; розрахунки продуктивності сільськогосподарських культур і загалом сівозмін у кормових одиницях здійснено за виходом основної і побічної сільськогосподарської

продукції на 1 га сівозмінної площі, яку перераховували – за таблицями М. Ф. Томе (1969).

Економічну ефективність систем удобрення та систем основного обробітку ґрунту розраховано за методичними рекомендаціями, складеними Ю. П. Маньком (2008); енергетичну ефективність – за методиками, описаними О. К. Медведовським, П. І. Іваненком (1988), Ю. О. Тараріко (2005); енергетичний баланс ґрунту – за допомогою енергетичних еквівалентів Ю. О. Тараріко (2005).

Статистичну оцінку даних проведено методами дисперсійного, кореляційного та регресійного аналізу за Б. О. Доспеховим. Для встановлення суттєвої різниці між варіантами встановити значення НІР на 95 % -ому рівні значимості.

Показники погодних умов протягом року визначено за даними метеослужби ВП АДС НУБіП України; типовість погодних умов за методикою Ю. П. Манька (2008) за показником коефіцієнта істотності відхилень K_i .

2.3. Агрокліматичні умови в роки проведення досліджень

Клімат Правобережного Лісостепу України – помірно-континентальний. За багаторічними даними теплозабезпеченість цієї території оцінюється такими показниками: середньорічна t повітря $+9,5^{\circ}\text{C}$. Сума активних температур за вегетаційний період коливається в межах $2844\text{--}2944^{\circ}\text{C}$, тривалість періоду із середньою добовою температурою повітря $>10^{\circ}\text{C}$ становити 185 днів. Абсолютний мінімум досягає -23°C , максимум $+35^{\circ}\text{C}$. Останні весняні приморозки закінчуються в III декаді квітня, перші осінні можливі в I-II декадах жовтня. Сніговий покрив з'являється у III декаді листопада або I декаді грудня і залишається постійним у середньому 115 днів. Перші осінні заморозки спостерігаються у II декаді жовтня, останні весняні у II-III декадах квітня. На безморозний період припадає до 46 % тривалості року.

Вологозабезпеченість території характеризується такими показниками: за період із середньодобовою температурою понад 5°C і 10°C випадає відповідно 400–450 і 250–300 мм опадів за річної норми 650 мм.

Узимку буває в середньому від 85 до 95 мм опадів, восени – нарівні 125–130 мм. За вегетаційний період випадає до 70 % атмосферних опадів, що повною мірою забезпечує ріст і розвиток вирощуваних культур сівозміни.

Осінь **2010 року** в цілому за температурним режимом була близькою порівняно до багаторічних даних у вересні й холоднішого у жовтні на 2,2°C. Сума опадів за осінні місяці виявилася нижчою від багаторічної норми у вересні на 14,2 мм, у жовтні на 8,9 мм, у листопаді на 22,3 мм, згаданий період видався посушливим. Зимовий період 2010–2011 рр. виявився неоднаковим. Грудень відзначився холодною погодою, із середньомісячною температурою на 1,0 °C нижчою від багаторічної норми. Лютий був холоднішим на 2,3°C від багаторічної норми. У січні і лютому опадів випало недостатньо, із показниками 8 % і 17 % від норми.

Весняний період **2011 року** відзначився нестачею опадів, проте теплою погодою. У березні опадів випало 16 % від норми. У червні переважала тепла погода з інтенсивними дощами. Середньомісячна температура повітря була вищою на 1,7°C. За сумою опадів за місяць випало 149 % від норми. Липень і серпень характеризувалися сухою погодою. Сума опадів за липень становила 92,7 мм, або 146 % від норми. Опадів за серпень випало менше на 5,1 % від багаторічної норми (табл. 2.8).

Осінь **2011 року** в цілому за температурним режимом була дещо холоднішою порівняно з багаторічними даними за рахунок листопада (табл. 2.9).

Таблиця 2.8

Середньомісячні суми опадів у період досліджень, Білоцерківська дослідна станція, НААН, 2010–2017 рр.

Рік	Місяць												За вегетаці ю	За рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
2010	0.8	44	20	42	47	53.9	210.2	37.6	29.7	26.7	14	24	440.3	549.3
2011	2.2	17	4.5	36	42.5	95.3	92.7	54	14.6	69	1.6	33	339.6	462.4
2012	41	29	21	65	31	61	52	104	29	77	38	116	363	664
2013	47	55	100	30	52	52	2.6	72.1	307	5.5	57	13	615.7	793.2
2014	35	7.7	20	56	118	77	93	78	39	14	31	32	451.0	570.7
2015	32	22	53	14	38	32	73	2.4	25	30	67	18	237.4	406.4
2016	46	44	22	67	108	9.1	4.6	35.1	10.6	159.8	37	32	256.4	575.2
2017	18	33	32	25	33	28	62	58	43	67.7	24	43	281	466.7
Серед- ньобага- торічна	27.5	35.9	27.2	30.5	41.4	63.7	63.3	56.9	43.9	35.6	36.3	41.2	318.2	466

Таблиця 2.9

**Середньомісячна температура повітря в період досліджень, Білоцерківська дослідна станція, НААН,
2010–2017 рр., °C**

Рік	Місяць												За вегета- цію	За рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
2010	−9.0	−3.5	+0.4	+9.8	+16.9	+21.1	+23.1	+23.6	+14.5	+6.0	+9.1	−4.1	15.6	9.0
2011	−3.0	−5.9	+1.0	+9.8	+15.7	+20.0	+21.5	+19	+14.6	+7.0	+2.1	+2.1	14.5	8.7
2012	−4.8	−11.4	+2.0	+11.8	+18.3	+20.1	+22.5	+19.8	+16.6	+10.1	+4.8	−5.5	15.9	8.7
2013	−4.5	−1.1	−2.0	+9.9	+18.5	+20.7	+19.3	+18.8	+12.5	+9.6	+6.7	−0.3	14.0	9.0
2014	−4.6	−1.0	+6.3	+9.8	+16.2	+17.2	+21.1	+20.5	+14.2	+6.7	+1.2	−2.8	15.0	8.7
2015	−0.8	−1.6	+4.5	+9.3	+16.3	+19.6	+21	+20.6	+17.9	+6.7	4.1	+1.6	15.6	9.9
2016	−5.9	+2.2	+4.1	+12.4	+14.7	+15.8	+20.8	+21.4	+16.4	+5.5	+1.4	−1.8	15.0	8.9
2017	−5.4	−3.4	+5.9	+10.3	+15.0	+19.7	+20.4	+21.8	+16.3	+8.5	+3.5	+1.7	15.6	9.5
Серед- ньобага- торічна	−3.9	−3.6	2.0	9,4	14.5	18.3	21.1	20.0	14.3	8.2	3.6	−3.1	15.1	8.4

Середня сума опадів (див. табл. 2.8) у вересні менша на 29,3 мм від багаторічної норми. Запаси доступної вологи в орному шарі ґрунту зменшили. Дощова погода у жовтні сприяла оптимальному росту і розвитку рослин пшениці озимої. У листопаді опадів випало лише 4,4 % від багаторічної норми. Середньодобова температура повітря у листопаді була нижчою на 2,5°C від норми. Грудень характеризувався теплим повітрям, середньодобова температура становила +2,1°C за норми –3,1°C.

Зимовий період **2012 року** відзначився достатньою кількістю опадів у січні, що на 149 % більше, у лютому на 81 % менше від норми. За температурним режимом січень характеризувався незначним похолоданням на –0,9°C від норми. Лютий виявився холодним місяцем, зниження температури становило на 7,8°C порівняно з багаторічною нормою.

Стійкий перехід температури повітря через 0°C, що свідчить про початок весняного режиму погоди, відбувся у III декаді березня. У квітні озимина, що перезимувала, почала відновлювати вегетацію. Це дозволило провести остаточну оцінку стану посівів. Жарка й суха погода травня прискорила розвиток пшениці озимої. Такі умови зумовили скорочення тривалості окремих етапів органогенезу пшениці. У цілому червень був теплим, із температурами, близькими до норми (20,1°C проти 18,3°C). Сума опадів за місяць неістотно відхилялося $K_i=0.04$ (дод. A1).

Липень видався жарким, із нерівномірним розподілом у часі та по території опадів. Середня місячна температура повітря була близькою до норми: 22,5°C проти 21,1°C.

Опадів у серпні випало 104 мм, або на 182 % більше від багаторічної норми. В осінній період температурний режим перевершував багаторічну норму. Так, температура повітря у вересні на 2,3°C, у жовтні на 1,9°C, у листопаді на 1,2 ° C перевищувала багаторічну норму.

Опади, що випали у вересні, було недостатньо, із показниками на 14.9 мм менше від норми. У жовтні їх випало істотно більше від норми $K_i=1.06$ (дод. A1).

Дефіциту опадів у листопаді не спостерігалось. Середня температура повітря у цей місяць була вищою на $1,2^{\circ}\text{C}$. У грудні спостерігалось зниження середньої температури повітря на $-2,4^{\circ}\text{C}$.

Аналіз метеорологічних показників вегетаційного сезону **2013 року** дозволяє стверджувати, що в цілому він характеризувався істотно більшою, порівняно з багаторічною нормою, кількістю опадів. На тлі низької до норми суми активних температур це зумовило істотне підвищення гідротермічного коефіцієнта (див. табл. 2.8, 2.9; дод. А2, А3)

Погодні умови **2014 року** загалом були сприятливі для вирощування культур. Середня температура повітря зимових місяців була нижчою за норму і становила у січні $-4,6^{\circ}\text{C}$ проти норми $-3,9^{\circ}\text{C}$, в лютому $-1,0^{\circ}\text{C}$ за норми $-3,6^{\circ}\text{C}$. Сніговий покрив і промерзання ґрунту виявилися незначними. Опадів у лютому випало недостатньо на 21 % від норми.

Весняний період погоди зі стійким переходом температури через 0°C у бік позитивних розпочався у середині березня. Сума опадів за березень становила 20 мм, що на 17 % менше від норми. Впродовж квітня відбулося інтенсивне нагромадження активних температур вище 10°C , сума яких на кінець місяця становила 159°C проти 226°C за норми (дод. А2). Тобто, теплозабезпеченість озимих і ярих культур була суттєво нижчою. Травень відзначився переважно теплою і вологою погодою. Середня місячна температура повітря була вищою на $1,7^{\circ}\text{C}$ від норми до $+16,2^{\circ}\text{C}$ (табл. 2.9). Опади випадали нерівномірно протягом місяця. Сума опадів за місяць становила 118 мм, або 285 % від норми.

Погода літнього періоду видалася теплою і дощовою. Температурний режим червня і липня істотно не відрізнявся від багаторічної норми. Опади впродовж літніх місяців були нерівномірними, різної інтенсивності, із сильними дощами. Червень і липень виявилися вологими. Так, за червень щодо кількості опадів відхилення були неістотними, $K_i=0,24$. Проте у липні опадів випало значно більше, ніж за попередній місяць. При цьому перевага була істотною, $K_i=1,15$ від багаторічної норми (дод. А1).

У серпні опадів випало 48 мм за норми 56,9 мм. Осінь видалася холодною. У вересні відхилення за кількістю опадів були неістотними, $K_i = -0.13$. У жовтні випало тільки 14 мм опадів, за норми 35,6 мм. За температурним режимом жовтень і листопад характеризувалися холодною погодою. Середня температура повітря у жовтні була на 22 %, у листопаді на 66,7 % нижчою від норми. У зимовий період 2015 року склалися сприятливі умови для перезимівлі озимих культур. Так, січень, лютий і березень виявилися теплішими: січень на 3.1°C , лютий на 2.6°C , березень на 4.3°C порівняно з багаторічною нормою. Сума опадів у березні становила 53 мм, що відповідає 195 % норми.

У травні утримувалася тепла стійка за температурним режимом погода. Хоча перша половина місяця була дещо холоднішою, тоді як друга – теплою.

Червень видався теплим і сухим. Середня місячна температура повітря була дещо вищою від норми. У липні випало 73 мм, опадів або 115 % місячної норми.

Упродовж серпня спостерігався дефіцит опадів – лише 2,4 мм або 4,2 % від місячної норми. У вересні опадів випало 25 мм, або 57 % місячної норми. Вересень був жарким, із середньою температурою повітря $+17,9^{\circ}\text{C}$, або 125 % від норми.

Жовтень виявився холодним і сухим. Опадів випало 30,0 мм. Середньомісячна температура повітря у жовтні була нижчою за норму на $1,5^{\circ}\text{C}$ і в абсолютному значенні становила $6,7^{\circ}\text{C}$.

Листопад був вологим, за місяць випало опадів 67 мм опадів, або 184 % місячної норми.

У цілому погодні умови **2015 року** слід визначити типовими для зони, із ГТК – 0.68. Погодні умови зимового періоду **2016 року** характеризувалися достатньою кількістю опадів у січні – на 167 %, у лютому – вищою на $1,4^{\circ}\text{C}$ порівняно із багаторічною нормою.

Весняний період погоди вирізнявся вирізняється достатньою кількістю опадів. Травень був екстремально вологим, $K_i = 2.07$ (дод. А1)

Температурний режим весняного періоду відзначився теплою погодою у березні вищою на $2,1^{\circ}\text{C}$, квітні – на $3,1^{\circ}\text{C}$, у травні – на $0,2^{\circ}\text{C}$ від норми.

Погодні умови літнього періоду за кількістю опадів можна вважати екстремальними. Так, опадів випало у червні 9,1 мм, або 14 % від норми, у липні – 4,6 мм, або 7.2 % від багаторічної норми, у серпні – 35.1 мм, або 62 % від норми, із K_i у червні $-1,0$, у липні $-2,27$, у серпні $-0,39$.

У червні й липні переважала прохолодна погода. Серпень характеризувався теплою погодою з недостатньою кількістю опадів, за неістотних відхилень (дод. А1). Осінній період розпочинався у вересні сухою і жаркою погодою. В цьому місяці опадів випало 24 % від норми, а середня температура повітря була вищою на 115 % від норми. Жовтень вирізнявся екстремально вологим ГТК=9.9 (дод. А3). Середня температура повітря жовтня була нижчою на $2,7^{\circ}\text{C}$, або 67 % від норми.

Погодні умови **2017 року** виявилися типовими для даної зони. У січні переважала холодна для цього періоду погода. Середньомісячна температура повітря була на (-1.5°C) нижчою за норму, опадів відзначено менше норми – 18 мм, або 65 %. Після встановлення зимового режиму погоди і появи снігу утворився стійкий сніговий покрив, що сприяло захисту посівів озимих зернових від зниження температури як у кінці січня, так і протягом лютого.

Незвичайно тепла погода утримувалася й упродовж березня і квітня. Протягом квітня опадів випало 67 мм, або 219 % від норми. Жарка погода спостерігалася у травні й червні, коли середньомісячні температури повітря відповідно на $0,5^{\circ}\text{C}$ і на $1,4^{\circ}\text{C}$ перевищували норму.

Травень і червень видалися сухими, опадів випало 80 % і 44 % місячної норми. У липні випала місячна норма. Середньомісячна температура повітря закінчення літа – початку осені була вищою до середньо-багаторічної норми.

Осінь характеризувалася помірно теплою погодою, відхилення від багаторічної норми були неістотними.

У цілому погодні умови 2017 року виявилися сприятливими для вирощування майже всіх сільськогосподарських культур. За вегетаційний

сезон спостерігалось зниження гідротермічного коефіцієнта, що вказує на посушливість умов для вирощування рослин, за ГТК=0.91 (дод. А3).

Висновки до розділу 2

1. Кліматична характеристика та ґрунтовий стан зони проведення досліджень вказують, на сприятливі умови вирощування більшості сільськогосподарських культур, вирощування яких передбачено схемами сівозмін у проведених дослідках.

2. Головними об'єктами досліджень були системи удобрення та заходи обробітку ґрунту, які є найбільш поширеними і перспективними в світовій практиці. Особливістю технологій вирощування культур в дослідках є спрямування їх змісту до раціонального використання ресурсів і екологізації виробництва шляхом мінімального використання синтетичних складових частин.

3. Погодні за роки досліджень характеризуються поглибленням проблем зони, що позначаються у нерівномірному розподілі опадів з підвищенням і більш тривалим проявом посухи. Підвищення середньодобової температури повітря, що є наслідком циклічних змін клімату, позначилось на продовженні вегетаційного періоду на 7–10 днів, особливо за рахунок вологої і теплої осені.

РОЗДІЛ 3

ДИНАМІКА ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ ЧОРНОЗЕМНОГО ҐРУНТУ ПІД ВПЛИВОМ ОБРОБІТКУ ТА ДОБРІВ

У складній системі природних сполук та антропогенних новоутворень, які формують ґрунт як цілісну екосистему, гумус виступає основним її елементом, здатним підтримувати екологічну рівновагу, визначати рівень природної та ефективної родючості ґрунтів. Стабільність ґрунтової системи значною мірою залежить від рівня забезпечення ґрунту органічною речовиною, її якісного складу та направленості процесів трансформації органічної речовини у ґрунті [10, 22, 132, 216, 249, 274, 345].

Дослідження останніх років свідчать, що рівень забезпечення ґрунтів України органічною речовиною залишається на критично низькому рівні, спричиняючи щорічні втрати гумусу в межах 0,6–1,0 т/га [63, 164, 386, 536]. Окультурення та інтенсивне використання ґрунтів призвело до утворення якісно відмінного гумусового комплексу, який характеризується меншою стійкістю до пептизації за умов підкислення ґрунтового розчину та має низьку здатність утворювати колоїди з високою поверхневою енергією. Наслідком цього стало погіршення агрофізичних та агрохімічних властивостей ґрунтів [32, 178, 181, 216].

За даними С. Ю. Булигіна, В. В. Дегтярова, С. В. Крохіна [63], Г. Я. Чесняка, О. А. Чесняк, А. Я. Степаненко [559], річні втрати гумусу з верхнього орного шару ґрунту під ярими зерновими культурами (пшениця, ячмінь, овес) становлять 0,5–0,6 т/га, пшеницею озимою – 0,7, горохом та кукурудзою – 1,0, буряками цукровими – 1,5 т/га. Більші втрати гумусу пов'язані з вирощуванням просапних культур – картоплі і цукрових буряків, які залишають після себе мінімальну кількість органічних решток [439]. Збільшення в сівозміні частки просапних культур на 10 % призводить до зростання втрат гумусу на 0,2–0,4 т/га [251, 559].

Зниження вмісту гумусу, як правило, зумовлюється двома причинами: внаслідок переваги мінералізації гумусу над його утворенням за рахунок

гуміфікації свіжих органічних речовин та внаслідок ерозії ґрунтів [157, 257]. Крім того, інтенсивність процесів перетворення органічних речовин у ґрунті залежить від низки факторів: системи удобрення [163, 196], способу обробітку ґрунту [372]. Вважають, що критичний вміст гумусу – 1,5 %, оптимальний для типових чорноземів – 4,5–5,0 % [57, 556].

У дослідженнях К. Загорчі [163] в інтенсивно розораних чорноземах вміст органічної речовини зменшувався. Так, за 22 роки ґрунт і шару 0–40 см втратив 17,5 т/га гумусу, або 13,1 %, за 25 років – 27,6 т/га, або 20,6 %. Щорічно мінералізація гумусу за перші 20 років становила 0,88 т/га або 0,65 %, у наступні 15 років – 0,67 т/га, або 50 % вихідного його запасу.

В умовах педосфери перетворення рослинних залишків відбувається переважно в напрямках утворення й накопичення сполук типу гумусових кислот; утворення простіших водорозчинних продуктів; повна мінералізація; консервування рослинних залишків [399].

Згідно з сучасними поглядами для кожного типу ґрунту в цілинному статусі характерні досить постійні величини гумусового стану, які сформувалися за сотні й тисячі років залежно від зони. Такий стан можна визначити як квазіклімаксний: надходження органічного вуглецю з надземними і кореневими залишками для них приблизно відповідає емісії вуглецю з ґрунту в атмосферу. Винос органічних речовин із низхідним водним потоком порівняно невеликий [368, 391]. Як тільки ґрунт розорюється і починається його систематичний обробіток (переведення природного ценозу в агроценоз), порушується рівновага між усіма факторами процесу ґрунтоутворення. За відносно короткий час (3–10 років) процес ґрунтоутворення переходить у новий рівноважний стан, характерний для такої екосистеми. Це не деградація, а нормальний його розвиток, що встановлюється під час різних антропогенних дій (удобрення, обробіток, тип сівозміни, зрошення і т.д.), якщо вони повторюються у часі [391, 482, 558]. На практиці втрати органічних речовин після розорювання цілини можуть бути досить істотними – до 30 і навіть 50 % [368, 476], але методично ці дані

вимагають досить зваженого коментування. У процесі такої швидкої втрати гумусу відбувається поступове, але досить явне зниження вмісту органічних речовин у ґрунті протягом кількох десятиріч. Отже, його вміст зменшується до нового стаціонарного рівня, який визначається знову встановленими абіотичними параметрами екосистеми [482].

За час досліджень органічних речовин ґрунту було запропоновано багато схем її класифікації [9]. Так, згідно із схемами Н.Ф. Ганжара [93] і Р. Тейт [482] у складі органічних речовин ґрунту виділяють дві різні за властивостями групи: 1) джерела надходження гумусу і продукти їх розкладання (детрит), які можна віднести до лабільних форм органічних речовин; 2) власне гумусові речовини специфічної природи, відносно стійкі до біодеградації, про що свідчить їхній вік – сотні й навіть тисячі років [608]. Вміст другої групи органічних речовин у ґрунті, яка в чорноземах становить 85–90 % – це лімітуючий фактор, що впливає на врожай [93]. Цим і пояснюється більш швидке зниження їх родючості порівняно із зменшенням вмісту органічних речовин.

Дегуміфікація орних земель охопила практично всі землеробські райони країни і стає глобальною проблемою сучасного землеробства.

Відомо, що втрати гумусу у ґрунті зумовлені двома причинами – ерозійними процесами і його мінералізацією. Ці два фактори діють спільно. Для правильного розуміння і добору відповідних заходів зменшення дегуміфікації важливо з'ясувати, який із цих факторів у тому чи іншому випадку став головним.

Механічний обробіток суттєво впливає на співвідношення процесів мінералізації і гуміфікації органічної речовини. Розпушування ґрунту, вільний доступ кисню до структурних агрегатів і пов'язана з цим інтенсивна мікробіологічна діяльність – явище, що не має аналога у природних умовах. Процес перетворення органічної речовини в розпушеному ґрунті втрачає акумуляційне спрямування і сприяє її інтенсивній мінералізації.

Щорічні втрати гумусу за сільськогосподарського використання чорноземів за період 30–40 років становили 0,8–1,0 % від загального вмісту в орному шарі, за 75 років – майже 2 % від маси ґрунту. В подальшому темпи мінералізації органічної речовини мають тенденцію до стабілізації, проте на більш низькому рівні. За 200 років спостережень чорноземні ґрунти втратили понад 3 % гумусу від маси ґрунту [98].

За А. І. Буджерак [57], О. А. Цюк [546], головними причинами втрат гумусу в розорюваних ґрунтах є не тільки інтенсивний механічний обробіток, підсилення мінералізації, відторгнення мінералізованого азоту ґрунту з урожаєм культурних рослин. Відторгнення азоту, якщо воно не компенсується внесенням добрив і бобовими культурами, призводить до втрат запасів гумусу. Автори вказують на значні втрати в орних ґрунтах продуктів мінералізації органічної речовини внаслідок інтенсивнішого розвитку біологічних процесів, вимивання й денітрифікації азоту, механічного «перемішування» («розбавлення») орного шару біднішим гумусом підорним горизонтом, а також в результаті процесів вітрової та водної ерозії.

Після розорювання цілинних ґрунтів і наступного їх використання як орних земель процеси мінералізації органічної речовини переважають над процесами гуміфікації. Як наслідок, ґрунти збіднюються гумусом, що стає головною причиною зниження родючості під впливом механічного обробітку ґрунту. Ряд дослідників вважали проведення полицевого обробітку ґрунту небажаним, оскільки знижується вміст гумусу [582].

Найважливішими факторами, які призвели до зміни гумусованості чорноземів, зазначають кількість і якість органічного матеріалу, що надходить у ґрунт, значне збільшення аерації внаслідок обробітків та підвищення мінералізації гумусових речовин у результаті підвищення біологічної активності ґрунту [102, 366].

Від способів обробітку залежить розподіл у ґрунті рослинних залишків і добрив. За даними Н.Н. Тарарико [476], за полицевого обробітку корені й

післязбиральні рештки рослин перемішуються з ґрунтом оброблюваного шару більш рівномірно, ніж за безполицевого обробітку. У шарі 0–10 см за оранки виявлено 43–50 %, за безполицевого обробітку – 69–70 % коренів від загальної кількості в шарі 0–40 см. У своїх публікаціях В.М. Круть [226] відзначає, що беззмінний обробіток без обороту сприяє зосередженню основної маси рослинних залишків у шарі 0–10 см (59–78 %), за оранки – більше у шарі 10–20 см (38–59 %), а це завдає істотного впливу на процеси гуміфікації і мінералізації органічної речовини.

Проводячи дослідження А. Д. Балаєв, О. Л. Тонха [24] встановили, що за 10-річний період без внесення органічних добрив у чорноземах відбулося зниження запасів гумусу. Проте, якщо на полях із полицевим обробітком за цей час щорічні втрати гумусу – 0,77, то за плоскорізного обробітку – 0,49 т/га, сповільнення темпів його мінералізації становило 36 % порівняно з оранкою.

Науковцями кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів НУБіП на чорноземах типових встановлено, що зниження вмісту гумусу відбувається за інтенсивного полицевого обробітку без застосування добрив, що пояснює його високу мінералізацію та ерозійні втрати. Безполицеві обробітки, особливо мінімальні, сприяли накопиченню в ґрунтах органічної речовини. При цьому відзначено збільшення вмісту як лабільного гумусу, так і детриту. В складі гумусу досліджуваних ґрунтів за мінімального обробітку зменшився вміст фульворечовин, розширилося співвідношення $C_{ГК}:C_{ФК}$ і збільшився вміст негідролізуємих органічних сполук [487].

За безполицевого обробітку зменшується чисельність аеробних целюлозоруйнуючих бактерій, що призводить до зниження мінералізації органічної речовини ґрунту [221]. Зміни співвідношення між активністю поліфенолоксидаз і пероксидаз показником інтенсивності мінералізації гумусу; за плоскорізного обробітку у верхній частині орного шару чорнозему підвищується активність поліфенолоксидози, нижній – пероксидази, що

стимулює гуміфікацію у верхньому 0–10 см шарі та накопичення в ньому гумусу [98].

У праці Н. Н. Іванова [183], з'ясовані причини диференціації орного шару за рівнем родючості. Ним показано, що в процесі диференціації високий рівень ефективної родючості формується у верхньому шарі ґрунту. За даними Е. Н. Мішустіна [323], тут значно інтенсивніше відбувається і процес гуміфікації. Якщо ґрунт не обертати, то із верхнього шару в нижні виділяються шкідливі для рослин продукти життєдіяльності мікроорганізмів, тому слід підняти на поверхню нижні малородючі шари для їх поліпшення. Після переміщення верхнього горизонту орного шару на місце нижнього, рослини інтенсивніше використовують елементи родючості.

На основі цих праць було визначено, що ґрунту слід надавати гетерогенної будови кореневмісного шару, з переважанням факторів родючості в нижніх його частинах. Показником високородючого ґрунту є наявність потужного відносно гомогенного окультуреного кореневмісного шару.

Багато дослідників вважають, що полицевий обробіток слід проводити періодично. Прихильники цього напряму стверджують, що щорічне проведення полицевого обробітку викликає активну мінералізацію органічної речовини ґрунту, а для її уповільнення рекомендують поєднання полицевого та безполицевого обробітку ґрунту в сівозмінах.

Дослідами кафедри землеробства та гербології (НУБіП України) встановлено, що оранку слід чергувати з безполицевим та поверхневим обробітками ґрунту у сівозміні [292].

При цьому Ю. П. Манько [291] рекомендує поєднання обертання ґрунту раз у 4–5 років із безполицевими його обробітками в сівозміні. Автор вважає, що свіжа органічна речовина, перемішана з ґрунтом верхнього шару, повинна бути переміщена в нижню частину оброблюваного шару. В результаті повільного розкладу органічної речовини, за малого доступу повітря, збільшується гумусонакопичення в 2–2,5 раза.

На думку Л. І. Нікіфоренко [341], локалізація гумусонакопичення у верхньому шарі за плоскорізного обробітку зумовлює слабку їх гуміфікацію і збільшує втрати органічної речовини. Автор відзначає, що збереження гумусу і накопичення органічної речовини у верхньому шарі за плоскорізного обробітку сприяє захисту від ерозії. Це, на його переконання, й визначає значення безполицевого обробітку, як ґрунтозахисного заходу.

Аналізуючи дані впливу обробітку на вміст органічної речовини в ґрунті, можна стверджувати, що більшість дослідників схильні до того, що інтенсивний обробіток ґрунту і, особливо систематичний полицевий, не забезпечує збереження гумусу, вміст якого знижується. З метою зменшення мінералізаційних процесів у ґрунті все більше застосовують мінімальний та безполицевий обробіток у сівозміні.

Щодо дії добрив на вміст гумусу в ґрунті, то в літературі зустрічаються досить суперечливі дані: від високопозитивного [132, 368] до неістотного [257], а в окремих випадках і негативного [208]. Ступені спрямованості змін у ґрунті зумовлені дозою [196], типом сівозміни [531], способом його обробітку [72]. Деякі вчені [132, 208] зниження втрат гумусу на 4–12 % зв'язують із застосуванням фізіологічно кислих добрив.

Втрати гумусу особливо збільшуються під впливом застосування середніх і підвищених норм мінеральних добрив. За даними Б.С. Носко [352], нормативне застосування добрив за біологізованого землеробства зменшило запаси гумусу в шарі 0–60 см у чорноземі типовому на 4 % за 13 років після розорювання, а застосування інтенсивної системи землеробства (мінеральні добрива в нормі $N_{120}P_{120}K_{120}$ – на 11 %.

За дослідженнями М. К. Шикули [571], застосування органічних добрив одночасно з мінеральними сприяє уповільненню швидкості втрати гумусу. У праці С. П. Танчика [474] також відзначається, що при застосуванні екологічної системи землеробства протягом 8 років збільшується вміст гумусу в чорноземі типовому на 6–8 % по відношенню до біологічної системи.

Як встановили І. В. Русакова, Н. А. Кулінський [426], на варіантах біологізованих агротехнологій трофічний режим ґрунтів збіднений, а формування врожаю відбувається за рахунок мінералізації гумусу ґрунту. Це підтверджується високою чисельністю целюлозорозкладаючих нітрифікуючих мікроорганізмів. У таких умовах відзначається зниження вмісту гумусу в ґрунті від 3,0 до 2,5 %, а коефіцієнт гуміфікації (0,19) недостатній для поповнення запасів гумусу.

На варіантах, де вносили органічні добрива (80 т/га за 10 років) трофічний режим у ґрунті поліпшився. За незмінного показника напруженості мінералізаційних процесів створюються більш сприятливі умови для процесів гуміфікації ($K_r = 0,21-0,22$), запаси гумусу підтримуються на одному рівні, а за внесення 120 т гною – підвищуються.

Поєднане внесення 80 т/га гною і $N_{480}P_{360}K_{360}$ доцільніше як з позиції формування врожаю, так і з позиції збереження гумусу. За таких умов забезпечується його бездефіцитний баланс.

Внесення лише мінеральних добрив $N_{480}P_{360}K_{360}$ не сприяє зростанню гуміфікації рослинних залишків. На цьому варіанті коефіцієнт гуміфікації найнижчий низький (0,12), а запаси гумусу зменшується [373].

Як встановила Л.І. Акентєва [7] на чорноземах звичайних, баланс гумусу за ротацію семипільної ґрунтозахисної сівозміни за органо-мінеральної системи удобрення був позитивний. При цьому за оранки додатково утворилося 6,5 т/га гумусу, за ґрунтозахисної – 5,4 т/га, що сприяло збільшенню його вмісту в 0–30 см шарі відповідно на 0,12 і 0,14 %. За мінеральної системи удобрення відзначалися втрати гумусу за ротацію на 6,4 і 7,9 т/га, а його кількість порівняно з вмістом за органо-мінеральної системи знизився на 0,09 і 0,11 %.

За визначеннями В. І. Турусова [496], на чорноземах без добрив і недостатньому їх внесенні вміст гумусу в ґрунті знижується як за оранки, так і за плоскорізного обробітку і тим значніше, чим більше просапних культур у сівозміні, а також за систематичного застосування гербіцидів.

У проведених дослідженнях баланс гумусу в сівозміні за органо-мінеральної системи удобрення був позитивний: на тлі оранки додатково утворилося 6,0 т/га гумусу, за плоскорізного – 5,4 т/га [52].

Разом із тим, В. М. Польовий [396] із співробітниками встановив, що найзначніше гумусонагромадження в орному шарі забезпечує внесення 17 т/га гною + $N_{58}P_{69}K_{75}$ + $1_n CaCO_3$ – 1,21 % порівняно з чисто органічним та органо-мінеральним (гній + $N_{58+96}P_{69-115}K_{75-125}$) агрофонами – 0,97–1,11 %.

Відтворення органічної речовини ґрунту залежить від вихідного його вмісту, особливостей кліматичних умов регіону і рівня агрокультури. Так, у чорноземах із низьким вмістом гумусу (2,6–2,8 %) у бурякових сівозмінах не відбувається подальшого зниження запасів органічної речовини ґрунту. Такий вміст гумусу в чорноземних ґрунтах легкосуглинкового гранулометричного складу наближається до мінімального, за якого в ґрунті зберігаються лише найбільш стійкі до розкладу, міцно пов'язані з мінеральною частиною органічних з'єднань [335].

У чорноземах із вмістом гумусу до 4 % спад органічної речовини залежно від структури сівозміни (від 30 до 60 % просапних культур) підвищується за 10-річну ротацію на біологічному агрофоні до 0,18–0,40 %, що становить 0,7–1,2 т/га в рік, а за 5–6 % гумусу досягає 1,2–1,3 т/га в рік, навіть за 30 % насиченості просапними культурами.

Резюмуючи раніше викладене, можна констатувати, що до заходів стабілізації вмісту гумусу в орних ґрунтах відносяться: позитивний баланс поживних речовин в сівозміні; вирощування багаторічних трав і післяжнивних культур, внесення органічних добрив, правильне чергування культур у сівозміні, відповідний обробіток ґрунту. Цими заходами можна суттєво вплинути на напрям біохімічних процесів і регулювати вміст і якість органічної речовини в ґрунті.

Отже, турбота про підвищення родючості насамперед повинна виражатися в заходах із відтворення гумусу. Вирішення цієї проблеми нерозривно пов'язане з веденням землеробства, складовою частиною якого

виступають технології вирощування сільськогосподарських культур, що являють собою комплексне поєднання систем обробітку ґрунту, добрив і захист рослин. При цьому дуже важливо визначити умови оптимального поєднання цих систем в агроценозах з метою припинення дегуміфікації.

3.1. Надходження у ґрунт органічних речовин

Розв'язання проблеми збільшення виробництва продукції землеробства, поліпшення її якості та охорона навколишнього середовища від забруднення значною мірою залежить від рівня окультурення ґрунту. До основних показників, що характеризує цей рівень, відноситься забезпечення ґрунту поживними речовинами та вміст у ньому гумусу. Наука про родючість орних земель та її відновлення становить теоретичну основу наукового землеробства.

Свіжа органічна речовина, що надходить у ґрунт з побічною продукцією сприяє збільшенню частки маси біологічно зв'язаного азоту, впливає на агрофізичні властивості ґрунту, зниження рівня кислотності і підвищення його буферності. Відомо, що використання побічної продукції культур, яка заробляється у ґрунт, являє собою ефективний захід у боротьбі з переущільненням, яке характерне для безструктурних автоморфних ґрунтів, здатних до запливання [283, 423, 483, 506].

За джерело поповнення гумусу в орних землях слугують різного виду органічні добрива: гній, компости, торф, зелені добрива, солома та ін. Поряд з органічними добривами ще одну групу органічних речовин, які надходять до ґрунту, складають кореневі залишки і післяжнивні рештки сільськогосподарських культур. Водночас органічні залишки не можна розглядати тільки як джерело елементів живлення, оскільки за умов інтенсивного землеробства виокремлюються інші, більш важливі його функції, зокрема забезпечення сприятливих фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунту [284].

Безполицеві обробітки істотним чином змінюють характер надходження у ґрунт рослинних залишків вирощуваних культур порівняно з полицевим обробітком. Так, після проведення глибокого розпушування безполицевими знаряддями знаходилося 50–70 %, за мілкою обробітку із щільованням – 60–80, за полицевого – їхня маса не перевищувала 5–8 % [103]. Така закономірність підтвердилася в дослідженнях О. І. Циліорик [541], який встановив, що після безполицевих обробітків на поверхні ґрунту залишається до 85 % рослинних залишків попередньої культури. Полицевими обробітками основна їхня кількість заробляється на глибину 15–25 см, тоді як за поверхневого – змішується з шаром 0–10 см.

Істотна різниця в оброблюваному шарі спостерігалася і в розподілі негуміфікованих рослинних залишків. Після 6-річного застосування безполицевих обробітків їхня кількість у шарі 0–5 см досягала 36–44, за полицевого – 26–38 % від вмісту в шарі 0–30 см. Стосовно всього оброблювального шару, то за безполицевого – негуміфікованих рослинних залишків було на 4–12 % більше, ніж за полицевого обробітку.

Збагачення поверхневого шару ґрунту свіжим органічним матеріалом на варіантах обробітку ґрунту зумовлено не тільки характером розподілу післяжнивних решток, а й особливостями формування кореневою системою рослин. Як показали дослідження, проведені в стаціонарному досліді десятипільної сівозміни, за різноглибинного мілкою обробітку коренева система вирощуваних культур більшою мірою, ніж за диференційованого обробітку, зосереджена у верхньому шарі ґрунту (табл. 3.1). Отже, за мілкою різноглибинного обробітку у верхній (0–15 см) шар більше потрапляє органічних залишків кореневого походження. Якщо врахувати, що в цей шар систематично вносяться органічні добрива, то можна констатувати факт зміни характеру надходження свіжої органічної речовини в ґрунт на цьому обробітку, порівняно з контролем.

Таблиця 3.1

**Розподіл коренів сільськогосподарських культур за профілем ґрунту залежно від систем обробітку ґрунту, ц/га
(2012–2014 рр.)**

Шар ґрунту, см	Люцерна			Пшениця озима			Буряки цукрові		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
0–5	9,9	10,0	10,6	8,9	9,3	9,7	5,8	5,9	8,2
5–15	14,3	13,2	18,1	17,4	17,0	20,0	14,3	15,0	14,9
15–25	8,6	9,1	8,5	7,7	8,0	6,7	10,3	11,2	8,7
25–40	8,0	8,0	8,2	5,2	5,3	4,8	6,5	6,4	6,2
0–40	40,8	42,0	45,4	39,2	38,1	41,2	36,9	37,5	38,0

Примітки:

I – Диференційований (контроль).

II – Полицево-безполицевий.

III – Мілкий різноглибинний обробіток.

Німецький вчений з проблеми родючості ґрунтів Курт Рауе справедливо зазначає, що збагачення ґрунту на гумус повинно ототожнюватися з відновленням цінності ґрунту. Втрата гумусу, навпаки, означає знецінення ґрунту, спад родючості, зменшення врожайності або, в усякому разі, втрата гарантованого врожаю.

За даними А. М. Платонова [387], кількість рослинних залишків залежить від способу вирощування культур і фону удобрення. Мінеральні добрива збільшують їх надходження до ґрунту на 6,5–15 %. Насиченням сівоzmіни проміжними культурами до 50 % збільшують надходження таких на 24,4–41,7 %.

Разом із тим Ф. І. Левін [255] зазначає, що кількість органічних речовин, яка надходить до ґрунту за рахунок рослинних залишків у рамках сівоzmіни – як найменшої одиниці культурного ландшафту, так і адміністративного поділу, буде визначатися структурою посівних площ сільськогосподарських культур, їх продуктивністю, а також умовами вирощування.

На основі узагальнених багаторічних даних П. І. Бойко [47] зазначає, що внесення добрив і обробіток ґрунту неоднаково позначаються на продуктивності культур у різних сівоzmінах і залежить від концентрації окремих культур та місця їх у сівоzmіні. Найбільш стабілізуючим чинником урожайності культур виступає внесення добрив, потім впровадження сівоzmін і, нарешті, обробіток ґрунту. Вирішення таких кардинальних питань землеробства, як регулювання родючості ґрунту і пов'язаної з ним урожайності потребує тривалих стаціонарних досліджень як кліматичних, так і ґрунтових умов України.

У зоні Правобережного Лісостепу України згадані вище дослідження певною мірою відображають існуючий стан у землеробстві. Однак комплексних багаточинникових досліджень щодо системної взаємодії (сівоzmіни, внесення добрив, обробіток ґрунту) та їх впливу на родючість чорнозему, продуктивність культур у сівоzmіні, якість продукції та охорону

довкілля в Україні небагато, а в центральному Лісостепу вони практично відсутні.

Нами проведено багаторічні комплексні польові і лабораторні дослідження впливу основних факторів екологізації на збагачення ґрунту біомасою рослин і його родючість у сівоzmіні.

Отримані результати польових досліджень показали, що кількість кореневих залишків і післяжнивних решток у полях сівоzmіни була різною (табл. 3.2). Серед культур сівоzmіни найбільше нагромаджує їх у шарі ґрунту 0–30 см люцерна та кукурудза. На варіанті мілкого різноглибинного обробітку ґрунту нагромадження повітряно-сухої маси мало тенденцію до зниження. На варіанті полицево-безполицевого обробітку ґрунту за рахунок взаємного переміщення горизонтів орного шару ґрунту створювалися найбільш сприятливі умови для розвитку кореневої системи рослин, внаслідок чого відзначено тенденцію до збільшення кількості органічних залишків ґрунту, порівняно з контролем.

Застосування компостування у нормі 4,5 т/га та повного мінерального добрива за ротацію сівоzmіни в орному шарі ґрунту нагромадилося 7,4 т/га повітряно-сухих органічних залишків. При внесенні половини дози мінеральних добрив та застосуванні компостування виявлено тенденцію до зниження кількості органічної маси в орному шарі ґрунту на всіх варіантах обробітку, що пояснюється, перш за все, меншою кількістю нерозкладених післяжнивних решток культур.

На органічному фоні удобрення за умов біологізації землеробства (компост 4,5 т/га) істотно знизили надходження повітряно-сухих органічних залишків порівняно з варіантами органо-мінерального удобрення на 0,6–1,1 т/га. В полях польової сівоzmіни до орного шару ґрунту надходила в середньому за сім років така кількість кореневих та післяжнивних органічних решток, т/га: люцерни на 3 укоси – 13,3; люцерни 2 укоси – 7,8; пшениці озимої – 6,8; буряків цукрових – 4,5; ячменю – 5,0; сої – 2,5; кукурудзи на силос – 8,2; соняшнику – 3,9 повітряно-сухої органічної маси.

Таблиця 3.2

**Нагромадження корневих залишків та післяжнивних решток в орному (0–30 см) шарі ґрунту культурами
сівозміни, т/га абсолютно-сухої маси (2011–2017 рр.)**

Обробіток ґрунту	Система удобрення	Культури сівозміни										На 1 га сівоз- мінної площі
		лю- церна	лю- церна	пше- ниця	буряки цук- рові	яч- мінь	соя	пше- ниця	куку- рудза на силос	пше- ниця	со- няш- ник	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Диференційований (контроль)	Компост 4,5 т/га	13,1	7,4	7,5	4,3	4,9	2,4	6,1	7,6	6,1	3,7	6,3
	Компост 4,5 т/га N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	15,4	9,3	8,1	5,2	5,5	2,7	7,1	9,3	6,7	4,8	7,4
	Компост 4,5 т/га N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	14,1	8,1	7,8	5,0	5,4	2,5	6,7	8,7	6,3	4,3	6,9
Полицево- безполицевий	Компост 4,5 т/га	13,6	7,9	8,3	4,4	4,9	2,4	6,8	8,7	6,4	3,9	6,7
	Компост 4,5 т/га N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	15,9	9,5	9,0	5,4	5,8	2,8	7,3	9,8	7,0	5,0	7,7
	Компост 4,5 т/га N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	15	8,4	8,7	5,2	5,4	2,6	6,9	9,1	6,6	4,5	7,2
Мілкий різноглибинний	Компост 4,5 т/га	11,3	7,2	7,5	3,9	4,7	2,4	5,9	7,2	5,9	3,1	5,9
	Компост 4,5 т/га N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	14,7	8,6	8,5	4,4	5,3	2,8	7,1	8,8	6,7	4,2	7,1
	Компост 4,5 т/га N ₆₀ P ₄₈ K ₅₄	13,4	1,1	8,3	4,3	4,9	2,7	6,8	7,9	6,2	3,5	5,9

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Середнє по обробітку ґрунту	Диференційов. (контроль)	12,7	7,5	7,8	4,2	4,9	2,4	6,2	7,9	6,1	3,6	6,3
	Полицево- безполицевий	15,3	9,1	8,6	5,0	5,5	2,7	7,2	9,3	6,8	4,7	7,4
	Мілкий різноглибинний	14,1	8,1	8,3	4,8	5,2	2,6	6,8	8,6	6,3	4,1	6,9
Середнє по системі удобрення	Компост 4,5 т/га	12,7	7,5	7,8	4,2	4,9	2,4	6,2	7,9	6,1	3,6	6,3
	Компост 4,5 т/га N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	15,3	9,1	8,6	5,0	5,5	2,7	7,2	9,3	6,8	4,7	7,4
	Компост 4,5 т/га N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	14,1	8,1	8,3	4,8	5,2	2,6	6,8	8,6	6,3	4,1	6,9

Отже, на основі проведених досліджень встановлено, що на чорноземному ґрунті центрального Лісостепу України способи обробітку, збалансовані за кількістю поживних елементів системи удобрення та сівозмінний чинник не впливали істотно на зміну кількості залишеної рослинами в орному шарі ґрунту органічної маси.

Крім основних культур, у польовій сівозміні вирощували культури проміжних посівів на зелене добриво та заробляли побічну продукцію основних, що становлять важливу статтю додаткового надходження органічних речовин до орного шару ґрунту (табл. 3.3).

Важливим чинником надходження до ґрунту органічної маси виступає використання соломи зернових культур, гички буряків цукрових, стебел соняшнику.

Використання редьки олійної на сидеральну масу впродовж років досліджень формувало надземну масу, яка тісно корелює з кількістю підземної. За застосування варіанта компост 4,5 т/га $N_{80}P_{96}K_{108}$ до ґрунту надходило на 29 % більше повітряно-сухої органічної маси, ніж при органічній системі удобрення. Надходження та заробка сидеральної маси у ґрунт на варіанті компост 4,5 т/га $N_{40}P_{48}K_{54}$ становило 3,1 т/га. За органічної системи удобрення надходження у ґрунт соломи зернових культур, гички буряків цукрових, стебел соняшнику відзначено на рівні 2,4 т/га повітряно-сухої органічної маси.

У полях пшениці озимої після збирання врожаю зерна залишалося за роки досліджень після люцерни 5,0 т, після сої – 3,8 т, після кукурудзи на силос – 3,6 т/га повітряно-сухої органічної маси, що пов'язано з формуванням різної урожайності пшениці після цих попередників. У полях ячменю, сої, соняшнику після збирання врожаю залишалося в середньому 2,4; 1,9; 3,0 т/га відповідно повітряно-сухої органічної маси.

Варіант полицево-безполицевого обробітку ґрунту сприяє більшому надходженню соломи до ґрунту порівняно з диференційованим та мілким обробітком. Ця закономірність простежується в усіх полях сівозміни.

Таблиця 3.3

**Нагромадження соломи зернових, гички стебел соняшнику і біомаси проміжних посівів в орному (0–30 см) шарі
грунту, т/га повітряно-сухої маси (2011–2017 рр.)**

Обробіток ґрунту	Система удобрення	Культиури сівозміни								Серед- не	На 1 га сівоз- мінної площі
		пше- ниця після люцер- ни	пше- ниця після сої	озима куку- рудза на силос	ячмінЬ	соя	со- няш- ник	буряки цук- рові	редька олійна		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Диференційовани й (контроль)	Компост 4,5 т/га	4,7	3,4	3,4	2,4	1,7	2,8	2,2	2,8	2,9	2,3
	Компост 4,5 т/га N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	5,3	4,4	4,0	2,8	2,2	3,9	2,8	3,8	3,6	2,9
	Компост 4,5 т/га N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	5,0	4,0	3,6	2,8	1,9	3,4	2,7	3,4	3,3	2,7
Полицево- безполицевий	Компост 4,5 т/га	5,5	4,1	3,7	2,4	1,7	3,0	2,3	3,0	3,2	2,6
	Компост 4,5 т/га N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	6,1	4,5	4,3	3,0	2,4	4,1	2,9	4,0	3,9	3,1
	Компост 4,5 т/га N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	5,9	4,2	3,9	2,7	2,1	3,6	2,8	3,6	3,6	2,9
Мілкий різноглибинний	Компост 4,5т/га	4,7	3,2	3,2	2,2	1,7	2,2	2,0	2,2	2,7	2,1
	Компост 4,5 т/га N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	5,7	4,4	4,0	2,6	2,5	3,3	2,3	3,0	3,5	2,8
	Компост 4,5 т/га N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	5,5	4,1	3,5	2,4	2,3	2,6	2,2	2,4	3,1	2,5

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Середнє по обробітку ґрунту	Диференційов. (контроль)	5,0	3,9	3,7	2,7	1,9	3,4	2,6	3,3	3,3	2,6
	Полицево-безполицевий	5,8	4,3	3,9	2,7	2,0	3,6	2,7	3,5	3,6	2,9
	Мілкий різноглибинний	5,3	3,9	3,6	2,4	2,1	2,7	2,2	2,5	3,1	2,5
Середнє по системі удобрення	Компост 4,5 т/га	5,0	3,6	3,4	2,3	1,7	2,7	2,2	2,7	2,9	2,4
	Компост 4,5 т/га N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	5,7	4,4	4,1	2,8	2,3	3,7	2,7	3,6	3,7	2,9
	Компост 4,5 т/га N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	5,5	4,1	3,7	2,6	2,1	3,2	2,6	3,1	3,3	2,7

За умов біологізації землеробства проміжні культури на сидерат займають 30 % сівозмінної площі, кількість органічної маси, що надходить до орного шару ґрунту, в середньому становить 2,8 т/га повітряно-сухої органічної маси. За роки досліджень на варіанті компост 4,5 т/га і $N_{80}P_{96}K_{108}$ надійшло в орний шар ґрунту 3,6 т/га повітряно-сухої маси.

Кореневі залишки, післяжнивні рештки, побічна продукція (солома, стебла, гичка) та зелена маса редьки олійної служать важливим джерелом поповнення необхідних для росту й розвитку рослин поживних речовин. За рахунок біомаси сидеральної культури, соломи і стебел зернових культур, гички буряків цукрових до орного шару ґрунту надходить така ж кількість органічної маси, як після вирощування основних культур сівозміни.

Таким чином, у десятипільній сівозміні за умов застосування компост 4,5 т/га і $N_{80}P_{96}K_{108}$ нагромадження органічних залишків в орному шарі ґрунту більше на 0,3 т, ніж на варіанті компост 4,5 т/га і $N_{40}P_{48}K_{54}$. Системи основного обробітку суттєво не впливали на нагромадження органічних залишків в орному шарі ґрунту.

3.2. Вміст і запаси гумусу

Органічна речовина в ґрунті знаходиться під впливом протилежно направлених процесів: процесу синтезу гумусу і процесу мінералізації, що зумовлено різним вмістом гумусу та антропогенним навантаженням [129].

Саме тому, при порушенні згаданих процесів у ґрунті відбувається зміна вмісту гумусу, разом із цим вмісту азоту та інших елементів живлення рослин.

Природна рівновага процесів гумусоутворення порушується при розорюванні цілинних перелогових земель під час сільськогосподарського використання [120].

Розташування органічної речовини на поверхні та у верхній частині оброблюваного шару ґрунту справляє суттєвий вплив на хід і напрям процесів гуміфікації. Дослідження, виконані в короткоротаційній сівозміні

показали, що застосування безполицевого обробітку протягом п'яти років призвело до перерозподілу гумусу в 0–40 см шарі ґрунту (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Вміст і запаси гумусу в короткоротаційній сівозміні (2012–2016 рр.)

Обробіток ґрунту, А	Шар ґрунту, см	Удобрення на 1 га сівозмінної площі, В			
		4,5 т/га компост – фон		Фон + N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	
		%	т/га	%	т/га
Полицевий обробіток (контроль)	0–15	3,87	69,6	3,81	68,6
	15–25	3,84	46,8	4,05	49,4
	25–40	3,21	58,7	3,33	60,9
	0–40	3,63	177,0	3,69	180,0
Безполицевий обробіток	0–15	3,99	171,8	4,32	77,7
	15–25	3,81	46,5	3,69	45,0
	25–40	3,15	57,6	3,33	61,0
	0–40	3,54	172,7	3,78	184,4
Мілкий безполицевий обробіток з одночасним щільюванням	0–15	3,99	71,8	4,73	85,1
	15–25	3,39	40,7	3,93	47,2
	25–40	3,18	57,0	3,21	57,8
	0–40	3,54	169,9	3,96	193,0
НІР ₀₅ обробіток ґрунту		0,09			
НІР ₀₅ удобрення		0,15			
НІР ₀₅ шар ґрунту		0,34			

У варіанті з безполицевого обробітку по фоні удобрення компостом вміст гумусу в шарі 0–15 см збільшився на 0,03 %, тоді як на глибині 15–25 см і в підорному шарі, навпаки, зменшився на 0,11 і 0,02 % порівняно з варіантом, де в сівозміні проводили оранку. Проте запаси гумусу в цих варіантах не змінилися й становили для 0–40 см 177,0 т/га. Перерозподіл гумусу відзначається і у варіанті мілкого безполицевого обробітку, де зниження його вмісту в шарі 15–25 см виявилось дещо більшим. Це відбилося на запасах гумусу, які в шарі 0–40 см становили 169,9 т/га і були на 7 т меншими, ніж за полицевого і безполицевого обробітку ґрунту. Більш істотна різниця за вмістом і запасами гумусу, залежно від системи обробітку ґрунту, спостерігається на фоні сумісного внесення компосту і мінеральних добрив. У шарі 0–15 см безполицевий обробіток ґрунту сприяв підвищенню

вмісту гумусу на 13 %, а мілкий різноглибинний обробіток із щілюванням – на 24 % порівняно із полицевим обробітком. У нижній частині орного й в підорному шарі перевагу мав варіант, де проводили оранку. Проте ця перевага була менш виражена, ніж за безполицевого різноглибинного обробітку і мілкого безполицевого із щілюванням – тільки на 4,4 і 13 т/га більше, ніж за оранки.

Отже, тривале застосування мілкого різноглибинного обробітку із щілюванням у поєднанні із внесенням органо-мінеральних добрив викликає перерозподіл гумусу по профілю чорнозему типового і сприяє підвищенню його запасів.

У досліді, в десятипільній сівозміні, вміст гумусу в орному шарі на початку ротації сівозміни коливався в межах 3,7–3,82 % (табл. 3.5). На сьомий рік проведення дослідів на ділянках, де добрив не вносили, вміст гумусу зменшився до 3,63–3,81 %. У варіанті диференційованого обробітку заданий показник зменшився на 0,07 %, у варіанті, де полицевий обробіток чергувався із безполицевим, зниження становило 0,03 %.

За даними М. А. Туєва [495], мікробіологічні процеси гуміфікації рослинних залишків ячменю та люпину відбуваються активніше за безполицевого обробітку ґрунту, ніж за оранки, тоді як процеси мінералізації – навпаки: розкладання залишків за оранки становить 59–68 %, коефіцієнт гуміфікації – 14,8 %, за мінімального обробітку на глибину 10 см – відповідно 44–58 і 16 %. Менший вміст гумусу в ґрунті за оранки деякою мірою можна пояснити більш активним розвитком автохтонних мікробів, що здатні використовувати вуглець і азот гумусу.

Внесення компосту в нормі 4,5 т/га сівозмінної площі забезпечило стабілізацію вмісту гумусу у варіанті з диференційованим обробітком. Чергування в сівозміні оранки з безполицевим обробітком сприяло підвищенню вмісту гумусу на 0,03 %. Значно ефективнішим виявився вплив компосту на фоні обробітку ґрунту без перевертання скиби. В цьому випадку відзначається істотне збільшення вмісту гумусу на 0,09 і 0,12 %.

Істотне підвищення вмісту гумусу виявлено за спільного внесення компосту і мінеральних добрив.

Таблиця 3.5

**Вплив систем обробітку ґрунту та удобрення на вміст гумусу
в шарі 0–30 см, %**

Удобрення на 1 га сівозмінної площі	Варіант обробітку ґрунту		
	диференційова- ний (контроль)	полицево- безполицевий	мілкий різноглибинний
Початковий вміст гумусу, 2011 р.			
Без добрив	3,7	3,69	3,82
Вміст гумусу, 2017 р.			
Без добрив	3,63	3,66	3,81
Компост 4,5 т	3,7	3,71	3,91
Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	3,74	3,77	4,06
Компост 6 т + N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	3,72	3,75	3,87
НІР ₀₅ для удобрення	0,04		
НІР ₀₅ для обробітку	0,07		

За диференційованого і полицево-безполицевого обробітку ґрунту на фоні компосту з мінеральними добривами в нормі N₄₀P₄₈K₅₄ вміст гумусу збільшився на 0,04 і 0,06 %. Значнішим його показник спостерігався за мілкого різноглибинного.

Доведення норми мінеральних добрив до N₈₀ P₉₆ K₁₀₈ на фоні компосту не забезпечує подальше збільшення вмісту гумусу в ґрунті. Підвищення згаданого показника виявилось меншим і у варіанті диференційованого обробітку становило 0,02, тоді як за мілкого різноглибинного – на 0,11 %. Пояснюється це наростанням кислотності, диспергацією гумусу катіонами добрив, змінами напряму біохімічних процесів у ґрунті.

Як стверджує Я. П. Цвей [525], застосування високої норми добрив N₉₂P₁₀₂K₁₁₈ за ротацію сівозміни підвищувало мінералізацію органічної

речовини відповідно до середньої норми добрив, тому втрачалося з орного шару 0,12 %, з підорного – 0,08 % гумусу.

Важливим у роботі було з'ясувати зміни вмісту гумусу під культурою сівозміни протягом вегетації (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

**Вміст гумусу чорнозему типового в (0–30 см) за вирощування
буряків цукрових, % (2013–2017 рр.)**

Обробіток грунту, А	Варіант удобрення, В	На початок вегетації		На кінець вегетації	
		%	до конт- ролю, ±, %	%	до конт- ролю, ±, %
Диференційований (контроль)	Без добрив	3,77	0	3,74	0
	Компост 4,5 т	3,90	3,4	3,86	2,3
	Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	3,85	2,1	3,88	2,9
	Компост 4,5 т + N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	3,80	0,79	3,77	0,8
Полицево- безполицевий	Без добрив	3,82	1,3	3,80	1,6
	Компост 4,5 т	3,91	3,7	3,88	2,9
	Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	3,88	2,9	3,86	2,3
	Компост 4,5 т + N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	3,82	1,3	3,84	2,6
Мілкий різноглибинний	Без добрив	3,83	1,6	3,80	1,6
	Компост 4,5 т	3,92	3,9	3,90	4,2
	Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	3,92	3,9	3,82	2,1
	Компост 4,5 т + N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	3,86	2,4	3,85	2,9
НІР ₀₅ А		0,02		0,04	
НІР ₀₅ В		0,04		0,07	

Проведені дослідження показали, що вміст гумусу в ґрунті під впливом варіантів досліду протягом вегетаційного періоду істотно не змінювався. Слід зазначити, що за внесення компосту 4,5 т/га сівозмінної площі на початку вегетації спостерігалася тенденція його збільшення на 0,4 % відносно контролю. За застосування компосту 4,5 т/га + N₄₀P₄₈K₅₄ відбулося

накопичення гумусу, але в меншій кількості, ніж за внесення компосту 4,5 т/га сівозмінної площі. На кінець вегетації буряків цукрових вказані тенденції зберігалися, проте були виражені меншою мірою.

У дослідженнях Л. А. Борштейна, І. С. Шкаредного, В. М. Якименка [28] застосування 7,5 т/га гною + $N_{50}P_{66}K_{66}$ на чорноземі типовому вилугуваному в зерно-просапній сівозміні підвищило вміст гумусу в орному шарі на 0,13 %.

Системи основного обробітку ґрунту також не мали між собою істотної різниці. За застосування мілкового різноглибинного обробітку ґрунту простежується лише тенденція до збільшення вмісту гумусу.

Зважати на здатність впливати на ґрунт (підкислення ґрунтового розчину, пептизуюча дія на ґрунтові колоїди), підвищені норми мінеральних добрив суттєво змінюють напрям біохімічних процесів і не забезпечують гуміфікацію, достатню для суттєвого накопичення гумусу. Окрім того, високі норми мінеральних добрив зумовлюють переміщення гумусу в глибину ґрунту.

Отже, як свідчать одержані дані, внесення компосту, соломи, поживних сидератів одночасно з мінеральними добривами позитивно впливав на вміст і запаси гумусу в ґрунті та являє собою ефективний захід відтворення гумусу в чорноземах типових Лісостепу України (див. табл. 3.6). Такої думки дотримується ряд учених [547].

Результати досліджень щодо впливу систем удобрення та обробітку ґрунту на запаси гумусу наведено в таблиці 3.7.

За проведення аналізом, при застосуванні компосту 4,5 т + $N_{40}P_{48}K_{54}$ запаси гумусу в чорноземі типовому за п'ять років збільшилися на 2,0 т/га порівняно з варіантом компост 4,5 т + $N_{80}P_{96}K_{108}$.

Суттєве підвищення запасів гумусу в орному шарі ґрунту відзначено за мілкового різноглибинного обробітку ґрунту на 5,5 т/га порівняно з диференційованим обробітком і на 4 т/га порівняно з полицево-безполицевим обробітком. За диференційованого обробітку ґрунту запаси гумусу були

найнижчими в середньому 140 т/га, за полицево-безполицевого – 141 т/га, за мілкого різноглибинного – 145,5 т/га. Найвищі запаси гумусу за мілкого різноглибинного пов'язані з тим, що за цього обробітку показники щільності ґрунту вищі, ніж за диференційованого.

Таблиця 3.7

**Запаси гумусу чорнозему типового в (0–30 см) за вирощування
буряків цукрових в орному (0–30 см) шарі ґрунту, т/га (2013–2017 рр.)**

Обробіток ґрунту, А	Варіант удобрення, В	На початок вегетації		На кінець вегетації	
		запас, т/га	до КОНТ- ролю, ±, %	запас, т/га	до КОНТ- ролю, ±, %
Диференційований (контроль)	Без добрив	138	0	137	0
	Компост 4,5 т	143	3,6	141	2,9
	Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	141	2,2	142	3,6
	Компост 4,5 т + N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	139	0,72	138	0,7
Полицево- безполицевий	Без добрив	140	1,5	139	1,4
	Компост 4,5 т	143	3,6	142	3,6
	Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	142	1,4	141	2,9
	Компост 4,5 т + N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	140	1,5	140	2,2
Мілкий різноглибинний	Без добрив	143	3,6	142	3,6
	Компост 4,5 т	147	6,5	146	6,6
	Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	147	6,5	143	4,4
	Компост 4,5 т + N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	145	5,0	144	5,1
НІР ₀₅ А		F _ф <F ₀₅		3,0	
НІР ₀₅ В		F _ф <F ₀₅		5,0	

Процеси накопичення мінерального азоту в ґрунті та його іммобілізація залежать від співвідношення в біомасі валового вуглецю й азоту (C:N). Період розкладання рослинних залишків кореневої системи і соломи зернових культур суцільної сівби з широким співвідношенням – C:N = 35:1 – 50:1 досить тривалий і супроводжується іммобілізацією азоту ґрунту. Однак

протейни рослинних залишків розкладаються швидко, з виділенням у ґрунт мінерального азоту. Власне тому у досліді зафіксовано значне підвищення запасу гумусу.

Втрати гумусу за сільськогосподарського використання ґрунтів відбуваються під впливом біологічного фактора – внаслідок переважання процесів мінералізації гумусу над його новоутворенням і під впливом механічного фактора – за рахунок зменшення потужності ґрунтового профілю під впливом ерозійних процесів.

Розміри втрат гумусу внаслідок його мінералізації залежать від багаторічної сумарної дії добрив, обробітку ґрунту, сівозмін, надходження органічних речовин та інтенсивності їх гуміфікації під впливом гідротермічних і ґрунтових факторів.

Проведені дослідження вказують на існуючу залежність вмісту гумусу від цілого ряду інших показників родючості ґрунту, зокрема щільності ґрунту та загальної пористості. Ці показники значно впливають на загальний вміст гумусу в ґрунтах та процеси мінералізації – гуміфікації.

Зменшення вмісту гумусу за варіанта компост 4,5 т/га сівозмінної площі + $N_{80}P_{96}K_{108}$, зростання показників щільності ґрунту на цьому варіанті і, як наслідок, зменшення загальної пористості негативно впливають на процеси ґрунтоутворення та особливо на збереження й накопичення органічної речовини ґрунту. Дегуміфікаційні процеси підсилюються діяльністю гетеротрофної мікрофлори ґрунту, яка за відсутності надходжень органічної речовини використовує гумус як джерело енергії. Разом із тим, запаси гумусу за внесення компосту 4,5 т + $N_{80}P_{96}K_{108}$ на 1 га сівозмінної площі не істотно відрізняються від варіанта за внесення компосту 4,5 т, компост 4,5 т + $N_{40}P_{48}K_{54}$ на 1 га сівозмінної площі (див. табл. 3.7). Це можна пояснити вищою щільністю ґрунту за внесення повного мінерального добрива, ніж на варіанті застосування органічного добрива. Причому згаданий показник є вирішальним під час проведення розрахунків.

Зміна показників загального вмісту гумусу ґрунтів виступає певним критерієм, що відображає напрям перебігу процесів ґрунтоутворення та гумусонакопичення. На нашу думку, між щільністю ґрунту і загальним вмістом гумусу, а також загальною пористістю існує середній обернений взаємозв'язок. Коефіцієнт кореляції для щільності становить $r = -0,54$, для пористості $r = -0,62$. Чим більший показник загального вмісту гумусу в ґрунті, тим менший показник щільності ґрунту і тим вища загальна пористість (див. табл. 3.5).

На варіанті із внесенням 284 кг мінеральних добрив на фоні 4,5 т компосту на 1 га сівозмінної площі вплив добрив на вміст гумусу виявився малоефективним. На цьому варіанті спостерігалися майже однакові запаси гумусу порівняно з органічною системою удобрення протягом п'яти років досліджень. Отже, високі норми мінеральних добрив, навіть за спільного внесення із компостом, не забезпечують підвищення запасів гумусу в ґрунті [133]. Їх застосування може підсилювати мінералізацію органічної речовини ґрунту.

3.3. Баланс органічної речовини гумусу в ґрунті

Органічна речовина ґрунту – це складна система сполук, яка включає в себе розкладені рослинні й тваринні залишки, гумусові, неспецифічні речовини (вуглеводи, жири, органічні речовини і т. п.), а також мікроорганізми і продукти їх життєдіяльності. Основною її складовою виступають гумусові речовини, частка яких досягає 85–90 %, і вони становлять одну з форм глобальної акумуляції органічної речовини та енергії в природі.

Розкриваючи значення органічної речовини і гумусу ґрунту, Л. М. Александрова [10] відзначала, що вони слугують не тільки запасними джерелами всіх елементів живлення рослин, а й регуляторами найважливіших фізико-хімічних і біохімічних властивостей ґрунтів та

зумовлюють водно-повітряний і поживний режими у будь-якій природній зоні.

Значимість органічних речовин, як інтегрального показника рівня родючості ґрунту, визначає необхідність прогнозування його балансу. У дослідженнях використані методичні підходи до розрахунку балансу гумусу в полях сівозміни, запропоновані Г. Я. Чесняком [162]. Згідно з цією методикою визначають кількість органічних речовин, що надходить до ґрунту і значною мірою залежить від культур, які вирощують, їх врожаю, технології збирання і використання рослинних залишків.

У результаті проведених дослідів запропоновано кілька розрахункових методів визначення балансу гумусу в ґрунті. В основу одного з них покладений баланс азоту в системі рослина – ґрунт – добрива [267].

Таким методом визначають вміст азоту у рослинах, і методика його добре відома. Метод ґрунтується на припущенні, що 50 % азоту, який поглинається рослинами, виноситься при розкладі гумусу. А оскільки азоту у гумусі міститься близько 5 %, то можна привести в однозначну відповідність вміст азоту в рослинах і втрати у ґрунті під певною рослиною.

Це пояснюється насамперед великою розбіжністю вмісту азоту в гумусі (3–6 %), з огляду на що помилка в 1 % у значенні вмісту азоту зумовлює помилку у значенні втрат гумусу того ж порядку, що й самі втрати. Для більш точної оцінки балансу гумусу можна використати статтю приходу – включення продуктів розкладу органічних решток у гумусові речовини гумусу (за рахунок рослин і органічних добрив) і витратну статтю – мінералізацію гумусу ґрунтів.

Нагромадження гумусу і загального азоту в процесі ґрунтоутворення визначається біокліматичними умовами, за яких формується ґрунт. За даними В. П. Кузьмичова [238], вміст гумусу у верхніх шарах ґрунту має тісний зв'язок з його запасами в усьому гумусовому профілі (коефіцієнт кореляції цих показників становить 0,96–0,80).

Процес гуміфікації і розкладання органічних залишків залежить від співвідношення C:N у складі їх органічних речовин. У залишках конюшини воно становить 12–25:1, картоплі – 14–20:1, кукурудзи – 30–40:1, гірчиці – 35–40:1, зернових – 40–50:1. При цьому відношення C:N у коренях більшості культур, за винятком картоплі, менше, ніж у стерні. Так, у соломі злакових культур воно знаходиться на рівні 70–100. Оптимальним, за якого гуміфікація залишків решток відбувається найбільш повно, вважається співвідношення C:N, що становить 15–25:1.

Як важливий прийом поліпшення умов утворення гумусу, який в Україні використовується недостатньо, слід вказати поєднання сидерату проміжних культур з органічною масою з ширшим співвідношенням C:N (солома зернових культур, кукурудзи, корені злакових трав та ін.), а також комбінування його із гноєм, гноївкою [158, 274, 306, 336].

Оцінці включення продуктів розкладу органічних залишків у гумусові речовини повинно передувати визначення кількості їх надходження в ґрунт. В орних ґрунтах надходження органічних залишків коливається в значних межах і залежить від культур, які вирощують, їх врожаю, технології збирання і використання післяжнивних решток. Масу решток визначали експериментально за методикою Н. З. Станкова [315], одержані представлено у підрозділі 3.1.

Для розрахунку кількості новоутвореного гумусу з рослинних залишків і гною користувалися відповідними коефіцієнтами гуміфікації за Г. Я. Чесняком [162], що показують кількість новоутвореного гумусу.

Величину новоутвореного гумусу розраховували для кожного поля і загалом на ротацію сівозміни. Утворення гумусу за рахунок гною визначали множенням кількості внесеного гною на кількість гумусу, що може утворитися за внесення 1 т цього добрива [315].

Витрати гумусу в ґрунті за ротацію сівозміни визначали сумою розмірів його мінералізації під окремими культурами сівозміни [162].

Баланс гумусу розраховували за різницею між масою новоутвореного

від корневих залишків і післяжнивних решток, органічних добрив і масою мінералізованого під час вирощування.

Із використанням згаданої методики на основі матеріалів експериментальних досліджень на чорноземі типовому стаціонарного досліду були проведені розрахунки балансу органічної речовини гумусу в польовій сівозміні (додатки Б.1, Б.2, Б.3).

Як показали розрахунки балансу гумусу в польовій сівозміні за мінеральної системи удобрення, внесення у полях люцерни, пшениці озимої, кукурудзи на силос, компосту по 15 т/га забезпечувало найбільший коефіцієнт гуміфікації органічних речовин порівняно з іншими її полями – в середньому за сім років відповідно 3,85, 2,84 і 2,42 т/га. Менше утворилося гумусу в орному (0–20 см) шарі ґрунту в полях буряків цукрових – 1,75 т/га, соняшнику – 2,01 т/га (табл. 3.8).

Значна частина гумусу піддається мінералізації. Із загальної кількості (26,65 т/га) новоутвореного гумусу в середньому за роки ротації сівозміни мінералізувалося 2,62 т/га. Однак загальний баланс гумусу за мінеральної системи удобрення позитивний і загалом у сівозміні становить +0,40 т, або 0,04 т на 1 га сівозмінної площі.

За орґано-мінеральної системи удобрення набагато активніше відбуваються процеси гуміфікації органічних речовин в орному шарі ґрунту, де внесено 8,1 т/га органічних добрив, враховуючи соломі злакових та гичку буряків цукрових, стебла соняшнику, зелену масу сидеральних капустяних культур, із внесенням 141 кг д.р. мінеральних добрив (табл. 3.9).

За розрахунками, внаслідок гуміфікації післяжнивних решток і корневих органічних залишків у середньому на 1 га сівозмінної площі за орґано-мінеральної системи удобрення утворилося 1,6 т гумусу, за рахунок компосту – 4,5 т, за рахунок соломи зернових, стебел соняшнику – 2,12 т, зеленої маси культур проміжного вирощування і гички – 1,44 т.

Таблиця 3.8

**Надходження органічних залишків і баланс гумусу в чорноземі типовому
за вирощування культур десятипільної сівозміни за мінеральної системи удобрення (2011–2017 рр.)**

№ поля	Культура сівозміни	Врожайність, т/га	Надходження органічних речовин і утворення гумусу, т/га												Утворилося гумусу всього, т/га	Мінералізувалося гумусу, т/га	Баланс, (±) т/га
			органічні залишки	K _{гуміф.} залишки	утворилося гумусу із залишків	компост	K _{гуміф.} компосту	утворилося гумусу з компосту	солома, стебла	K _{гуміф.} соломи	утворилося гумусу із соломи	сидерати, гичка	K _{гуміф.} сидерату, гички	утворилося гумусу із сидератів та гички			
1	Люцерна	63	15,3	0,25	3,82										3,82	3,52	–0,3
2	Люцерна	35	9,0	0,25	2,25										2,25	1,96	+0,29
3	Пшениця озима	6,0	8,5	0,2	1,7				5,7	0,20	1,14				2,84	1,84	+1,0
	Редька олійна	18	4,2	0,15	0,63							3,6	0,15	0,54	1,17	0,40	+0,77
4	Буряки цукрові	64	5,0	0,1	0,50	15	0,056	0,84				2,7	0,15	0,41	1,75	4,60	–3,7
5	Ячмінь	4,7	6,6	0,22	1,4				2,8	0,22	0,62				2,0	1,22	+0,78
	Редька олійна	16	3,1	0,15	0,46							3,2	0,15	0,48	1,15	1,73	–0,58
6	Соя	2,5	2,7	0,23	0,62				2,3	0,23	0,53				0,95	0,42	+0,53
7	Пшениця озима	4,7	6,1	0,2	1,2				4,4	0,20	0,88				2,1	1,44	+0,66
	Редька олійна	15	3,7	0,15	0,56							3,0	0,15	0,45	1,0	0,34	+0,66
8	Кукурудза на силос	70	9,3	0,17	1,6	15	0,056	0,84							2,42	4,54	–2,12
9	Пшениця озима	4,3	6,7	0,2	1,3				4,1	0,20	0,82				2,17	1,31	+0,86
	Редька олійна	14	3,6	0,15	0,54							2,8	0,15	0,42	0,96	0,31	+0,65
10	Соняшник	3,2	4,6	0,14	0,65	15	0,056	0,84	3,7	0,14	0,52				2,01	2,62	–0,61
Разом у сівозміні			88,4		17,3	45		2,52	23		4,51	15,3		2,3	26,65	26,25	+0,40
На 1 га сівозмінної площі			8,8		1,73	4,5		0,25	2,3		0,45	1,53		0,23	2,66	2,62	+0,04

Таблиця 3.9

**Надходження органічних залишків і баланс гумусу в чорноземі типовому
за вирощування культур десятипільної сівозміни за органо-мінеральної системи удобрення (2011–2017 рр.)**

№ поля	Культура сівозміни	Врожайність, т/га	Надходження органічних речовин і утворення гумусу, т/га												Утворилося гумусу всього, т/га	Мінералізувалося гумусу, т/га	Баланс, (±) т/га
			органічні залишків	K _{гуміф.} залишків	утворилося гумусу із залишків	компост	K _{гуміф.} компосту	утворилося гумусу з компосту	солома, стебла	K _{гуміф.} соломи	утворилося гумусу із соломи	сидерати, гичка	K _{гуміф.} сидерату, гички	утворилось гумусу із сидератів та гички			
1	Люцерна	56	13,7	0,25	3,42										3,42	3,14	+0,28
2	Люцерна	30	8,2	0,25	2,05										2,05	1,68	+0,37
3	Пшениця озима	5,5	8,0	0,2	1,6				5,5	0,20	1,1				2,7	1,69	+1,01
	Редька олійна	15	4,0	0,15	0,6							3,0	0,15	0,45	1,05	0,40	+0,65
4	Буряки цукрові	59	2,0	0,1	0,2	15	0,056	0,84				3,1	0,15	0,46	1,5	4,25	–2,75
5	Ячмінь	4,2	5,1	0,22	1,12				2,6	0,22	0,57				1,69	1,08	+0,61
	Редька олійна	14	5,0	0,15	0,75							2,8	0,15	0,42	1,17	0,37	+0,47
6	Соя	2,1	2,5	0,23	0,58				2,1	0,23	0,48				1,06	1,45	–0,39
7	Пшениця озима	4,1	6,5	0,2	1,3				4,1	0,20	0,82				2,12	1,26	+0,86
	Редька олійна	13	4,1	0,15	0,62							3,1	0,15	0,47	1,09	0,34	+0,75
8	Кукурудза на силос	61	8,3	0,17	1,41	15	0,056	0,84							2,25	3,94	–1,69
9	Пшениця озима	3,7	6,1	0,2	1,22				3,7	0,20	0,74				1,96	1,14	+0,82
	Редька олійна	12	3,84	0,15	0,57							2,4	0,15	0,36	0,93	0,26	+0,67
10	Соняшник	2,7	4,1	0,14	0,57	15	0,056	0,84	3,2	0,14	0,45				1,86	2,21	–0,35
Разом у сівозміні			81,4		16,0	45		2,52	21,2		4,16	14,4		2,16	24,84	23,2	–1,64
На 1 га сівозмінної площі			8,1		1,6	4,5		0,25	2,12		0,42	1,44		0,22	2,48	2,32	+0,16

Таблиця 3.10

**Надходження органічних залишків і баланс гумусу в чорноземі типовому
за вирощування культур десятипільної сівозміни за органічної системи удобрення (2011–2017 рр.)**

№ поля	Культура сівозміни	Врожайність, т/га	Надходження органічних речовин і утворення гумусу, т/га												Утворилось гумусу всього, т/га	Мінералізувалось гумусу, т/га	Баланс, (±) т/га
			органічні залишків	K _{гуміф.} залишків	утворилось гумусу із залишків	компост	K _{гуміф.} компосту	утворилось гумусу з компосту	солома, стебла	K _{гуміф.} соломи	утворилось гумусу із соломи	сидерати, гичка	K _{гуміф.} сидерату, гички	утворилось гумусу із сидератів та гички			
1	Люцерна	51	12,6	0,25	3,15										3,82	2,85	+0,3
2	Люцерна	28	7,4	0,25	1,85										2,25	1,57	+0,28
3	Пшениця озима	5,3	7,7	0,2	1,54				5,0	0,20	1,0				2,84	1,63	+0,91
	Редька олійна	14	1,9	0,15	0,28							2,7	0,15	0,40	1,17	0,31	+0,37
4	Буряки цукрові	52	4,2	0,1	0,42	15	0,056	0,84				2,2	0,15	0,33	1,75	3,74	–2,15
5	Ячмінь	3,9	4,8	0,22	1,06				2,3	0,22	0,51				2,0	1,0	+0,57
	Редька олійна	12	1,9	0,15	0,29							2,7	0,15	0,40	1,15	1,24	–0,56
6	Соя	1,8	2,3	0,23	0,53				1,7	0,23	0,39				0,95	0,26	+0,66
7	Пшениця озима	3,8	6,2	0,2	1,24				3,6	0,20	0,72				2,1	1,16	+0,80
	Редька олійна	12	2,0	0,15	0,3							2,7	0,15	0,41	1,0	0,26	+0,45
8	Кукурудза на силос	56	7,8	0,17	1,32	15	0,056	0,84							2,42	3,62	–1,89
9	Пшениця озима	3,6	6,0	0,2	1,2				3,4	0,20	0,68				2,17	1,10	+0,94
	Редька олійна	11	3,1	0,15	0,46							2,2	0,15	0,33	0,96	0,24	+0,55
10	Соняшник	2,3	3,6	0,14	0,51	15	0,056	0,84	2,7	0,14	0,38				2,01	1,89	–0,16
Разом у сівозміні			71,5		14,15	45		2,52	18,7		3,68	12,5		1,87	22,22	20,88	+1,06
На 1 га сівозмінної площі			7,15		1,41	4,5		0,25	1,87		0,37	1,25		0,19	2,22	2,09	+0,11

Загальна кількість новоутвореного гумусу за орґано-мінеральної системи удобрення в сівозміні досягає 24,84 т/га, 23,2 т/га зазнали мінералізації, баланс органічної речовини гумусу позитивний із показником 0,16 т на 1 га сівозмінної площі.

За органічної системи удобрення набагато активніше відбуваються процеси гуміфікації органічних речовин в орному шарі ґрунту, де, як з на орґано-мінеральній системі удобрення, внесено 7,62 т/га органічних добрив на 1 га сівозмінної площі (табл. 3.10).

Одержані результати засвідчили, що за роки досліджень у сівозміні внаслідок гуміфікації післяжнивних решток та корневих органічних залишків у середньому на 1 га сівозмінної площі утворилося 1,41 т гумусу, за рахунок компосту – 0,25 т, за рахунок соломи зернових культур і стебел соняшнику – 0,37 т, зеленої маси культур проміжного вирощування – 0,19 т.

Загальна кількість новоутвореного гумусу в сівозміні за органічної системи становить 22,22 т/га, з них 20,88 т/га зазнали мінералізації, баланс органічної речовини гумусу позитивний і становить 0,11 т на 1 га сівозмінної площі.

Найвищі показники за рівнем збагачення ґрунту на гумус виявились у полях люцерни, пшениці озимої і кукурудзи на силос, де надійшла найбільша кількість органічних залишків за рахунок внесення компосту, рослинних і післяжнивних решток, соломи та сидерату. Отже, в середньому по сівозміні за орґано-мінеральної системи кількість гумусу в орному шарі ґрунту збільшувалася на 0,12 т, на орґано-мінеральній – 0,06 т на 1 га сівозмінної площі порівняно до мінеральної системи.

3.4. Груповий склад гумусу

За теорією гуміфікації тип гумусу залежить від умов його формування (ґрунтово-кліматична зона, склад, вік і густота насадження, ступінь розвитку трав'янистого покриву). Проте ув'язати склад і властивості гумусу з

нинішніми біокліматичними показниками не цілком коректно, оскільки органічна частина ґрунту формується протягом сотні років [145].

Кількість гумусу та його якісний склад відображають екологічний стан ґрунту [369]. Агрохімічні чинники суттєво впливають на склад гумусових сполук ґрунту, змінюючи в ньому запаси загального вуглецю, вміст рухомих фракцій, стійкість до біологічної деструкції [275]. Груповий склад гумусу являє собою прямий наслідок процесів трансформації органічної речовини, що тісно пов'язана із системою удобрення сільськогосподарських культур [272]. Так, Д. С. Орлов і Л. О. Гришина груповий склад гумусу відносять до найважливіших показників, які характеризують гумусний стан ґрунту [369].

У процесі нагромадження гумусу утворюються високомолекулярні гумусні кислоти, які багато дослідників вважають одними з найважливіших складових ґрунту, що значно відрізняються за своєю природою і властивостями [390, 617].

Різні джерела літератури неоднаково трактують вплив удобрення на фракційний склад гумусу ґрунту. Одні дослідники відзначають, що як фізіологічно лужні, так і кислі мінеральні добрива негативно впливають на вільні та нещільно зв'язані з R_2O_3 гумінові та фульвокислоти за рахунок зростання у складі гумусу рухомих фракцій і спрощення структури гумусових кислот [107]. Інші вказують на позитивний вплив мінеральних, і особливо органічних добрив на гумусний стан ґрунтів, а також їх енергоємність [449].

В одних дослідженнях тривале внесення гною на чорноземі звичайному підвищувало вміст гумінових кислот ГК–2 і ГК–3 та зменшувало рівень ГК–1. Спільне застосування органічних і мінеральних добрив і, особливо, внесення лише мінеральних добрив підвищувало вміст ФК–2 і ФК–3 [343]. Дослідники [517] відзначають формування більшою мірою низькомолекулярних органічних сполук типу фульвокислот під впливом мінеральних добрив. Інші дослідження вказують на пропорційне підвищення вмісту гумінових і фульвокислот внаслідок тривалого і систематичного внесення добрив [567].

Проведені упродовж п'яти років дослідження показали, суттєвих змін групового складу гумусу на варіантах дослідів не відбулося (табл. 3.11). У витяжку пірофосфату із лугом переходить 50–54 % вуглецю від його загального вмісту в ґрунті. У складі гумусу гумінові речовини (ГР) переважають над фульво-речовинами (ФР) у співвідношенні $C_{г.р}:C_{ф.р.}$, відповідно 1,7–1,88, яке практично не змінюється під впливом вивчених факторів.

Таблиця 3.11

Склад гумусу чорнозему типового залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту (2012–2016 рр.)

Удобрєння на 1 га сївозмїнної площї	С загаль- ний у грунті, %	ГР	ФР	ГР+ФР	ГР/ФР
		С, % до загального С ґрунту			
Диференційований (контроль)					
Без добрив	1,72	32,6	19,2	51,8	1,7
Компост 4,5 т	1,76	32,4	18,0	50,4	1,8
Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	1,78	33,4	18,4	51,8	1,81
Компост 4,5 т +N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	1,77	32,9	17,9	50,8	1,8
Полицево-безполицевий					
Без добрив	1,77	32,3	18,5	50,8	1,7
Компост 4,5 т	1,78	32,7	18,4	51,1	1,8
Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	1,79	32,8	18,2	51,0	1,8
Компост 4,5 т +N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	1,80	32,9	18,2	51,1	1,8
Мїлкий безполицевий рїзноглибинний					
Без добрив	1,75	33,9	19,4	53,3	1,7
Компост 4,5 т	1,79	33,8	18,3	52,1	1,8
Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	1,81	34,5	18,7	53,2	1,85
Компост 4,5 т +N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	1,79	33,2	18,3	51,5	1,8
Середнє по системї удобрення					
Без добрив	1,74	32,9	19,0	51,9	1,7
Компост 4,5 т	1,77	32,9	18,2	51,2	1,8
Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	1,79	33,5	18,4	52,0	1,82
Компост 4,5 т +N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	1,78	33,0	18,1	51,1	1,8
Середнє по обробїтку ґрунту					
Диференційований	1,75	32,8	18,4	51,2	1,77
Полицево-безполицевий	1,78	32,7	18,3	51,0	1,77
Мїлкий безполицевий	1,78	33,8	18,7	52,5	1,78
НІР ₀₅ для удобрення	0,03	0,40	0,21		
НІР ₀₅ для обробїтку	0,03	0,48	0,33		

Варто зазначити, що на варіанті мілкового різноглибинного безполицевого обробітку фактичний вихід гумусових речовин вищий, ніж за диференційованого обробітку. У витяжку за мілкового безполицевого обробітку переходить 0,87–0,91, за диференційованого – 0,82–0,87 % вуглецю гумусових речовин із розрахунку на сухий ґрунт. При цьому вміст гумусових речовин становить 0,55–0,60 % і 0,58–0,59 % відповідно. Підвищення цього показника вказує на тенденцію поліпшення складу гумусу за мілкового різноглибинного безполицевого обробітку ґрунту в сівозміні. Використання компосту 4,5 т на 1 га сівозмінної площі і помірної дози мінеральних добрив ($N_{39}P_{48}K_{54}$) збагачувало гумус фракціями гумінових кислот [552]. Поліпшувалась якість гумусу, тип гумусоутворення набув ознак гуматного, у складі гумусу збільшувався відносний вміст вуглецю – 1,81 %, розширювалося співвідношення $C_{г.р}:C_{ф.р}$ до 1,85 порівняно з мінеральною системою удобрення. Використання нетоварної частини врожаю, сидеральних культур у поєднанні з помірною нормою мінеральних добрив надає можливість поліпшити якісний склад гумусу чорноземів типових.

Тривале застосування основного обробітку ґрунту призводить і до певних змін якісних показників гумусових речовин. Так, під впливом обробітку ґрунту в елементному складі гумінових кислот і фульвокислот зменшується частка водню і збільшується – вуглецю, що поряд із збільшенням оптичної щільності та більшою інтенсивністю поглинання ароматичних речовин на інфрачервоних спектрах зростає ступінь конденсованості гумусових речовин ріллі.

Процеси конденсації, які відбуваються під впливом різних ґрунтотворних процесів, призводять до зменшення в складі гумусових речовин вмісту вуглеводів і збільшення ступеня окислення. Під впливом інтенсивного розорювання зростає вміст вуглецю (65–77 %) і зменшується вміст кисню, що супроводжується зменшенням ступеня їх окислення [162].

Застосування компосту 4,5 т на 1 га сівозмінної площі за дефіциту азоту в ґрунті викликало дещо інтенсивніший процес мінералізації ґрунтового гумусу. На цьому варіанті відзначено низький вміст гумінових кислот [461].

Це вказує на інтенсивні процеси деструкції органічної речовини, що і відображалось у найнижчих показниках негідролізованого залишку гумусу у цьому варіанті.

Вивчення групового складу гумусу за профілем ґрунту показало, що найбільший вміст гумінових, 34,8–32,1 % і фульво-речовин, властиві верхньому 0–10 см шару чорнозему типового (табл. 3.12).

Таблиця 3.12

Склад гумусу чорнозему типового залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту (2012–2016 рр.)

Удобрєння на 1 га сївозмїнної площї	Шар ґрунту, см	С загальний у ґрунті, %	ГР	ФР	ГР+ФР	ГР/ФР
			С, % до загального С ґрунту			
Диференційований (контроль)						
Без добрив	0–10	1,85	32,86	18,4	51,2	1,78
	10–20	1,79	32,1	18,2	50,3	1,76
Компост 4,5 т +N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	0–10	1,93	33,0	18,5	51,5	1,78
	10–20	1,86	32,6	18,2	50,8	1,79
Полицево-безполицевий						
Без добрив	0–10	1,89	33,9	18,7	52,6	1,81
	10–20	1,81	33,3	18,2	51,5	1,82
Компост 4,5 т +N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	0–10	1,95	34,8	18,4	53,2	1,89
	10–20	1,91	34,0	17,7	51,7	1,92
Мїлкий безполицевий різноглибинний						
Без добрив	0–10	1,91	34,6	18,4	53	1,88
	10–20	1,82	33,9	17,8	51,7	1,90
Компост 4,5 т +N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	0–10	1,97	34,4	18,7	53,1	1,83
	10–20	1,94	33,9	18,5	52,4	1,83
НІР ₀₅ для удобрення						
НІР ₀₅ для обробїтку						
НІР ₀₅ для шару ґрунту						

У цьому шарі відзначено найбільший – 51–53 % вміст негідролізованого залишку. Із глибиною вміст гумінових і фульво-речовин

знижується. Відношення між $C_{г.р}:C_{ф.р}$ також змінюється. Якщо в шарі 0–10 см воно коливається в межах 1,78–1,83, то в шарі 0–20 см сягає до 1,76–1,92, що свідчить про погіршення якості гумусу в глибину профілям ґрунту.

Отже, попередньо викладене про вплив досліджуваних факторів на груповий склад гумусу чорнозему типового дозволяє констатувати, що намітилась тільки тенденція його зміни. Жоден із факторів, що вивчалися, не виявив суттєвого впливу, оскільки величина відношення $C_{г.р}:C_{ф.р}$ докорінним чином не змінилася і тип гумусу залишився характерним для зонального процесу гумусоутворення. На нашу думку, це зумовлено рядом причин: в першу чергу тим, що досліджені агрозаходи справляють слабкий вплив на фактори, визначаючи формування групового складу гумусу в процесі гумусоутворення (гідротермічні умови, гранулометричний, мінералогічний склад ґрунту), а також короткочасність дослідів.

3.5. Запаси енергії органічної речовини ґрунту

Потенціальна родючість ґрунту – важливий показник сталості та продуктивності землі. Існує багато методів його визначення, кожен з яких має свої переваги й недоліки. Найоб'єктивнішим і найповнішим є метод, що ґрунтується на врахуванні енергії, яка акумульована в ґрунті, і може бути кількісно зіставлена з енергозапасами в урожаї та виробничих ресурсах, затрачених на його одержання. За висновком В. А. Ковди [205], величина внутрішньої енергії може бути універсальним критерієм потенціальної родючості або продуктивності ґрунту в цілому.

Як відомо, загальний запас внутрішньої енергії складається з енергії, пов'язаної з органічною речовиною, мінеральною частиною ґрунту, ґрунтовим розчином, ґрунтовим повітрям, живою речовиною ґрунту. Основну частину внутрішньої енергії ґрунту становить енергія кристалічної решітки мінералів ґрунту. При цьому В. Р. Волобуєв [79] відзначає, що найбільша енергія кристалічної решітки мінералів спостерігається у ґрунтах, збагачених залишковими мінералами, і відносно мало її в ґрунтах з високим

вмістом новоутворених мінералів. Як зазначає В. А. Ковда [205], продуктивність ґрунту буде тим більша, чим більше в ній енергії, пов'язаної з гумусом ґрунту, чим менша величина внутрішньої енергії мінеральної частини ґрунту. Енергія гумусу становить лише 0,1–1 % повної внутрішньої енергії метрового шару ґрунту.

Узагальнюючим показником гумусного потенціалу ґрунту слугують його запаси (т/га) в усьому гумусовому профілі. За В. В. Докучаєвим, потужність гумусових горизонтів та вміст перегною в них відображає загальний комплекс ґрунтоутворення, в тому числі й підґрунтя.

Високоєфективне землеробство потребує, щоб енергетичний стан ґрунту відтворювався і, за змогою, поліпшувався. Ґрунти з низькою енергоємністю характеризуються гіршими фізичними, хімічними властивостями, стійкістю до впливу води і вітру. Встановлено, що між вмістом у ґрунті гумусу та врожаєм існує пряма залежність. У зв'язку з цим зроблено висновок М. І. Полупаном [392], що визначення біоенергетичних параметрів має найбільш суттєве значення при оцінці еколого-енергетичного стану ґрунтів та рівня їхньої родючості.

В основу вивчення енергетичного стану ґрунту нами було покладено наступне теоретичне положення. Продуктивність ґрунту та його екологічний стан визначаються енергетично збагаченими продуктами фотосинтезу – гумусом та іншими речовинами органічного походження, що знаходяться в ґрунті.

Одержані дані свідчать, що енергетичний потенціал органічної речовини ґрунту залежить від інтенсивного його господарського використання (табл. 3.13). Без застосування добрив запаси енергії в гумусі за профілем та за варіантами обробітку ґрунту були нижчими порівняно з варіантом внесення добрив. За застосування мілкого безполицевого обробітку ґрунту відзначено підвищення запасу енергії в гумусі у порівнянні з диференційованим обробітком.

Таблиця 3.13

Вплив систем удобрення та обробітку ґрунту на запаси енергії в гумусі чорнозему типового, млн ккал/га

Обробіток ґрунту	Шар ґрунту, см	Удобрення на 1 га сівозмінної площі			
		Без добрив	Компост 4,5 т	Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	Компост 4,5 т + N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈
Диференційований (контроль)	0–10	364	369	384	372
	0–20	718	737	762	748
	0–40	134	135	137	136
	0–100	188	189	195	190
Полицево-безполицевий	0–10	388	396	419	401
	0–20	773	800	849	811
	0–40	140	144	149	146
	0–100	193	196	204	198
Мілкий безполицевий різноглибинний	0–10	407	410	412	412
	0–20	812	816	828	820
	0–40	142	144	146	144
	0–100	194	196	200	198
НІР ₀₅ для обробітку		10,4	10,3	F _φ <F ₀₅	F _φ <F ₀₅
НІР ₀₅ для шару ґрунту		12,0	11,9	F _φ <F ₀₅	F _φ <F ₀₅

Зниження енергетичного потенціалу органічної речовини за полицево-безполицевого обробітку спостерігається по всьому профілю ґрунту порівняно з контролем, але найбільш чітко проявляється у верхній його частині. Для шару 0–10 і 0–20 см втрати енергії за полицево-безполицевого обробітку ґрунту становили 19 і 39 млн ккал/га порівняно з мілким безполицевим різноглибинним обробітком. Варто зазначити, що позитивний вплив на запаси енергії в гумусі здійснювали органічні добрива. Внесення компосту, заробка соломи зернових культур слугує важливим джерелом енергії. За одержаними даними, при систематичному їх застосуванні вміст енергії в гумусі збільшується на 6–12 %.

Мінеральні добрива впливають по-іншому. Вплив підвищених норм NPK (274 кг/га д.р.) на фоні внесення органічних добрив підвищує енергетичний потенціал органічних речовин ґрунту порівняно з варіантом без добрив. Це пов'язано з високою активністю мінералізації і погіршенням якісного стану гумусових речовин.

Застосування органічної системи удобрення підвищувало гуматність гумусу і, відповідно, енергоємність порівняно з варіантом без добрив. Це пояснюється тим, що в гумінових кислотах вміст вуглецю становить 52–62 %, тоді як у фульвокислотах – на 10–12 % менше.

Регресійний аналіз одержаних експериментальних даних енергетичної оцінки ґрунтів на типовому рівні свідчить про тісну залежність між вмістом у ґрунті органічного вуглецю та його енергоємністю. Залежність між вмістом гумусових речовин й енергоємністю характерна для різних варіантів удобрення і описується такими рівняннями: $Y = 93,0X - 20,3$ – без добрив; $Y = 60,3X + 4,3$ – органічна; $Y = 52,4X + 12$ – органо-мінеральна; $Y = 80,6X + 16$ – мінеральна система удобрення.

У результаті проведеного аналізу між вмістом гумусу у варіантах удобрення та їхньою енергоємністю встановлено позитивний і тісний зв'язок. Для варіанта без добрив коефіцієнт кореляції (r) дорівнює $r = 0,63 \pm 0,20$, для

органічної – $r = 0,72 \pm 0,18$, для орґано-мінеральної – $r = 0,91 \pm 0,12$, для мінеральної системи удобрення – $r = 0,80 \pm 0,21$.

Отже, під впливом агротехнічних заходів змінюється енергетичний потенціал органічної речовини чорнозему. Застосування органічної, орґано-мінеральної системи удобрення і мілкоґо безполицевого різноглибинного обробітку ґрунту сприяє збереженню та накопиченню енергії. Застосування мінеральної системи удобрення, диференційованого обробітку ґрунту призводить до втрат енергії гумусу чорнозему типового.

3.6. Рухомі органічні речовини

У формуванні ефективної родючості ґрунтів важливе значення мають лабільні органічні речовини, які представлені водорозчинними, а також вільними і зв'язаними з півтораоксидами гумусовими речовинами. У результаті ферментних і окисних процесів вони частково мінералізуються і виступають джерелом найбільш доступних для рослин поживних речовин і, частково, стабільного гумусу. Рухомі органічні речовини слугують біохімічно активним фондом органічної частини ґрунту, який здійснює суттєвий вплив на процеси структуроутворення і акумуляції енергії. Ці сполуки характеризуються підвищеним вмістом функціональних груп азоту і незначним вуглецю, карбоксильних і фенольних груп, низькою оптичною щільністю. Вміст амонійного азоту, який вивільняється зі складу лабільних гумусових сполук у гумінових кислотах, становить 9,7–13,8 % [63].

Разом із тим, на переконання С. Н. Альошіна, загальноприйняті методи дослідження ґрунту не показують будь-яких характерних відмінностей між ґрунтами різного ступеня окультуреності, які мають однакове генетичне походження. Тоді як легкорухомі органічні речовини, які вилучаються з ґрунту 0,2Н розчином NaOH, можуть бути досить точним показником ступеня його окультуреності. Ця думка ґрунтувалася на тому, що власне цій складовій органічної частини ґрунту належить величезна роль у живленні рослин, адже саме вона виступає першоджерелом азотного живлення рослин,

з нею, можливо, пов'язане значною мірою і постачання рослинам фосфорної кислоти, а, можливо, й низки інших суттєво необхідних поживних елементів. Учений вважав, що передусім найбільш рухомій частині гумусу належить визначальна роль у забезпеченні сприятливих умов життя рослин, а не органічній частині ґрунту загалом [12].

За результатами досліджень деяких науковців [250, 559], вміст рухомих органічних речовин чітко відображає культурний стан чорноземів типових Лісостепу України і може бути одним із діагностичних показників їхньої окультуреності. У процесі досліджень цими авторами встановлено прямий зв'язок ступеня рухомості органічних речовин з кількістю внесених у ґрунт органічних і мінеральних добрив.

Як показали дослідження, кількість новоутворених гумусових речовин, вилучених 0,1N NaOH, здатна змінюватися більшою мірою, ніж груповий склад гумусу. За одноразової обробки досліджених чорноземів цим розчином екстрагується 28–212 мг/100 г ґрунту рухомих гумусових речовин, або 2–7 % від вмісту загального гумусу. Із глибиною їхня кількість закономірно зменшується та обернено корелює із вмістом карбонатів. Це свідчить, що новостворені, частково гуміфіковані рухомі органічні речовини зв'язуються кальцієм і магнієм та переходять у більш стабільні групи гумусових сполук ґрунту.

Агрозаходи, що вивчалися зумовили вплив на вміст рухомих гумусових речовин. За одержаними результатами, в полі буряків цукрових їх вміст різко зменшується (табл. 3.14). Ця закономірність чітко виявляється у всьому шарі і зумовлена посиленням розвитком гетеротрофної мікрофлори, яка в умовах відсутності надходження свіжих кореневих і рослинних залишків для підтримання життєдіяльності інтенсивно використовує вуглець гумусових речовин і, в першу чергу, його рухомі форми. Внаслідок цього в ґрунті створюються умови, коли процес мінералізації переважає над процесом гуміфікації. Найінтенсивніше процес мінералізації відбувається у

полі буряків цукрових. На цій ділянці вміст рухомих гумусових речовин у 0–40 см шарі мінімальний, і коливається в межах 111–137 мг/100 г ґрунту.

Таблиця 3.14

**Зміни вмісту рухомих гумусових речовин за органо-мінеральної системи
удобрення на фоні мілкового безполицевого різноглибинного обробітку
ґрунту, мг/100 г ґрунту (2012–2016 рр.)**

Шар ґрунту, см	Культура сівозміни		НІР ₀₅
	люцерна	буряки цукрові	
0–10	176	137	24,0
10–20	131	120	8,7
20–40	118	111	7,2
40–60	114	98	8,9
60–80	99	51	32,0
80–100	83	28	44,0

У полі люцерни вміст рухомих гумусових речовин на 25 % більше, ніж у полі буряків цукрових. На цій ділянці процес гуміфікації переважає над мінералізацією і відзначається накопичення новоутворених гумусових речовин.

За вирощування сільськогосподарських культур без добрив, вміст новоутворених гумусових речовин істотно зменшується порівняно із полем люцерни (табл. 3.15). Отже, рослинних і корневих залишків сільськогосподарських культур, наявних у ґрунті, де не вносили органічних і мінеральних добрив, для компенсації мінералізованих рухомих гумусових речовин недостатньо. У цих варіантах, як уже згадувалося, створюється від’ємний баланс гумусу.

За органо-мінеральної системи удобрення вміст рухомих органічних речовин істотно збільшується, що достатньо чітко простежується до глибини 60 см, порівняно з варіантом без добрив. У глибших шарах вміст рухомих органічних речовин у полі люцерни більший. Отже, за вирощування сільськогосподарських культур на фоні органічних і мінеральних добрив основні зміни в направленості процесів гумусоутворення відзначаються

Таблиця 3.15

Вміст рухомих гумусових речовин у ґрунті за вирощування буряків цукрових, мг/100 г ґрунту (2012–2016 рр.)

Варіант обробітку ґрунту, А	Удобрення на 1 га сівозмінної площі, В	Шар ґрунту, см			
		0–10	10–20	20–40	40–60
Диференційований (контроль)	Без добрив	145	129	121	104
	Компост 4,5 т	154	136	130	112
	Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	167	180	141	117
	Компост 4,5 т + N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	173	189	148	122
Полицево-безполицевий	Без добрив	161	132	110	106
	Компост 4,5 т	168	147	125	111
	Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	204	192	130	116
	Компост 4,5 т + N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	210	200	138	122
Мілкий безполицевий різноглибинний	Без добрив	172	136	106	101
	Компост 4,5 т	181	150	115	108
	Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	222	186	124	107
	Компост 4,5 т + N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	226	210	130	116
НІР ₀₅ А		9,8	7,4	7,3	F _φ <F ₀₅
НІР ₀₅ В		11,3	8,5	8,4	8,9

в 0–40 см шарі. У глибших шарах вони згасають.

Вплив систем основного обробітку ґрунту на вміст і розподіл рухомих органічних речовин виявилися в основному в орному та підорному шарах (табл. 3.15). Застосування безполицевих обробітків суттєво (на 11–18 %) збільшили їхній вміст у шарі 0–10 см. На глибині 20–40 см перевагу на (7–13 %) мав диференційований варіант, тоді як у шарі 10–20 см перевага була за мілким безполицевим обробітком ґрунту. Отже, мілкий безполицевий різноглибинний обробіток ґрунту спільно з органічними і мінеральними добривами створює передумови для спрямованої зміни в розподілі рухомих органічних речовин у бік анізотропного гумусового профілю. Збільшення вмісту гумусових речовин у шарі 0–10 см за відношенням до шару 10–20 см на варіантах мілкового безполицевого і полицево-безполицевого обробітку ґрунту слід віднести до позитивного явища. Застосування у досліді органічної системи удобрення суттєво зменшує вміст новоутворених гумусових речовин порівняно з ділянками органо-мінеральної та мінеральної систем удобрення. Отже, пожнивних і корневих залишків, маси сидеральних культур, що заробляються у ґрунт без застосування мінеральних добрив для компенсації мінералізованих рухомих гумусових речовин недостатньо. За застосування органо-мінеральної системи удобрення вміст рухомих органічних речовин суттєво збільшується до глибини 60 см порівняно з органічною системою удобрення.

За мінеральної системи удобрення зростає вміст рухомих гумусових речовин, що сприяє збагаченню глибших шарів ґрунту. Цей показник зростає на 5–18 %, порівняно з органо-мінеральною та органічною системами удобрення. Подібний факт не можна вважати позитивним, оскільки в чорноземах типових малогумусних із пониженою буферною здатністю підвищується можливість збіднення оброблюваного шару цією фракцією гумусових речовин за рахунок її інтенсивної мінералізації і міграції в нижні горизонти. В такому випадку, як відзначає Л. К. Шевцова [567], що проводила дослідження на аналогічних ґрунтах Миронівського інституту

пшениці імені В. М. Ремесла, надмірна мобілізація гумусу супроводжується значним підкисленням не насичених основами чорноземів та не сприяє збагаченню їх гумусом.

Водорозчинні органічні речовини, як і рухомі форми гумусу, відіграють важливу роль у ґрунтоутворенні й родючості ґрунтів, адже виступають активними учасниками багатьох ґрунтових процесів. Насамперед вони слугують вихідним матеріалом для утворення всіх груп стабільних поживних речовин та посилюють їх міграційну здатність, являють собою енергетичний субстрат для гетеротрофної мікрофлори, а підвищення рівня їх вмісту в ґрунті дозволяє пом'якшити вплив високих концентрацій мінеральних солей в ґрунтовому розчині та забезпечить більшу стійкість урожаю сільськогоспо-дарських культур [566]. У зв'язку з цим дуже важливо було з'ясувати, який вплив досліджувані варіанти здійснюють на водорозчинні органічні речовини чорнозему.

Дослідження показали, що в полі люцерни і буряків цукрових суттєво змінюється вміст водорозчинних органічних речовин в профілі чорнозему типового (табл. 3.16).

Таблиця 3.16

**Вміст водорозчинних органічних речовин за органо-мінеральної системи
удобрення на фоні мілкого безполицевого різноглибинного обробітку
ґрунту, мг/100 г ґрунту (2012–2016 рр.)**

Шар ґрунту, см	Культура сівозміни		НІР ₀₅
	люцерна	буряки цукрові	
0–10	45,0	28,5	12,0
10–20	39,7	23,4	10,0
20–40	32,2	20,9	9,7
40–60	28,4	20,7	6,4
60–80	25,0	17,6	5,7
80–100	17,6	12,6	4,3

У полі люцерни кількість таких речовин коливається в межах 17–45 мг/100 г ґрунту, з максимумом у шарі 0–10 см, що зумовлено

зосередженістю коренів природної рослинності у поверхневих горизонтах ґрунту. На ділянках буряків цукрових за профілем водорозчинних речовин не змінилося, але їхній вміст помітно знизився і становив 25–42 % відносно люцерни. Отже, на ділянках буряків цукрових, за відсутності надходження свіжих рослинних залишків, інтенсивно перебігав процес мінералізації водорозчинних органічних речовин. Максимальна інтенсивність цього процесу відзначалася в орному шарі 0–10 см, тоді як з глибиною 20–40 см він поступово згасав.

Застосування систем удобрення та основного обробітку ґрунту в сівозміні на чорноземі типовому, розподіл водорозчинних органічних речовин за профілем ґрунту позитивно впливали на їх вміст (табл. 3.17). За диференційованого обробітку ґрунту процес мінералізації водорозчинних речовин відбувався інтенсивніше, ніж за мілкого безполицевого різноглибинного обробітку. Це помітно по всій товщі ґрунту, але найчіткіше проявилось у верхній частині оброблюваного шару (0–20 см). За диференційованого обробітку ґрунту, в шарі (0–10 см) вміст водорозчинних органічних речовин зменшився на 6 %, порівняно з полицево-безполицевим обробітком, і на 10 % – порівняно з мілким безполицевим. У більш глибоких шарах різниця по обробітках менш виражена і не перевищує 1,7–3,2 %.

У варіантах без застосування добрив помітно порівняно з ділянками люцерни підвищився вміст водорозчинних органічних речовин. Ще більше він підвищився за спільного внесення органічних і мінеральних добрив. У цих варіантах вміст водорозчинних органічних речовин збільшився за рахунок внесення з компостом і значнішим більшим надходженням рослинних залишків. Проте навіть у варіантах, на яких вносили органічні й мінеральні добрива, вміст згаданої групи органічних речовин у чорноземах типових не досягнув рівня ділянки з люцерною. На нашу думку, це зумовлено двома причинами: швидкою мінералізацією частини водорозчинних органічних речовин до кінцевих продуктів і, частково,

Таблиця 3.17

Вміст водорозчинних органічних речовин за вирощування буряків цукрових, мг/100 г ґрунту

Варіант обробітку ґрунту, А	Удобрення на 1 га сівозмінної площі, В	Шар ґрунту, см			
		0–10	10–20	20–40	40–60
Диференційований (контроль)	Без добрив	29,5	23,9	22,8	22,2
	Компост 4,5 т	32,0	25,6	25,9	23,1
	Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	36,8	30,6	27,4	25,0
	Компост 4,5 т + N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	38,6	32,4	29,5	26,4
Полицево-безполицевий	Без добрив	30,6	25,5	23,0	21,3
	Компост 4,5 т	34,2	28,7	25,4	22,6
	Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	38,7	31,5	26,3	24,6
	Компост 4,5 т + N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	39,6	33,6	29,3	26,2
Мілкий безполицевий різноглибинний	Без добрив	32,0	25,2	23,7	22,5
	Компост 4,5 т	35,0	30,2	25,4	23,7
	Компост 4,5 т + N ₄₀ P ₄₈ K ₅₄	40,5	33,3	27,0	25,3
	Компост 4,5 т + N ₈₀ P ₉₆ K ₁₀₈	43,4	36,4	32,4	28,6
НІР ₀₅ А		2,1	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅
НІР ₀₅ В		2,4	2,9	2,4	1,7

переходом у стабільніші форми гумусових речовин, вміст яких за внесення органічних і мінеральних добрив був більшим, ніж на ділянках люцерни.

Отже, вміст водорозчинних органічних речовин у чорноземах типових малогумусних Правобережного Лісостепу визначається надходженням біомаси рослинних залишків, нормами органічних і мінеральних добрив, а також інтенсивністю мікробіологічних процесів, значною мірою залежать від системи обробітку ґрунту. За впливом на вміст водорозчинних органічних речовин у ґрунті агрозаходи, що вивчаються, можна розподілити за принципом зменшення: компост, мінеральні добрива, мілкий безполицевий, диференційований обробіток ґрунту.

Висновки до розділу 3

1. Дослідження, виконані на стаціонарному польовому досліді із вивчення систем удобрення та обробітку ґрунту дозволили встановити, що в умовах Правобережного Лісостепу збереження і розширене відтворення гумусу в чорноземах типових досягається за рахунок надходження органічних речовин у ґрунт у вигляді корневих і рослинних залишків, нетоварної частини врожаю, сидеральних культур, компосту і регулювання системою обробітку ґрунту інтенсивності процесів мінералізації і гуміфікації.

2. Механічна дія на ґрунт ґрунтообробними знаряддями викликає мінералізацію органічної речовини, яка більшою мірою виявляється за диференційованого, ніж за мілкого безполицевого різноглибинного обробітку ґрунту.

3. Мілкий безполицевий обробіток, порівняно з диференційованим, змінює характер надходження органічної речовини у ґрунт, локалізуючи переважну кількість рослинних решток, органічних і мінеральних добрив у верхній частині оброблюваного шару, створюючи умови для зміни системи «гуміфікація – мінералізація» у бік посилення гуміфікації. Водночас основні

зміни спрямованості згаданих процесів відзначаються в оброблюваному і сусідньому до нього шарі ґрунту.

4. Застосування мілкого безполицевого різноглибинного та полицево-безполицевого обробітку ґрунту в поєднанні з органічними (компост) і помірними нормами мінеральних добрив, суттєво не змінюючи груповий склад гумусу, сприяє підвищенню його вмісту і запасів, новоутворених і водорозчинних гумусових речовин, а також запасів енергії в органічній речовині ґрунту.

5. Мінеральна система удобрення з внесенням $N_{80}P_{96}K_{108}$ мінеральних добрив на 1 га сівозмінної площі не забезпечує підвищення вмісту гумусу в ґрунті, а має лише тенденцію до підвищення.

6. Розширене відтворення гумусу в чорноземах типових в зерно-просапній сівозміні досягається за органо-мінеральної системи удобрення внесенням на 1 га сівозмінної площі компосту 4,5 т і $N_{40}P_{48}K_{54}$ мінеральних добрив.

Одержані результати досліджень опубліковано в наступних джерелах:

1. Центи́ло Л.В. Параметри вмісту гумусу в чорноземі типовому залежно від агровиробничого використання. Наукові доповіді НУБіП України. 2019. №2, (78). URL: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2019.02.017>

2. Tsentylo L.V. Agrophysical characteristics of typical black soil in agrophytocenoses of winter depending on cultivation and fertilization. Таврійський науковий вісник. 2019. Вип. 105. С. 155–159.

3. Tsyuk O.A., Tanchuk S.P., Tsentylo L.V., Kirilyuk V.I., Pavlov O.S., Sleptsov Y. Change of carbon's contain of the main humuse's groups of the black typical soil with the agriculture's ecologization. Ukrainian Journal of Ecology. 2018. 8(4). P. 154–157.

4. Центи́ло Л. В. Вплив систем удобрення та обробітку ґрунту на гумусний стан і біологічні процеси чорнозему типового. Таврійський науковий вісник. 2019. Вип. 107. С. 171–177.

РОЗДІЛ 4

БІОЛОГІЧНА АКТИВНІСТЬ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО

Життя на землі підтримується за допомогою двох основних процесів: створення органічних речовин у результаті фотосинтезу переважно вищими рослинами та їх наступним ступінчастим розкладанням мікроорганізмами [20].

Природні біоценози здатні підтримувати свій гомеостаз, тоді як в агроценозах можуть бути втрати органічних речовин ґрунту, оскільки вся стратегія сільського господарства спрямована на інтенсифікацію кругообігу біогенних елементів. Раніше під час вибору агротехніки вважалося за аксіому, що чим більша чисельність і активність ґрунтової мікрофлори, тим вища родючість. Пізніше було доведено, що перевищення оптимального рівня активності ґрунтової мікрофлори знижує стійкість екосистеми до зовнішньої дії, призводить до руйнування органо-мінеральних колоїдів, які визначають фонд потенційної родючості ґрунту [16, 177]. Отже, продуктивність ґрунтів визначається не лише агрохімічними показниками і чисельністю різних груп мікроорганізмів, а й активністю біологічних процесів, які, у свою чергу, зумовлюють динаміку перетворення одних речовин на інші [563]. Сама мікробна маса, величина якої знаходиться в прямій залежності від вмісту органічних речовин у ґрунті, слугує важливим для рослин доступним джерелом елементів живлення (вміст азоту в біомасі – 10–17 %, фосфору – 3, калію – 2,2 %) [384].

Сільськогосподарське використання ґрунтового покриву змінює хімічний склад ґрунту, фізичну структуру, вміст і якісний склад органічних речовин. Це зумовлює значні порушення у функціонуванні ґрунту, як природного тіла, у формуванні активності його живої фази, насамперед мікрофлори, оскільки мікроорганізми виступають виключно чутливими реагентами на зміни, які відбуваються в навколишньому середовищі [378].

Екологічна захищеність мікробного угруповання виявляється у зміні активності функціонування окремих груп мікроорганізмів. В умовах зростання антропогенного навантаження на ґрунт важливо не лише вирощувати високі врожаї сільськогосподарських культур, а й треба знати як впливають засоби хімізації на біологічну активність ґрунту та екологічний стан у ньому [319].

Інтенсивність біохімічної діяльності ґрунтових мікроорганізмів у сучасній науці характеризують узагальненим і досить складним показником – біологічна активність ґрунту. Нині біологічну активність ґрунту відносять до одних з найважливіших показників його родючості й окультуреності, які знаходяться в тісній залежності [636].

Інтенсивне удобрення, як і застосування інших засобів, значно змінює екологічний стан у ґрунті, впливаючи на структуру його мікробіологічного угруповання, біологічну активність і біохімічні процеси [35, 319, 322].

4.1. Чисельність мікроорганізмів

Чорноземи Лісостепу України характеризуються достатньо високою чисельністю мікроорганізмів. У складі мікробних ценозів домінують (63–84 %) бактерії, менше (16–38 %) міститься актиноміцетів і незначну частину (0,1–0,3 %) становлять гриби [321, 592]. Суха маса бактерій знаходиться в межах 100–190 кг, із щорічним приросту – 50–140 кг/га [320].

У чорноземах типових малогумусних відзначається бурхливий розвиток бактерій, що засвоюють мінеральний азот і широке відношення КАА:МПА, що свідчить про активність у цих ґрунтах процесів мінералізації [404].

У чорноземах загальна чисельність і видовий склад мікроорганізмів залежать від погодно-кліматичних умов, вирощуваних культур, рівня застосування мінеральних добрив і засобів захисту рослин, агротехнічних заходів. Зміни ступеня впливу згаданих факторів на ґрунт суттєво

відбивається на життєдіяльності мікрофлори і продуктах її метаболізму [15, 494, 607].

Інтенсивні агротехнології вирощування сільськогосподарських культур, що базуються на полицевому обробітку із застосуванням високих норм мінеральних добрив і хімічних речовин захисту рослин, суттєво змінюють таксономічну структуру мікробних асоціацій та їх функціональну діяльність. Встановлено підвищення біологічного кругообігу речовин і енергії, зростання загальної біологічної активності ґрунтів, посилення мінералізації органічної речовини з одночасним збереженням рівня гуміфікаційних процесів. Тому, як вважає Н. А. Туєв [494], у сучасних агроценозах спостерігається деградація гумусу і зниження родючості ґрунту.

Застосування безполицевих обробітків, із збереженням стерні й рослинних залишків на поверхні ґрунту спільно з органічними і мінеральними добривами, супроводжується формуванням сприятливих умов для мікробіологічних процесів і, в першу чергу, гумусонакопичення. За даними А. Д. Балаєва, О. Л. Тонхи [25], за безполицевого обробітку коефіцієнти гуміфікації рослинних залишків зростають на 20–30 %, а процеси їх мінералізації затухають порівняно з полицевим обробітком.

Іншої думки притримується Л. І. Никифорова [339], який вважає, що за безполицевими обробітками знижується мікробіологічна активність у ґрунті, змінюється груповий склад мікроорганізмів, зменшується кількість нітрифікаторів і погіршуються умови мінерального живлення рослин.

За визначенням О. А. Цюк, В. І. Кирилюк та ін. [549], М. В. Патики, Ю. П. Борко та ін. [382], найсприятливіші умови для життєдіяльності мікрозаселення ґрунту створюються за спільного застосування полицевого і безполицевого обробітку в сівозміні.

Отже, звідси, наявні в науковій літературі дані неоднозначні та свідчать, що роль вирощування сільськогосподарських культур у регулюванні біодинаміки ґрунту вивчено недостатньо. Можна констатувати, що дія технологій вирощування сільськогосподарських культур на

мікрозаселення ґрунту має складний характер, і щоб уникнути негативних наслідків вимагає прискіпливої уваги.

Із застосуванням органічних і органо-мінеральних систем удобрення відбувається помітна активізація мікрофлори, яка позитивно впливає на процеси синтезу гумусу та на його вміст у ґрунті, тобто на підтримку високої біогенності і біохімічної активності [593].

Наукові дослідження свідчать, що органічні і мінеральні добрива збільшують чисельність мікроорганізмів у ґрунті [15, 0 75, 593]. Водночас учені [75, 381, 379, 593] вважають, що зі збільшенням норм мінеральних добрив інтенсивність мікробіологічних процесів зростає. Так, Е. М. Мішустін [323] встановив стимулюючу дію невисоких і стримуючу дію високих норм добрив на чисельність ґрунтових мікроорганізмів. Ступінь впливу різних доз і видів добрив на мікрофлору й біохімічну активність ґрунту залежить від фізико-хімічних особливостей, характерних для цього типу ґрунтоутворення.

Вивчення впливу основного обробітку ґрунту і удобрення на мікроценоз чорнозему типового здійснювали у 2012–2017 рр. Результати досліджень наведено у таблиці 4.1.

За одержаними даними, мікробний ценоз чорнозему типового глибокого на 71–91 % представлений бактеріями, 8–27 % становлять актиноміцети, тоді як наймалочисельніші в ньому гриби. На останні припадає всього 0,1–0,5 % від загальної чисельності мікроорганізмів, або $4,07 \cdot 10^4$ – $5,50 \cdot 10^8$ шт./г сухого ґрунту.

Протягом досліджень виявлено, що у варіантах із різними системами обробітку, незалежно від внесених мінеральних добрив, утворюється біологічно різноякісний оброблювальний шар ґрунту, в окремих частинах орного шару мікроорганізми розподілені нерівномірно. Відзначено зниження чисельності всіх груп мікроорганізмів вниз по профілю ґрунту, що пов'язано із зміною теплового, повітряного і поживного режимів, а також із збільшенням щільності ґрунту з глибиною.

Вплив систем основного обробітку ґрунту на мікробіоценоз чорнозему

Таблиця 4.1

Вплив основного обробітку та удобрення на чисельність мікроорганізмів у чорноземі типовому (в середньому за вегетацію), шт./г сухого ґрунту, (2012–2017 рр.)

Система удобрення	Шар ґрунту, см	Мікроорганізми на КАА	Бактерії МПА	Актиноміцети	Гриби	Коефіцієнт мінералізації КАА:МПА
Диференційований (контроль)						
Без добрив	0–10	$1,70 \cdot 10^7$	$0,78 \cdot 10^7$	$3,17 \cdot 10^6$	$3,25 \cdot 10^3$	2,18
	10–20	$6,3 \cdot 10^6$	$3,05 \cdot 10^6$	$2,89 \cdot 10^5$	$2,12 \cdot 10^3$	2,04
	20–30	$4,02 \cdot 10^4$	$2,74 \cdot 10^4$	$4,09 \cdot 10^3$	$1,57 \cdot 10^2$	1,46
Органо-мінеральна	0–10	$3,48 \cdot 10^8$	$1,27 \cdot 10^8$	$4,14 \cdot 10^7$	$6,05 \cdot 10^3$	2,74
	10–20	$1,64 \cdot 10^7$	$0,67 \cdot 10^7$	$6,28 \cdot 10^6$	$3,17 \cdot 10^3$	2,44
	20–30	$6,97 \cdot 10^4$	$3,77 \cdot 10^4$	$5,40 \cdot 10^3$	$2,12 \cdot 10^2$	1,84
Мілкий безполицевий обробіток						
Без добрив	0–10	$2,18 \cdot 10^7$	$1,14 \cdot 10^7$	$9,81 \cdot 10^6$	$4,07 \cdot 10^3$	1,91
	10–20	$5,63 \cdot 10^6$	$3,00 \cdot 10^6$	$2,95 \cdot 10^5$	$2,53 \cdot 10^3$	1,87
	20–30	$3,70 \cdot 10^4$	$2,80 \cdot 10^4$	$3,93 \cdot 10^3$	$1,54 \cdot 10^2$	1,32
Органо-мінеральна	0–10	$5,50 \cdot 10^8$	$2,13 \cdot 10^8$	$7,67 \cdot 10^7$	$7,67 \cdot 10^3$	2,57
	10–20	$1,36 \cdot 10^7$	$0,63 \cdot 10^7$	$5,61 \cdot 10^6$	$3,84 \cdot 10^3$	2,15
	20–30	$5,59 \cdot 10^4$	$3,10 \cdot 10^4$	$4,97 \cdot 10^3$	$1,80 \cdot 10^2$	1,80
НІР ₀₅ для обробітку		$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	0,17	0,22	
НІР ₀₅ для удобрення		0,1	0,12	0,17	0,23	
НІР ₀₅ для шару ґрунту		0,15	0,14	0,21	0,29	

типового виявлялося по-різному. Безполицевий обробіток, порівняно з полицевим, стимулював різкий розвиток ґрунтових мікроорганізмів у верхньому 0–10 см шарі ґрунту, але не мав переваги в глибших шарах.

Так, у варіантах без добрив чисельність мікроорганізмів, які використовують мінеральні форми азоту (КАА), збільшилася на 27 %, тоді як на орґано-мінеральному фоні в 1,6 раза. Аналогічні дані одержані для бактерій, що використовують азот орґанічних сполук (МПА). Підвищення їх чисельності залежно від фону становило 1,5 і 1,7 раза. Чисельність грибів і актиноміцетів підвищилася в 1,2–1,3 і 1,2–1,8 раза відповідно. За мілкоґо обробітку шар 0–10 см залишався багатшим на мікроорґанізми протягом усього вегетаційного періоду, що зумовлено наявністю в ньому переважаючої кількості рослинних залишків, орґанічних і мінеральних добрив, а також сприятливішими температурними умовами, вищою забезпеченістю вологою і повнішим доступом кисню.

Варто зазначити, що за безполицевого обробітку нижня частина оброблюваного шару дещо збіднюється мікрофлорою. Дослідженнями встановлено зниження чисельності мікроорґанізмів, облікованих на крохмально-аміачному агарі на 9–24 %; бактерій на м'ясо-пептиновому агарі – на 1,5–5,7; грибів – на 1,8–17,6; актиноміцетів – на 3,9–8,6 % порівняно з полицевим обробітком.

Вплив добрив на мікрозаселення ґрунту виявлявся значно сильніше, ніж обробітку ґрунту. Їхню дію як за оранки, так і за мілкоґо обробітку відзначено в усіх частинах оброблюваного шару, з максимумом на глибині 0–10 см. Під впливом орґано-мінеральних добрив найістотніше змінилася чисельність мікроорґанізмів, які використовують мінеральні форми азоту (в 1,5–2,2 раза) і актиноміцети (в 1,3–20 разів). Стосовно бактерій, що використовують азот орґанічних сполук, то їхня кількість зросла в 1,9–19 разів, грибів – у 1,2–1,9 раза. Отже, за внесення компосту спільно з мінеральними добривами збільшується чисельність мікробного населення ґрунту і створюються умови для посилення мобілізаційних процесів,

порівняно з варіантами, де добрив не вносили. Така закономірність досить чітко простежується на обох варіантах обробітку на глибині оброблюваного шару.

Про посилення мобілізаційних процесів на удобрених варіантах можна стверджувати і співвідношенням між мікроорганізмами, облікованими на КАА і МПА (коефіцієнт мінералізації). За одержаними даними, на удобрених варіантах, порівняно з варіантами без добрив, його величина більша на 20–26 % за полицевого і на 14–35 % за мілкого обробітку. Відносно абсолютних значень коефіцієнтів мінералізації, то їх величина незалежно від агрохімічного фону на 3–13 % менша за мілкого обробітку. Отже, мікробіоценоз, сформований в чорноземі типовому у варіанті з диференційованим обробітком, підсилює мінералізацію органічної речовини, тоді як мілкий безполицевий обробіток стримує такі процеси, що узгоджується з думкою Н. А. Туєва [494] й одержаними даними за вмістом і запасами загального гумусу.

Отже, на чорноземах типових глибоких із низькою буферною здатністю недоцільно вносити високі норми мінеральних добрив, що викликає істотне розбалансування мікробіоценоза і не сприяє збереженню органічної речовини [78, 591].

Поряд із вивченням загальної чисельності обліковувалися нітрифікуючі та амоніфікуючі бактерії, від життєдіяльності яких залежить азотне живлення рослин. Дані, одержані на 6-річних фонах застосування обробітку ґрунту та системи удобрення в полі пшениці озимої, свідчать, що в чорноземі типовому глибокому амоніфікуючих бактерій нараховується в 10–20 разів більше, ніж нітрифікуючі (табл. 4.2). Максимальна кількість цих бактерій виявляється у верхньому 0–10 см шарі, тоді як з глибиною чисельність останніх зменшується, що цілком узгоджується з фізіологічними особливостями їх життєдіяльності.

Тривале застосування обробітку ґрунту без перевертання скиби сприяло збільшенню чисельності нітрифікуючих і амоніфікуючих бактерій у

Таблиця 4.2

**Чисельність нітрифікуючих і амоніфікуючих бактерій чорнозему типового в полі пшениці озимої
у фазу виходу у трубку, шт./г сухого ґрунту (2012–2017 рр.)**

Обробіток ґрунту	Шар ґрунту, см	Система удобрення			
		Без добрив		Органо-мінеральна	
		нітрифікуючі	амоніфікуючі	нітрифікуючі	амоніфікуючі
Диференційований (контроль)	0–10	$2,12 \cdot 10^3$	$2,60 \cdot 10^5$	$5,65 \cdot 10^3$	$3,54 \cdot 10^6$
	10–20	$1,80 \cdot 10^3$	$1,86 \cdot 10^4$	$4,02 \cdot 10^3$	$7,18 \cdot 10^4$
	20–30	$0,67 \cdot 10^3$	$0,96 \cdot 10^4$	$1,97 \cdot 10^3$	$6,55 \cdot 10^4$
	0–30	$1,53 \cdot 10^3$	$0,95 \cdot 10^5$	$3,88 \cdot 10^3$	$1,22 \cdot 10^6$
Мілкий безполицевий	0–10	$2,29 \cdot 10^3$	$2,91 \cdot 10^5$	$7,45 \cdot 10^3$	$4,84 \cdot 10^6$
	10–20	$1,48 \cdot 10^3$	$1,94 \cdot 10^4$	$3,55 \cdot 10^3$	$6,55 \cdot 10^4$
	20–30	$0,58 \cdot 10^3$	$0,74 \cdot 10^4$	$1,71 \cdot 10^3$	$5,56 \cdot 10^4$
	0–30	$1,45 \cdot 10^3$	$1,05 \cdot 10^5$	$4,23 \cdot 10^3$	$1,67 \cdot 10^6$
НІР ₀₅ для обробітку		$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$
НІР ₀₅ для шару ґрунту		0,31	0,17	0,74	$F_{\phi} < F_{05}$

верхній частині оброблюваного шару, що особливо чітко проявилось на фоні органо-мінеральної системи удобрення. На цьому варіанті в шарі 0–10 см чисельність нітрифікуючих збільшилася в 1,3, амоніфікаторів – в 1,4 раза порівняно з диференційованим обробітком. На глибині 10–20 і 20–30 см перевага на 14–16 і 10–18 % відповідно відзначена у варіанті з диференційованим обробітком.

Оцінюючи оброблюваний шар у цілому, можна стверджувати, що за 6-річний період застосування різних технологій вирощування в чорноземі типовому глибокому склався мікробіоценоз, в якому за диференційованого обробітку на 5–11 % переважають нітрифікуючі, за мілкового безполицевого – на 12–37 % – амоніфікуючі бактерії. Стосовно розподілу цих груп мікроорганізмів по профілю – то він одноманітний. Незалежно від обробітку ґрунту і добрив максимум чисельності відзначається зверху за поступового зниження з глибиною.

За органо-мінеральної системи удобрення, порівняно з варіантом без добрив, кількість нітрифікаторів збільшилася у 2 рази. Внесення органічних і мінеральних добрив за цієї системи зумовило також найбільшу чисельність і амоніфікаторів.

Таким чином, у чорноземах типових, незалежно від системи удобрення, максимальна кількість мікроорганізмів зосереджена у верхній частині оброблюваного шару, тоді як з глибиною їхня чисельність зменшується. Істотний позитивний вплив на мікронаселення ґрунту виявляє органо-мінеральна система удобрення. Безполицевий обробіток ґрунту зумовлює оптимізацію мікробіологічних процесів, що сприяє збереженню ґрунтової родючості.

4.2. Виділення вуглекислоти ґрунтом

Інтенсивність виділення ґрунтом вуглекислого газу (дихання ґрунту) вважається інтегральним показником його біологічної активності.

Численними дослідженнями доведено: чим більше ґрунт виділяє CO_2 , тим вища його родючість.

Біологічна активність ґрунту виступає важливим показником його родючості [325]. Інтенсивність виділення вуглекислоти характеризує загальну активність біомаси ґрунту і темпи розкладу органічної речовини [324].

На думку В. Р. Купревича, Е. Н. Мішустіна, І. Б. Ревута та інших дослідників, біологічна активність ґрунту становить один із показників його родючості. Родючі ґрунти характеризуються високою ферментативною активністю, нітрифікаційною здатністю, інтенсивністю виділення вуглекислоти [244, 325, 419].

Дихання ґрунту залежить від чисельності мікроорганізмів у його складі та їх життєдіяльності. Тому зміни в інтенсивності виділення CO_2 з ґрунту дають уявлення про масштаби діяльності ґрунтових мікроорганізмів і характеризують біологічні процеси, що відбуваються у ґрунті. За інтенсивністю дихання ґрунту визначають ефективність агротехнічних заходів.

Внесення мінеральних добрив позитивно позначилося на інтенсивності дихання ґрунту. Так, розрахункова норма мінеральних добрив на фоні компосту забезпечила підвищення продукування CO_2 ґрунту за різноглибинного полицевого і безполицевого обробітку на 5–7 % і на 7–9 % за мілкого безполицевого обробітку в поєднанні з щільованням. Ця закономірність мала стійкий характер, про що свідчать дані за інтенсивності дихання ґрунти, отримані за різних погодних умов протягом років досліджень.

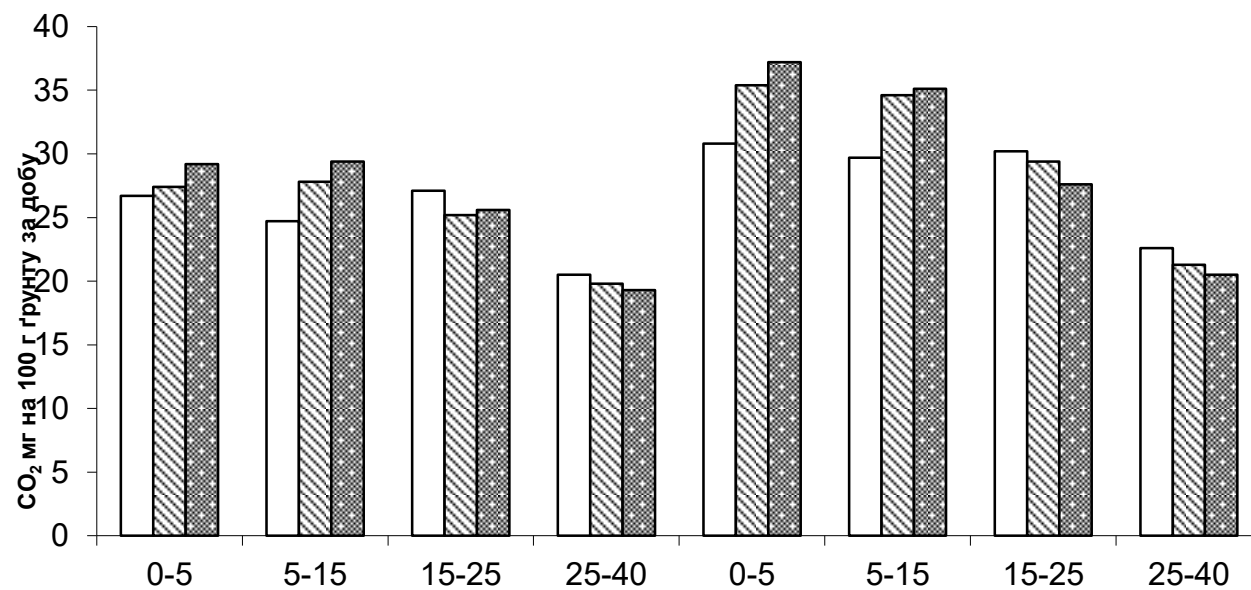
Спостереження за інтенсивністю дихання ґрунту в динаміці дозволили встановити, що максимальні значення цього показника притаманні для середини і другої половини вегетаційного періоду, мінімальні – для його початку, що значною мірою визначилося гідротермічними умовами, агротехнічними заходами і розвитком оброблюваних культур.

Дані, отримані в середньому за п'ять років досліджень (рис. 4.1), підтвердили закономірності про диференціацію оброблюваного шару за інтенсивності дихання і дозволили констатувати факт стабілізації цього процесу в часі.

Так, якщо коефіцієнт диференціації з продукування CO_2 (представляє відношення величини згаданого показника в шарі 0–15 см до шару (15–25 см) за полицевого обробітку був близький до одиниці, то за систематичного застосування безполицевого обробітку його величина зростає до 1,2–1,3 і в подальшому не змінювалася. Отже, процес диференціації оброблюваного шару із виділення CO_2 при відмові від полицевого обробітку інтенсивно перебігає в перші 3–4 роки.

Аналіз даних польових спостережень (табл. 4.3) показує, що динаміка інтенсивності дихання ґрунту залежить від гідротермічних умов вегетаційного періоду. Мінімальна кількість CO_2 виділяється у весняний період, коли температура ґрунту не перевищує $5-7^\circ\text{C}$ і в умовах підвищеної вологості життєдіяльність ґрунтової мікрофлори може бути пригнічена. До початку вегетаційного періоду підвищується температура повітря, ґрунт прогрівається до $10-12^\circ\text{C}$, і у чорноземі типовому посилюються біологічні процеси, в наслідок чого підвищується виділення CO_2 . Максимальне значення інтенсивності виділення вуглекислоти відзначено в літні місяці, коли ґрунт прогрівається до $+15-20^\circ\text{C}$. На період збирання соняшнику температура повітря знижується, ґрунт охолоджується й інтенсивність виділення вуглекислоти поступово сповільнюється. Отже, у чорноземах типових глибоких процес дихання у весняний період лімітується температурними умовами, у літній період він більшою мірою залежить від наявності доступної вологи, а восени істотно сповільнюється через пониження температури і недостатні запаси вологи у ґрунті.

Довготривале застосування в польовій сівозміні полицево-безполицевого обробітку на 3–8 % збільшило продукування CO_2 з поверхні поля, порівняно з диференційованим обробітком.



- I
- II
- – Полицевий обробіток ґрунту (контроль) I – Органічна
 - ▨ – Безполицевий різноглибинний обробіток II – Мінеральна система удобрення
 - ▩ – Мілкий безполицевий обробіток з одночасним щілюванням

Рис. 4.1. Інтенсивність дихання ґрунту залежно від обробітку ґрунту та удобрення (2012–2016 рр.)

Динаміка виділення CO₂ із ґрунту за різних систем обробітку та удобрення за вирощування соняшнику, мг CO₂/м², за добу (2012–2016 рр.)

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Строк спостереження			Середнє
		травень	липень	вересень	
Без добрив	Диференційований (контроль)	173	240	199	204
	Полицево-безполиц.	160	252	226	212
	Мілкий безполицевий	151	241	211	201
Органічна	Диференційований (контроль)	204	283	234	240
	Полицево-безполиц.	189	296	266	250
	Мілкий безполицевий	178	284	248	237
Органо-мінеральна	Диференційований (контроль)	237	372	299	303
	Полицево-безполиц.	225	435	318	326
	Мілкий безполицевий	212	409	308	309
Мінеральна	Диференційований (контроль)	215	347	261	274
	Полицево-безполиц.	210	392	281	294
	Мілкий безполицевий	197	382	276	285
Середнє за системою удобрення	Без добрив	162	244	212	206
	Органічна	190	288	249	242
	Органо-мінеральна	224	405	308	312
	Мінеральна	207	373	272	284
Середнє за обробітком ґрунту	Диференційований (контроль)	208	310	248	255
	Полицево-безполиц.	196	344	273	271
	Мілкий безполицевий	184	329	261	258
НІР ₀₅ А		7,5	6,2	3,9	
НІР ₀₅ В		8,7	8,2	4,6	

При цьому перевага полицево-безполицевого обробітку виявлялася в літній і осінній періоди, а весною інтенсивність дихання була дещо вищою за диференційованого обробітку, що зумовлено дещо швидшим прогріванням ґрунту за полицево-безполицевого обробітку.

Позитивний вплив на дихання ґрунту здійснили органічні і мінеральні добрива. Від їх внесення продукування CO₂ ґрунтом збільшилося на 14–25 %

за диференційованого, на 18–30 % за полицево-безполицевого обробітку і на 17–40 % за мілкого безполицевого обробітку ґрунту. Отже, добрива більшою мірою, ніж обробіток, змінюють інтенсивність дихання ґрунту.

Розрахунки кореляційної залежності між активністю виділення CO_2 з ґрунтової товщі та запасами вологи 0–30 см свідчать про тісний прямий зв'язок. За полицево-безполицевого обробітку встановлено прямий тісний зв'язок, де $r=0,85$, тобто підвищення вологості ґрунту забезпечувало інтенсивніше виділення емісію CO_2 , що, на нашу думку, викликано глибшим розпушуванням орного шару і, відповідно, повнішим, повнішим поглинанням вологи опадів та змішуванням органічної речовини побічної продукції з більшим об'ємом ґрунту, порівняно з тим, що має місце за мілкого безполицевого обробітку.

Отже, звідси, наведені дані дозволяють зробити висновок, що добрива порівняно із системою обробітку являються собою більш значущий чинник, що визначає інтенсивність дихання ґрунту. Їх позитивний вплив на цей процес виявляється в чорноземах типових протягом вегетаційного періоду та охоплює (незалежно від системи обробітку ґрунту) весь оброблюваний шар. Вплив системи обробітку ґрунту виражений слабше. Полицево-безполицевий обробіток порівняно з диференційованим збільшує виділення CO_2 з поверхні ґрунту, викликає диференціацію інтенсивності дихання по профілю ґрунту, що слід враховувати при вирощуванні сільськогосподарських культур.

4.3. Асиміляція вуглекислоти ґрунту і ґрунтового повітря

На даний час однозначно встановлено, що у гетеротрофних організмів, включаючи й мікроорганізми, наявні ті ж механізми фіксації вуглекислоти, що і в автотрофів, за винятком рибулязо–1,5-дифосфаткарбоксилазної реакції [126]. Головною, принциповою відмінністю процесів фіксації вуглекислоти у автотрофів і гетеротрофів є джерела енергії, що використовуються в цих реакціях. Автотрофи використовують енергію, яка вивільняється у процесі

фотолізу води, тоді як гетеротрофи – енергію окислення готових органічних речовин. У гетеротрофних організмів відомо понад двадцять реакцій карбокисливування, в яких вуглець вуглекислоти перетворюється у вуглець органічних сполук [620]. Ці реакції поділяються на три групи: перебігають за рахунок енергії АТФ; здійснюються за рахунок енергії відновлених форм піримідіннуклеотидів і не потребують енергії ззовні. В них використовують як HCO_3^- (у АТФ H_2 -залежних реакціях).

Вуглекислота, що використовується в реакціях карбоксилювання в тканинах гетеротрофного організму, бере участь у біосинтезі жирних кислот, ліпідів, багатьох амінокислот, а значить і білків, у синтезі вуглеводів за рахунок інших органічних речовин, в утворенні пуринових і піримідинових основ (нуклеотидів і нуклеїнових кислот), а також – у реакціях трикарбонового циклу та інших процесах обміну речовин.

Процеси фіксації вуглекислоти можуть відбуватися з різною швидкістю. До основних факторів, які впливають на інтенсивність зазначених процесів, відноситься: концентрація і величини відношення в тканинах і навколишньому середовищі HCO_3^- і CO_2 , і рН середовища; концентрація іонів металів, які виступають активаторами (Mn, Zn, Mo) або інгібіторами (іони важких металів) ферментів карбоксилаз, концентрація субстратів, підлягають карбоксилуванню; ступінь забезпеченості клітин джерелами енергії (АТФ, АДН₂, АДФН₂) та іншими метаболітами (глюкоза, аміак і т. п.); активність карбоксилаз і концентрація їх коферментів – діотин, нікотинамід, тетрагідрофолат, вітаміни B₆, B₁₂ [126].

Окрім вказаних факторів, інтенсивність фіксації вуглекислоти мікрофлорою ґрунту залежить, ймовірно, і від кількості останньої на одиницю маси ґрунту, від її видового складу та інших факторів.

У таблиці 4.4 представлено результати інтенсивності асиміляції вуглекислоти мікрофлорою чорнозему типового за різних системах обробітку ґрунту. Вони свідчать, що у варіантах із диференційованого обробітку ґрунту. Вони свідчать, що у варіантах із диференційованого обробітку максимальна інтенсивність асиміляції CO_2 спостерігається на шарі 20–30 см.

За полицево-безполицевого найбільше засвоюється вуглекислоти верхньою частиною оброблюваного шару 0–10 см. Оцінюючи весь оброблювальний шар (0–30 см) можна відзначити, що інтенсивність асиміляції CO_2 за полицево-безполицевого обробітку вища, ніж за диференційованого та мілкового обробітку ґрунту. Це свідчить про велику чисельність і більш сприятливі умови для життєдіяльності гетеротрофних мікроорганізмів.

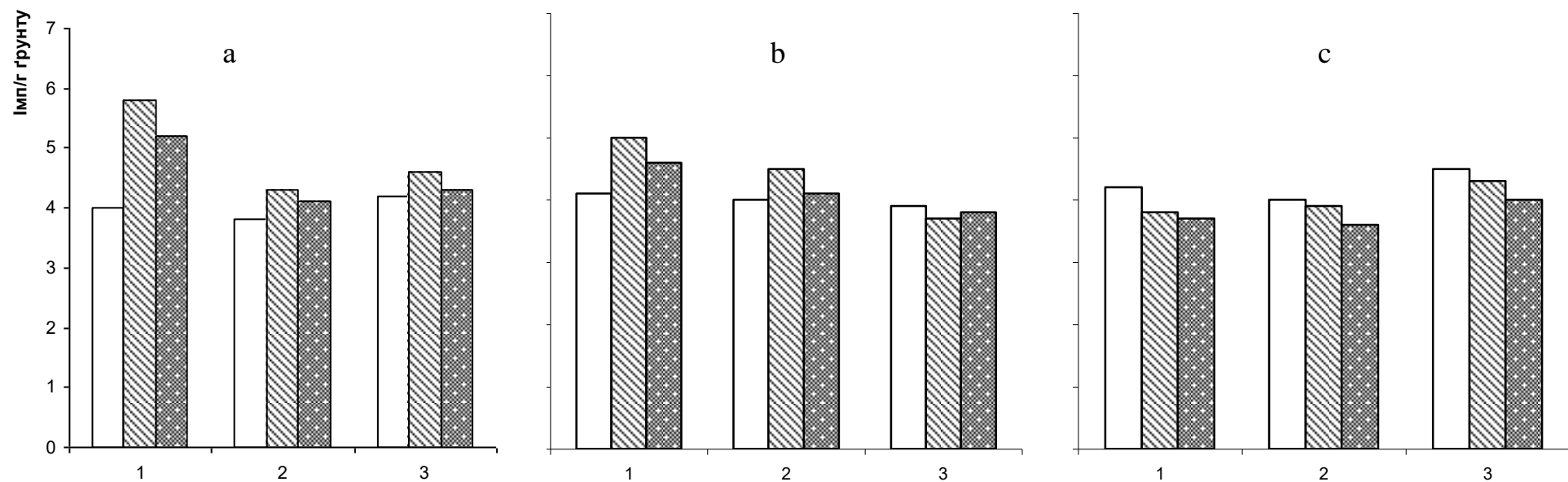
Таблиця 4.4




**Інтенсивність асиміляції CO_2 мікрофлорою чорнозему типового
залежно від системи обробітку ґрунту, імг/г сухого ґрунту**

Шар ґрунту, см	Система обробітку ґрунту		
	диференційований (контроль)	полицево- безполицевий	мілкий безполицевий
0–10	4226	6218	4837
10–20	4280	3904	4465
20–30	5242	4181	4531
0–20	4583	4768	4611
HIP_{05}	25	47	40

Засвоєння CO_2 мікроорганізмами ґрунту мінливо в часі. Дослідження, проведені у 2013–2016 рр. свідчать, що у верхній (0–10 см) і нижній (20–30 см) частинах оброблюваного шару високі значення інтенсивності асиміляції вуглекислоти притаманні зразкам ґрунту, відібраним у весняний період (рис. 4.2). Літом величина згаданого показника знижується і знову зростає восени. Стосовно шару 10–20 см, то за диференційованого обробітку ґрунту максимальне значення інтенсивності асиміляції CO_2 зафіксовано у середині вегетації, тоді як за полицево-безполицевого і мілкового безполицевого обробітку ґрунту має місце зниження від весни до осені.

Певний інтерес становлять дані про вплив добрив на інтенсивність асиміляції вуглекислоти. Дослідження показали, що застосування добрив знижує інтенсивність засвоєння CO_2 в 1,2–1,4 раза порівняно з варіантом без добрив (табл. 4.5). Це, на нашу думку, зумовлено збільшенням чисельності та кращим розвитком гетеротрофних мікроорганізмів на удобрених варіантах за рахунок великого надходження свіжої органічної речовини з добривами



 – Диференційований (контроль)
 – Поліцево-безполіцевий
 – Мілкий безполіцевий

Шар ґрунту: а – 0–10 см; б – 10–20 см; с – 20–30 см
 1 – весна; 2 – літо; 3 – осінь

Рис. 4.2. Інтенсивність асиміляції CO₂ чорнозему типового за вирощування соняшнику

і рослинними залишками.

Таблиця 4.5

Вплив добрив на інтенсивність асиміляції CO₂ мікрофлорою чорнозему типового за вирощування соняшнику, імг/г сухого ґрунту

Шар ґрунту, см	Система удобрення		
	без добрив	органо- мінеральна	мінеральна
0–10	7018	5659	4470
10–20	7951	5853	4155
20–30	6111	4779	3345
0–20	7026	5430	3990
НІР ₀₅	22	16	45

Отже, інтенсивність фіксації ¹⁴C із NaH ¹⁴CO₃ змінюється за профілем оброблюваного шару чорнозему і залежить від ряду факторів, до яких відносяться: гідротермічні умови вегетаційного періоду, спосіб обробітку ґрунту і система удобрення сільськогосподарських культур.

Гетеротрофні організми здатні використовувати вуглець вуглекислоти для створення свого тіла. Цей процес реалізується за допомогою карбоксилювання, що каталізується карбоксилазою. Вуглець вуглекислоти при цьому використовується для синтезу амінокислот, білків, вуглеводів, ліпідів, бере участь в інших процесах обміну речовин [126]. Для мікрофлори цей висновок також правомірний. В таблиці 4.6 наведено включення ¹⁴C у різні фракції органічної частини ґрунту. Частка радіоактивності, яка припадає на фракцію білків і нуклеїнових кислот, знаходяться в межах 30–42 %, на фракцію, що містить, крім цього, і ліпіди – 31–47 % загальної кількості включеної мітки. Радіоактивність фракції ліпідів становить у середньому 1–5 %.

Отже, наведені дані показують, що вуглець вуглекислоти ґрунту і ґрунтового повітря бере участь у процесах утворення біологічної маси ґрунту, включаючись у ряд органічних сполук.

Таблиця 4.6

**Включення ^{14}C із $\text{NaH } ^{14}\text{CO}_3$ у різні фракції органічної речовини
чорнозему типового залежно від системи обробітку ґрунту за
виращування соняшнику, імп/100 кг ґрунту ($M \pm m$, $n=5-7$)**

Обробіток ґрунту, удобрення, т і кг на 1 га сівозмінної площі	Шар ґрунту, см	Радіоактивність		
		загальна	білково- ліпідної фракції	білкової без ліпідів
Диференційований, компост 4,5 т $\text{N}_{40}\text{P}_{48}\text{K}_{54}$	0–10	3717±228	1752±174	1579±164
	10–20	4770±150	1822±207	1572±143
	20–30	3648±189	1409±208	1346±65
	0–30	4035±189	1661±196	1499±124
Полищево-безполи- цевий, компост 4,5 т $\text{N}_{40}\text{P}_{48}\text{K}_{54}$	0–10	4755±187	1759±98	1616±266
	10–20	3290±418	1018±55	975±157
	20–30	3925±225	1725±212	1456±99
	0–30	3991±277	1501±122	1346±174
NIP_{05}				

Нами проведені дослідження із вивчення впливу часу інкубації на включення радіоактивної мітки в різні фракції гумусу (табл. 4.7). Із наведених даних стає зрозуміло, що при збільшенні інкубації від 4 годин до 3 і 10 днів відбувається зменшення кількості мітки у фракціях загального органічного вуглецю і фульворечовин та її накопичення у фракції гумінових речовин.

Таблиця 4.7

**Вплив часу інкубації на включення ^{14}C із $\text{NaH } ^{14}\text{CO}_3$ у різні фракції
гумусу чорнозему типового за виращування соняшнику, імп/10 г ґрунту
($M \pm m$, $n=5-7$)**

Вуглець фракцій пірофосфатної кислоти	Час інкубації		
	4 години	3 дні	10 днів
Загальний	338±16	264±12	252±15
Фульворечовини	300±22	189±14	151±22
Гумінові речовини	39±5	76±7	101±17

Швидше за все, мабуть, пов'язано як із конденсацією фульворечовин і переходом у гумінові речовини, так і з заміною карбоксильних радикалів гумінових речовин на амінокислотні, амінні, амідні.

Таким чином, аналіз представлених даних дозволяє зробити висновок, що вуглець вуглекислоти і ґрунтового повітря бере активну участь в процесах гумусонакопичення. Спочатку фіксується гетеротрофними мікроорганізмами, а потім переходить у гумусові речовини ґрунту.

Інтенсивність асиміляції вуглекислоти ґрунту і ґрунтового повітря гетеротрофними організмами з наступним утворенням органічної речовини залежить від багатьох факторів: зволоженості, температурного градієнта, потенціальної родючості ґрунту і наявності енергетичного матеріалу.

Асиміляція вуглекислоти ґрунтового повітря на глибині оброблюваного шару ґрунту слідує за наявністю енергетичного матеріалу (свіжої органічної речовини). Тому за диференційованого обробітку вона завжди вища в шарі 20–30 см, куди заробляють органічні добрива і всі післяжнивні рештки. За полицево-безполицевого обробітку інтенсивність асиміляції вища у шарі 0–10 см.

Вуглець вуглекислоти, асимільований мікроорганізмами, становить у фракції білків і нуклеїнових кислот 30–12 %, ліпідів – 1–5 %.

Знову утворена органічна речовина після загибелі мікроорганізмів включається в ґрунтоутворюючий процес і у складі гумусових речовин, причому спочатку з переважанням у складі фульворечовин, а потім, з часом, із переважанням у складі гумінових речовин.

Асиміляцію вуглекислоти ґрунту і ґрунтового повітря можна розглядати як одну з прибуткових статей відтворення гумусу. Цей процес керований за допомогою різних систем обробітку ґрунту і систем удобрення. Асиміляція на фоні полицево-безполицевого обробітку ґрунту відбувається значно інтенсивніше.

4.4. Нітрифікаційна здатність

Показник нітрифікаційної здатності значною мірою характеризує родючість і ступінь окультуреності ґрунту. Оптимальний перебіг нітрифікаційних процесів створює сприятливі умови для життєдіяльності мікроорганізмів і вищих рослин [316, 334].

Інтенсивність нітрифікації залежить від багатьох факторів, і в першу чергу від вмісту в ґрунті органічної речовини, рН середовища, гідротермічних умов, біологічних особливостей вирощуваних культур, внесення добрив [6]. Чим вища енергія нітрифікації, тим більшу кількість нітратів здатний накопичити ґрунт [114]. Проте надмірна кількість нітратів несприятлива як для ґрунту, так і для рослин, а часто супроводжується й негативними екологічними наслідками [117]. У зв'язку з цим регулюванню нітрифікаційної здатності ґрунтів в агрофітоценозах приділяється велика увага.

У проведених дослідках нітрифікаційну здатність чорнозему типового глибокого визначали у зразках, відібраних у 2011 р. у полі пшениці озимої (табл. 4.8). Одержані результати свідчать, що застосування протягом п'яти років полицево-безполцевого та мілкового безполцевого обробітку ґрунту, порівняно з диференційованим обробітком, зумовили зниження нітрифікаційної здатності в нижній оброблювальній частині ґрунту. У верхній частині оброблюваного шару нітрифікаційна здатність ґрунту на варіантах полицево-безполцевого обробітку істотно вища. Це пов'язано з розподілом у профілі ґрунту рослинних залишків.

За безполцевих обробітків основна маса останніх зосереджена у верхній частині орного шару, тому мала підвищену нітрифікаційну здатність. За диференційованого обробітку більша частина енергетичного матеріалу потрапляла в шар 20–30 см, що призводило до підсилення у ньому нітрифікації.

Таблиця 4.8

**Нітрифікаційна здатність чорнозему типового за вирощування
пшениці озимої, мг N–NO₃ на кг ґрунту, (2012–2016 рр.)**

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Шар ґрунту, см		
		0–10	10–20	20–30
Без добрив	Диференційований (контроль)	13,4	12,8	13,0
	Полицево- безполицевий	14,5	12,4	11,3
	Мілкий безполицевий	14,0	13,2	12,5
Органічна	Диференційований (контроль)	15,8	14,6	15,3
	Полицево- безполицевий	17,4	15,4	14,4
	Мілкий безполицевий	16,9	15,4	14,0
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	19,9	19,2	19,7
	Полицево- безполицевий	21,1	20,4	18,4
	Мілкий безполицевий	20,3	18,5	17,4
Мінеральна	Диференційований (контроль)	17,3	16,2	16,8
	Полицево- безполицевий	18,1	17,2	15,2
	Мілкий безполицевий	17,7	17,0	14,4
НІР ₀₅ А		0,085	0,46	0,41
НІР ₀₅ В		1,4	1,5	1,53

Таким чином, за застосування полицево-безполицевого обробітку спостерігається інгібування процесу нітрифікації порівняно з диференційованим варіантом. Проте шар ґрунту, в якому зосереджена основна маса рослинних залишків, має підвищену відносно інших шарів нітрифікаційну здатність, що цілком узгоджується з розподілом мікроорганізмів у чорноземі типовому глибокому.

Висока нітрифікаційна здатність ґрунту у верхній частині оброблюваного шару викликає накопичення нітратів, може зумовлювати їх переміщення униз із ґрунтовою вологою, тоді як підвищення нітронакопичення у нижній частині орного шару за диференційованого обробітку супроводжується втратою нітратів у результаті вимивання за межі кореневмісного шару [335].

Системи удобрення справили помітний вплив на нітрифікаційну здатність. Застосування органічної системи удобрення на фоні 4 т компосту на 1 га сівозмінної площі зменшувало нітрифікаційну здатність на 15–20 % порівняно з органо-мінеральною системою. На варіанті без добрив відзначено зниження нітрифікаційної здатності на 12–18 %, що узгоджується з даними по чисельності нітрифікуючих бактерій і, на нашу думку, зумовлено декальціонуванням і підкисленням ґрунту, а також розрегулюванням біохімічних процесів. Істотний вплив на інтенсивність нітрифікації справило спільне внесення органічних (4,5 т компосту на 1 га сівозмінної площі) і мінеральних (142 кг на 1 га сівозмінної площі) добрив, де цей показник збільшився на 40–52 % порівняно з контролем. Застосування мінеральних добрив до 294 кг на 1 га сівозмінної площі не підвищувало нітрифікаційну здатність, а спричинило часткову інгібуючу дію.

Отже, результати досліджень показали, що нітрифікаційна здатність чорнозему типового глибокого значною мірою в чому залежить від їх сільськогосподарського використання. Систематичне застосування полицево-безполицевого обробітку, порівняно з диференційованим на фоні загальної інгібуючої дії (в середньому на 4–13 %), сприяє збільшенню в 1,8 раза нітрифікаційної здатності у верхній частині оброблюваного шару, знижує ймовірність внутріґрунтової міграції нітратів за межі кореневого шару. Високий позитивний ефект виявляють органічні добрива. За систематичного застосування компосту нітрифікаційна здатність збільшується на 22–53 %, а за їх спільного внесення з помірними нормами мінеральних добрив – на 31–

39 %. Довготривале застосування високих норм мінеральних добрив (284 кг, д.р. NPK) знижує нітрифікаційну здатність ґрунту. Застосуванням у сівозміні різних систем обробітку і зміною системи удобрення культур з'являється можливість регулювати процес накопичення нітратного азоту в ґрунті.

4.5. Целюлозолітична активність ґрунту

Целюлозолітична здатність ґрунту виступає характеристикою трансформацій органічної речовини і визначає продуктивність ґрунтового мікронаселення [335].

Під час вирощування сільськогосподарських культур до ґрунту надходить значна частина рослинних залишків, основну складову яких становить целюлоза. У рослинах вміст останньої знаходиться в межах 45–80 %. В орному шарі її кількість досягає 5 % і являє собою поступний резерв ґрунтової родючості. Целюлозоруйнівні мікроорганізми здійснюють розклад рослинних залишків, виділяючи при цьому в середовище окислювальні ферменти [577], яким притаманна властивість синтезувати гумусові речовини з продуктів розкладу цих залишків.

Здатність розкласти целюлозу не відноситься до характерних особливостей будь-якої систематично однорідної групи мікроорганізмів. Навпаки, вона виявляється у багатьох видів бактерій і грибів, що в систематичному плані досить різні [256].

Найпоширенішим методом визначення рівня активності целюлозорозкладаючих мікроорганізмів є метод аплікації з використанням лляної тканини, за інтенсивністю розкладу якої можна стежити за біокліматичними й екологічними умовами ґрунтоутворення, інтенсивністю біохімічних процесів, біологічним кругообігом елементів живлення і забезпеченістю ними культурних рослин [95].

Проведені дослідження показали, що життєдіяльність целюлозоруйнівних мікроорганізмів непостійна у часі й змінюється залежно від системи обробітку ґрунту та удобрення. Визначення, виконані за допомогою методу аплікацій, дозволили встановити, що целюлозолітична активність чорнозему типового значною мірою залежить від гідротермічних умов і наявності вологи у ґрунті.

Протягом 30 днів розклалося не більше 4–5 % маси лляної тканини, закладеної в 0–30 см шарі ґрунту (табл. 4.9). Отже, життєдіяльність целюлозоруйнівних мікроорганізмів при підвищеній вологості ґрунту і низьких температурах пригнічена. У процесі прогрівання ґрунту інтенсивність розкладання клітковини зростала і досягала максимуму (22–45 % залежно від шару) в червні.

Таблиця 4.9

**Вплив систем обробітку ґрунту на розклад целюлози в чорноземі
типовому глибокому за вирощування соняшнику,
% від початкової маси лляної тканини, (2011–2017 рр.)**

Варіант обробітку ґрунту, А	Шар ґрунту, см, В	Строк визначення				Середнє
		травень	червень	липень	серпень	
Диференційований (контроль)	0–10	27,2±1,7	35,4±2,4	30,9±2,0	24,9±1,1	29,6±1,8
	10–20	24,8±1,9	39,4±3,2	35,3±2,0	23,4±0,4	30,7±1,8
	20–30	18,6±1,3	24,8±2,1	26,8±1,7	19,0±0,7	22,3±1,4
Полицево-безполицевий	0–10	31,1±2,2	40,6±2,2	34,5±2,4	29,8±1,8	34,0±2,1
	10–20	23,0±1,7	35,9±1,9	33,8±1,5	25,4±1,1	29,5±1,5
	20–30	17,7±1,9	23,6±1,7	24,8±1,4	19,6±0,9	21,4±1,8
Мілкий безполицевий	0–10	33,0±2,0	44,4±2,9	35,9±1,7	30,8±2,0	36,0±2,1
	10–20	21,4±1,3	32,7±2,4	30,9±2,4	20,1±0,6	26,3±1,7
	20–30	16,9±1,1	21,6±1,9	23,6±1,2	17,7±0,7	19,9±1,2
НІР ₀₅ А		4,9	4,3	4,1	1,15	
НІР ₀₅ В		2,8	2,7	2,0	0,84	

У липні й серпні температура ґрунту різко підвищувалося, а вміст вологи зменшувався і, як наслідок, відзначалося зниження целюлозолітичної активності.

Вплив систем обробітку ґрунту виявлявся по-різному. В усі строки визначення підвищена целюлозолітична активність 0–10 см шарі відзначена за безполицевого обробітку. У шарах 10–20 і 20–30 см перевагу мав варіант диференційованого обробітку. У цілому в 0–30 см шарі незалежно від системи обробітку ґрунту розкладалося 23–25 % лляної тканини (табл. 4.10).

Таблиця 4.10

**Інтенсивність розкладання лляної тканини за 45 діб експозиції у ґрунті
за вирощування буряків цукрових, % (2012–2016 рр.)**

Система удобрення, А	Система обробітку ґрунту, В	Шар ґрунту, см			Середнє
		0–10	10–20	20–30	
Без добрив	Диференційований (контроль)	24,0	22,1	20,2	22,1
	Полицево- безполицевий	24,3	22,6	21,4	22,7
	Мілкий безполицевий	24,6	21,6	18,3	21,5
Органічна	Диференційований (контроль)	27,0	25,7	22,6	25,1
	Полицево- безполицевий	27,7	25,9	24,1	25,9
	Мілкий безполицевий	27,8	21,3	17,9	22,3
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	28,7	26,0	24,1	26,2
	Полицево- безполицевий	29,6	26,8	24,9	27,1
	Мілкий безполицевий	29,2	22,5	18,9	23,5
Мінеральна	Диференційований (контроль)	30,8	27,7	26,1	28,2
	Полицево- безполицевий	32,7	28,7	27,9	29,7
	Мілкий безполицевий	32,0	22,5	20,3	24,9
НІР ₀₅ А		1,56	1,29	1,03	1,29
НІР ₀₅ В		1,80	1,48	1,18	1,49

Дещо значнішим на інтенсивність розкладу клітковини в ґрунті виявився вплив добрив. За одержаними даними, систематичне внесення компосту підвищило целюлозолітичну активність чорнозему типового на 3–4 % за диференційованого і на 2–5 % за полицево-безполицевого обробітку. Ефективнішим було спільне застосування компосту і мінеральних добрив. За їх внесення втрата маси лляної тканини виявилася на 4–15 % більшою, ніж у варіанті без добрив.

Отже, результати досліджень дозволяють зробити висновок, що целюлозолітична активність ґрунту характеризується динамічністю протягом вегетаційного періоду і значною мірою залежить від гідротермічного режиму, регульованого системою обробітку ґрунту і істотно збільшується за внесення органічних і мінеральних добрив.

4.6. Ферментативна активність

Ферменти – біологічні каталізатори білкової природи, які відіграють важливу роль в обміні речовин, регулюючи біологічні процеси. Вони синтезуються мікрофлорою, вищими рослинами і надходять у ґрунт з їх виділеннями, після відмирання й лізису мікробних клітин та рослинних залишків. Ферменти, які виділяються у ґрунт, значний час зберігають активність завдяки фіксації (іммобілізації) органічною речовиною мулуватої та пилуватої фракції ґрунту.

Ґрунтові ферменти слугують біологічними каталізаторами перетворень рослинних і тваринних залишків. Ферментативна активність, як вказують В. Ф. Купревич, Т. О. Щербакова, «найбільш суттєвий показник біологічної активності ґрунту» [245]. У зв'язку з тим, що джерелом ферментів у ґрунті виступає сукупність усіх його живих організмів, то загалом активність ферментів відтворює інтенсивність і спрямованість біохімічних процесів у ґрунті та може бути індикатором стану його біоти [86].

Ґрунтові ферменти, на відміну від ферментів, що входять до складу живих організмів, становлять найбільш стабільну складову частину біологічної активності ґрунту, оскільки після відмирання живих організмів здатні можуть адсорбуватися ґрунтовими частинками і протягом тривалого періоду зберігати свою активність. Джерелом ферментів у ґрунті також слугують рослинні залишки [508].

Під впливом різних ферментів незасвоювані форми органічних і мінеральних речовин ґрунту перетворюються у засвоювані для рослин і мікроорганізмів з'єднань сполук. Тому динаміка ферментативної активності ґрунту характеризує особливості процесів трансформації елементів родючості та специфіку ґрунтоутворення.

Агротехнічні й агрохімічні заходи, які направлені на підвищення родючості ґрунту, впливають на ферментативну активність. Такі заходи, як правильне чергування культур у сівозмінах, внесення в ґрунт органічних, мінеральних добрив і мікроелементів, активізують або пригнічують ферментативні процеси.

У дослідженнях В. В. Голохи [106] систематичне внесення добрив у зерно-буряковій сівозміні істотно вплинуло на активність пероксидази у шарі ґрунту 0–20 см, поліфенолоксидазна активність змінювалася значно менше. Максимальна активність поліфенолоксидази ґрунту спостерігалася під впливом систематичного внесення органічних, а пероксидази – мінеральних добрив ($N_{135}P_{135} K_{135}$). Під впливом мінеральних (фосфорно-калійних) і орґано-мінеральних добрив активність ферментів підвищувалася у 1,5–2 рази. Проте відомо, що не завжди певні дози добрив активізують ферментативну діяльність ґрунту. Так, за даними А. М. Кутова [246] мінеральні добрива, внесені під кукурудзу, підвищували активність інвертази, тоді як активність каталази і пероксидази – пригнічували, що було зумовлено дією кислотних залишків добрив.

Разом із тим, ферментативна активність ґрунту активується діяльністю сільськогосподарських рослин. Дослідженнями Ф. Х. Хазцева [510] встановлено, що активність ферментів збільшується у рослин з добре розвиненою кореневою системою, а також у період інтенсивного росту.

На думку С. Я. Мухортова [331], у системі агротехнічних впливів, спрямованих на оптимізацію біохімічного потенціалу ґрунту, важливе місце належить системі його обробітку.

Стосовно окисно-відновлюваних ферментів (дегідрогенази, пероксидази, поліфенолоксидази), які забезпечують реакції відщеплення водню від окислюваних субстратів і беруть участь в процесах перетворення органічних сполук ароматичного ряду в компости гумусу, то їх активність значною мірою залежала від обробітку ґрунту. Системи удобрення підвищили активність поліфенолоксидази на 10–13 % і дещо знизили активність пероксидази, що виступає агентом мінералізації гумусових речовин. У результаті змін у структурі ферментного комплексу застосування полицевого обробітку один раз у 4–5 років під просапні культури (буряки цукрові, соняшник) у сівозміні, а під решту культур сівозміни безполицеві обробітки, порівняно з диференційованим обробітком, забезпечив збільшення коефіцієнта накопичення гумусу на 10–12 % в усьому оброблюваному шарі.

Для ефективного використання показників біологічної активності ґрунту як індикатора родючості і характеру ґрунтоутворення важливо знати зв'язки між цими та іншими показниками ґрунтових режимів і характеристик.

У процесі досліджень виявлено неістотний середній зв'язок між активністю уреазі і вмістом амонійного азоту ($r=0,40\pm0,45$) рівняння регресії ($Y=8,6+0,54X$), активністю протеази і вмістом азоту, що легко гідролізується ($r=0,51\pm0,35$) рівняння регресії ($Y=54,7+18,5X$). Наявність подібного зв'язку між цими показниками легко пояснити. Амінокислоти, що з'являються у

грунті в результаті впливу протеолітичних ферментів на білки і поліпептиди, становлять поряд з амінами основний фонд сполук, що містять азот. Найвища активність протеази і вмісту азоту, що легко гідролізується, відзначається в тих шарах ґрунту, де міститься найбільша кількість поживних залишків. Спостерігається неістотний середній зв'язок між активністю каталази і вмістом обмінного калію ($r=0,47\pm0,36$) рівняння регресії ($Y=60,05+32,3X$), активністю каталази і ступеня рухомості калію ($r=0,57\pm0,33$) рівняння регресії ($Y=106,2+56,7X$).

Активність фосфатази перебуває в істотному середньому зв'язку із вмістом рухомого фосфору ($r=0,71\pm0,24$) рівняння регресії ($Y=38,5+3,95X$), активністю фосфатази і ступеня рухомості фосфатів ($r=0,61\pm0,32$) рівняння регресії ($Y=19,4+138,2X$).

Основною причиною істотної кореляції між активністю гідролітичних ферментів і вмістом рухових елементів живлення, на нашу думку, слід вважати однотиповість диференціації орного і підорного шарів ґрунту за різними елементами родючості, у тому числі й за цими показниками. Тип диференціації визначається характером технології вирощування відповідних культур.

Варто відзначити особливості розподілу в ґрунті активної частини кореневої системи рослин, залежно від того, яка група технологій (полицева або безполицева) застосовуються за вирощування культури. Характер розподілу в ґрунті рослинних залишків за даною технологією подібний з характером розподілу в ній компосту і мінеральних добрив. Це значною мірою пояснює наявність істотного зв'язку між активністю гідролітичних ферментів і вмістом рухомих форм азоту, фосфору та калію в ґрунті.

Прямолінійна кореляція виявляється між нітрифікаційною здатністю і вмістом у ґрунті азоту сполук, що легко гідролізуються ($r=0,80\pm0,24$) рівняння регресії ($Y=(-19,9)+4,37X$). Органічні сполуки, що містять азот,

піддаються у ґрунті амоніфікації, амонійний азот у подальшому окислюється, тобто піддаються нітрифікації.

Активність гідролітичних ферментів, поряд з деякими показниками чисельності ґрунтових мікроорганізмів, істотно корелює з масою кореневих систем вирощуваних культур.

Відзначено істотний сильний зв'язок між активністю уреазы і масою кореневої системи пшениці озимої ($r=0,72\pm0,21$) рівняння регресії ($Y=0,42+3,98X$), активністю протеазы і масою кореневої системи пшениці озимої ($r=0,82\pm0,19$) рівняння регресії ($Y=8,53+42,8X$).

Тіснота зв'язку між чисельністю мікроорганізмів, здатних засвоювати мінеральні форми азоту, і масою кореневої системи пшениці озимої значно перевищує цей показник для зв'язку між чисельністю сапрофітних бактерій і масою кореневої системи пшениці озимої.

Прямолінійна істотна сильна кореляція виявлена між чисельністю мікроорганізмів, здатних засвоювати мінеральні форми азоту, і масою кореневої системи пшениці озимої ($r=0,81\pm0,24$) рівняння регресії ($Y=25,8+98,2X$). Неістотний зв'язок встановлено між чисельністю бактерій і масою кореневої системи пшениці озимої ($r=0,48\pm0,37$) рівняння регресії ($Y=25,1+56,7X$). Це пояснюється здатністю активних коренів інтенсивно галузитися й накопичуватися в місцях локалізації рухомих форм елементів живлення.

Очевидно, чисельність мікроорганізмів, здатних засвоювати мінеральні форми азоту, являє собою більш чутливий індикатор ефективності родючості ґрунту, ніж чисельність сапрофітних бактерій.

Серед показників біологічної активності ґрунту, що істотно корелюють з урожайністю вирощуваних культур, слід виділити активність гідролітичних ферментів протеазы, фосфатазы, уреазы, а також нітрифікаційну здатність ґрунту. Особливо високими коефіцієнтами кореляції і низькими їх стандартними похибками характеризується зв'язок між активністю

гідролітичних ферментів і урожайністю пшениці озимої, що дає підстави вважати такі показники цілком задовільними індикаторами ефективної родючості ґрунту.

Істотний кореляційний зв'язок відзначено між активністю протеази й урожайністю пшениці озимої ($r=0,93\pm0,11$) рівняння регресії ($Y=0,63+42,8X$), активністю фосфатази й урожайністю пшениці озимої ($r=0,94\pm0,14$) рівняння регресії ($Y=35,8+32,2X$), нітрифікаційною здатністю й урожайністю пшениці озимої ($r=0,82\pm0,20$) рівняння регресії ($Y=4,2+21,3X$).

Неістотний кореляційний зв'язок спостерігається між активністю протеази і урожайністю буряків цукрових ($r=0,68\pm0,33$) рівняння регресії ($Y=0,32+4,3X$), активністю фосфатази й урожайністю буряків цукрових ($r=0,59\pm0,37$) рівняння регресії ($Y=9,37+19,0X$), активністю каталази й урожайністю буряків цукрових ($r=0,52\pm0,27$) рівняння регресії ($Y=37,4+3,4X$).

Показники, що характеризують напруженість окислювально-відновних процесів, які перебігають у ґрунті, крім істотної кореляції між собою, в ряді випадків виявляють досить тісний лінійний зв'язок з показниками чисельності мікроорганізмів у різних шарах орного і підорного горизонтів. У більшості випадків ці показники не корелюють з активністю гідролітичних ферментів, вмістом у ґрунті рухомих форм елементів живлення, масою кореневих систем і врожайністю культур. Проте слід зазначити, що інтенсивність проєктування ґрунтом вуглекислоти, активність дегідрогенази і поліфенолоксидази мають таку ж пошарову диференціацію, як і інші досліджувані показники біологічної активності ґрунту.

Так, активність дегідрогенази знаходиться в досить тісній лінійній залежності від інтенсивності дихання ($r=0,96\pm0,09$) рівняння регресії ($Y=22,6+68,1X$) і нітрифікаційної здатності ($r=0,91\pm0,13$) рівняння регресії ($Y=6,7+37,6X$).

Інтенсивність дихання ґрунту перебуває в тісній лінійній залежності від чисельності бактерій, що засвоюють органічні форми азоту ($r=0,88\pm0,18$) рівняння регресії ($Y=(-25,3)+0,23X$) і чисельністю мікроорганізмів, що живляться мінеральними формами азоту ($r=0,90\pm0,16$) рівняння регресії ($Y=(-55,2)+1,32X$) від нітрифікаційної здатності ($r=0,91\pm0,12$) рівняння регресії ($Y=4,7+6,5X$).

Органо-мінеральна система удобрення здійснює значне, порівняно з мінеральною, підвищення коефіцієнта накопичення гумусу і прямого показника окультуреності та агрофізичного стану ґрунту – вміст у ньому водотривких агрономічно цінних структурних агрегатів.

Стосовно ферментативної активності чорнозему типового глибокого, то упродовж 2012–2016 рр. встановлено, що максимальна біохімічна активність ґрунту припадає на літні місяці. Восени вона знижується, але мінімальні показники відзначаються у весняний період. Одним із факторів, що лімітують біохімічні процеси в чорноземах типових глибоких, слугує температура. Знижену активність ґрунтових ферментів у весняні місяці можна пояснити слабким розвитком рослин і мікроорганізмів, які в цей період мало поглинають елементів мінерального живлення і, як наслідок, мало виділяють ферментів. Також лімітуючим фактором слід вважати вологість ґрунту.

Одержані дані свідчать, що активізацію біохімічних процесів у ґрунті забезпечують лише помірні норми мінеральних добрив (табл. 4.11). Це досить чітко виявилось за обробітків ґрунту. Підвищені норми мінеральних добрив інгібують ферментативну активність ґрунту.

Активність протеази за органо-мінеральної системи удобрення посилюється на 13–25 %, уреази – 9–27, фосфатази – 11–31, каталази – на 190 % порівняно з варіантом без застосування добрив. При застосуванні полицево-безполцевого обробітку ґрунту зростає активність ферментів порівняно з контролем.

Таблиця 4.11

**Ферментативна активність чорнозему типового залежно від системи
удобрення і обробітку ґрунту в полі соняшнику, (2012–2016 рр.)**

Система удобрення	Активність ферментів				
	протеаза	уреаза	фосфатаза	амілаза	каталаза
Диференційований (контроль)					
Без добрив	$0,12 \cdot 10^{-3}$	$0,55 \cdot 10^{-4}$	$0,83 \cdot 10^{-4}$	138	$0,19 \cdot 10^{-6}$
Органічна	$0,12 \cdot 10^{-3}$	$0,46 \cdot 10^{-4}$	$0,74 \cdot 10^{-4}$	144	$0,47 \cdot 10^{-6}$
Органо- мінеральна	$0,15 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-4}$	$0,92 \cdot 10^{-4}$	149	$0,57 \cdot 10^{-6}$
Мінеральна	$0,89 \cdot 10^{-4}$	$0,46 \cdot 10^{-4}$	$0,88 \cdot 10^{-4}$	96	$0,41 \cdot 10^{-6}$
Полицево-безполицевий обробіток					
Без добрив	$0,15 \cdot 10^{-3}$	$0,64 \cdot 10^{-4}$	$0,93 \cdot 10^{-4}$	145	$0,25 \cdot 10^{-6}$
Органічна	$0,11 \cdot 10^{-3}$	$0,18 \cdot 10^{-4}$	$1,19 \cdot 10^{-4}$	126	$0,81 \cdot 10^{-6}$
Органо- мінеральна	$0,17 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-4}$	$1,22 \cdot 10^{-4}$	124	$0,73 \cdot 10^{-6}$
Мінеральна	$0,91 \cdot 10^{-4}$	$0,46 \cdot 10^{-4}$	$1,04 \cdot 10^{-4}$	118	$0,51 \cdot 10^{-6}$
НІР ₀₅ для удобрення	0,02	0,14	0,06	20,89	0,08
НІР ₀₅ для обробітку	0,03	0,09	0,07	9,94	0,05

Застосування мінеральної системи удобрення пригнічує ферментативну активність ґрунту. Ґрунтові фосфатази беруть безпосередню участь у процесах розкладу органічних залишків у ґрунті, що призводить до утворення фосфорорганічних сполук типу фосфорних ефірів, вуглеводів, органічних кислот, ліпідів, фітіну, специфічних гумусових речовин. Зазначена група сполук утворює доступну для рослин ортофосфорну кислоту.

Висновки до розділу 4

1. Застосування полицево-безполицевого обробітку, на фоні органо-мінеральної системи удобрення, активізує біологічні процеси ґрунту, виділення ґрунтом вуглекислоти й асиміляції останньої мікроорганізмами, зростання целюлозолітичної, нітрифікаційної активності.

2. За допомогою систем удобрення і обробітку ґрунту з'являється можливість спрямованого регулювання ферментативної активності ґрунту з метою відтворення ґрунтової родючості та підвищення продуктивності агроценозу.

Одержані результати досліджень опубліковано в наступних джерелах:

1. Центи́ло Л. В. Вплив елементів агротехнологій на спрямованість процесів трансформаційних азотних сполук у чорноземі типовому. Збалансоване природокористування. 2019. №1. С.32–37.

2. Танчик С. П., Центи́ло Л. В. Особливості удобрення кукурудзи за її вирощування на чорноземі типовому в Лісостепу України. Науковий вісник НУБіП України Серія: Агрономія. 2017. №269. С. 74–83.

3. Центи́ло Л. В. Ферментативна активність чорнозему типового залежно від основного обробітку ґрунту і удобрення. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. 2019. Вип. 30. С. 66–71.

4. Центи́ло Л. В. Біологічна активність ґрунту за різних систем удобрення соняшнику та обробітку ґрунту. Таврійський науковий вісник. 2019. Вип. 108. С. 117–122.

РОЗДІЛ 5

ПОЖИВНИЙ РЕЖИМ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО

5.1. Азотний режим чорноземних ґрунтів

Азоту, як одному з ключових елементів у живленні рослин, належить істотна роль у підвищенні врожайності сільськогосподарських культур і збереженні родючості чорноземних ґрунтів [88, 89, 91, 163, 353, 456]. Саме тому вивчення азотного режиму чорноземних ґрунтів у процесі сільськогосподарського використання дає можливість оптимізувати живлення рослин, розробити найбільш ефективні норми їх застосування в способи регулювання родючості з урахуванням ланок сівозмін, системи удобрення всієї сівозміни та окремих культур.

Поряд з азотом мінеральних і органічних добрив [99, 169, 174, 179, 294, 520, 589], значний вплив на азотний режим ґрунту виявляє біологічний азот бобових культур [3, 492], що надходить у ґрунт у процесі азотофіксації асоціативними мікроорганізмами [381, 491] і дає можливість поліпшити азотний баланс ґрунту, підвищити вміст його органічних і мінеральних сполук. При цьому поліпшується мікробіологічний режим ґрунту, синтез органічної речовини та забезпеченість рослин азотом.

Вивчення динаміки вмісту лужногідролізованого азоту під впливом системи удобрення було проведено на чорноземних ґрунтах у ряді досліджень [524, 584]. Вони показали, що зміни вмісту лужногідролізованого азоту пов'язані із застосуванням як мінеральних, так і органічних добрив.

Водночас А. В. Петербургський [383] на основі проведених досліджень дійшов висновку, що із лужногогідролізу ґрунту більше екстрагується органічного азоту, ніж за кислотних. У дослідженнях Е. І. Шконде [590] була виявлена тісна кореляція між азотом, визначеним за методом Корнфільда, вмістом загального азоту та нітрифікаційною здатністю ґрунту.

На думку І. В. Тюріна [25], запаси загального азоту ґрунту можна розглядати як основний показник його потенційної родючості, а кількість азоту, яку щорічно використовують рослини з цих запасів, слугує умовною одиницею актуальної родючості. Наявність тісного зв'язку між вмістом загального азоту і природною родючістю ґрунтів відзначалося у дослідженнях Л. Ю. Верниченко [67], І. С. Кравця [224].

За даними досліджень Г. П. Гамзікова, Г. І. Кострик, В. М. Емельянової [90], В. Н. Кудеярова [231], П. І. Смірнова [455], П. М. Шияна, В. М. Бондаренко [589], R. Harrison, S. Ellis, R. Cross, O. P. Hoodson [613], застосування технічного азоту мінеральних добрив порушує природну рівновагу між процесами іммобілізації-мінералізації, зумовлює додаткову мобілізацію азоту ґрунту, збільшує непродуктивні втрати азоту внаслідок процесів вимивання та емісії.

Ефективніша й екологічно збалансована органо-мінеральна система удобрення. Внесення органічних добрив посилює іммобілізаційні процеси і сприяє стабілізації запасів органічного азоту ґрунту [326]. Згідно з дослідженнями Г. П. Гамзікова [88], у перший рік внесення гною з його складу рослинам стає доступним майже 20–30 % азоту і до 10 % використовується рослинами у післядії наступного року. При цьому іммобілізований азот гною впродовж вегетації поступово мінералізується і визначається як повільно діюче джерело азоту.

Враховуючи, що мінеральні добрива можуть викликати як позитивну, так і негативну дію на ґрунт, до вирішення проблеми оптимізації показного режиму слід підходити комплексно. При цьому В.П. Мінеєв [318] та інші вважають, що найвища результативність відтворення родючості ґрунту за найменших негативних екологічних наслідків досягається за спільного використання мінеральних і органічних добрив, хімічних меліорантів та мінімізації обробітку ґрунту [130].

На думку І. Г. Захарченко [176], В. Г. Мінеєва [318], інтенсивність кругообігу поживних речовин значною мірою визначає рівень ефективного відтворення ґрунтів. Довготривале вирощування сільськогосподарських культур при дефіцитному балансі поживних речовин (без добрив, а також за недостатнього їх внесення) призводить до поступового виснаження у ґрунтах запасів азоту, фосфору, калію та інших елементів живлення. При цьому виснаження тим сильніше, чим інтенсивніший обробіток ґрунту та вища насиченість сівозмін просапними культурами.

За даними Б. С. Носко [348], на сьогодні основні елементи живлення знаходяться у дефіциті. Хоча за останні десятиліття у ґрунтах України відзначається збільшення вмісту рухомих фосфатів і обмінного калію, їх рівні відповідно 8,1 і 13,7 мг/100 г ґрунту залишаються значно за нижчими оптимальні для багатьох вирощуваних сільськогосподарських культур. Особливо критична ситуація з елементами живлення складається на еродованих ґрунтах, де крім виносу з рослин, спостерігається значні їх втрати внаслідок ерозійних процесів.

За останні 30–35 років сільськогосподарська наука веде активний пошук шляхів збереження ґрунтової родючості. У землеробстві України виокремився новий напрям, який все більшою мірою пов'язується з способами обробітку ґрунту сільськогосподарських культур.

За відмови від оранки стерня і післяжнивні рештки зосереджуються на поверхні і верхньому шарі ґрунту, значно більше накопичується й зберігається волога, зменшується глибина промерзання ґрунту, підвищується водопроникність і вміст агрономічної цінності структури, змінюється характер розподілу добрив і кореневих систем рослин, відзначається посилення новоутворення гумусових речовин, збільшується чисельність мікроорганізмів, що впливає на режим поживних речовин [579].

В умовах застосування безполицевого обробітку на чорноземах відбувається стрімкий перерозподіл фосфатів, оскільки вони схильні до

біологічної акумуляції і слабо мігрують в межах ґрунтової товщі. Меншою мірою виявляється диференціація за рухомим азотом та обмінним калієм [523].

На переконання Ф. А. Попова [400], зосередження поживних речовин у верхній частині орного шару не можна вважати позитивним для живлення рослин. Оптимальні умови створюються за збагачення елементами живлення нижніх шарів одного шару.

Разом із тим, С. І. Коржов [219] вважає, що оптимальні умови живлення рослин створюються за однорідного розподілу елементів живлення оброблюваного шару ґрунту. Створення гомогенного орного шару в чорноземах товщиною не менше 20 см сприяє посиленню процесу нітрифікації і мобілізації доступної фосфорної кислоти, зумовлює інтенсивний розвиток кореневої системи та освоєння нею більшою мірою нижніх частин орного шару. Відзначається також сприятливий вплив гомогенного шару нижніх горизонтів ґрунту.

Як показали дослідження А. М. Малієнко та ін. [285], у першій половині вегетації кукурудзи у варіантах із плоскорізним обробітком спостерігається більший вміст нітратного азоту, ніж за оранки, а починаючи із фази цвітіння до молочно-воскової стиглості перевагу мають варіанти з полицевим обробітком. Надходження поживних речовин у рослини в нормальні і вологі роки було значнішим за плоскорізного обробітку, в посушливі – за оранки.

За даними Я. Н. Мухортова [332] вміст рухомих фосфатів у чорноземах слабо змінюються залежно від системи обробітку ґрунту. Проти в посушливі роки їх менше за оранки, тоді як, аммонічного азоту більше за плоскорізного обробітку. Це пов'язано з тим, що кореневі залишки й післяжнивні рештки в такому випадку знаходяться у верхній частині оброблюваного шару, а амоніфікуючі мікроорганізми функціонують за дещо ширшим інтервалом вологості, ніж нітрофікатори.

Таким чином, наведені дані дозволяють зробити висновок, що на сьогодні для чорноземів України, що інтенсивно використовуються в агрофітоценозах, актуальна оптимізація їх поживного режиму може бути досягнута через застосування раціональних систем обробітку ґрунту, удобрення тощо.

Азотний фонд ґрунту поділяється на три основні групи: сполуки азоту, які легко-, важко- і не гідролізуються. Одночасно до групи сполук, які легко гідролізуються, входять мінеральні та органічні сполуки азоту. Ці групи азотних сполук відрізняються ступенем рухомості і мають різну агрономічну цінність. Зокрема, мінеральний азот (NO_3 , NH_4) слугують безпосереднім джерелом живлення рослин.

Сполуки азоту, що легко гідролізуються (аміди, частина амінів, частина неамінного амонію), а також частина сполук азоту, які важко гідролізуються (аміни, залишки амінів, необмінний амоній, частина гумінів) являють собою резерв азотних сполук живлення рослин. Решта сполук азоту (що важко гідролізуються і не гідролізуються) виступають потенційними запасами азоту в ґрунті.

Дослідження показали, що в чорноземах типових вміст азоту негідролізованих сполук становить 81–84 %, важкогідролізовані – 10–15; легкогідролізовані – 3–4; мінеральні – всього 1,0–1,5 % від загального. Водночас у нижніх шарах ґрунту відзначено зміну співвідношення: зменшується фракція гідролізованих сполук азоту і збільшується важкогідролізованих, хоча в цілому фракція негідролізованих сполук залишається на достатньо високому рівні [335].

Отже, значна частина азоту чорнозему типового представлена стійкою фракцією органічного азоту, що не бере участі в біологічному кругообігу і в створенні врожаю. Якщо враховувати фракцію сполук азоту, що важко гідролізується, та малодоступна для рослин, стає зрозумілою необхідність розробки заходів мобілізації цих сполук азоту ґрунту для стабілізації і

підвищення урожайності сільськогосподарських культур [335]. Дослідження, виконані у стаціонарному польовому досліді в полі пшениці озимої в ланці з люцерною протягом 2011–2017 рр. свідчать, що системи обробітку ґрунту й удобрення істотно впливають на азотний режим чорнозему типового. За одержаними даними внесення добрив поліпшує азотний фонд ґрунту порівняно з варіантами без добрив (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Вміст форм азоту чорнозему типового, (2011–2017 рр.)

Система удобрення	Варіанти обробітку грунту	Шар грунту, см	Загаль- ний азот, мг/кг	Азот			
				мінеральний		що легко гідролізується	
				мг/кг	% *	мг/кг	% *
Без добрив	Диференційова- ний (контроль)	0–10	1588	19,0	1,19	49,5	3,1
		10–20	1510	15,0	0,99	47,8	3,2
		20–30	1491	10,6	0,71	45,4	3,0
	Полицево- безполицевий	0–10	1600	21,3	1,3	52,4	3,3
		10–20	1541	12,8	0,8	48,8	3,1
		20–30	1478	9,0	0,6	47,2	3,2
Органічна	Диференційова- ний (контроль)	0–10	1587	22,1	1,4	54,5	3,4
		10–20	1568	16,7	1,0	53,9	3,4
		20–30	1504	12,7	0,8	49,6	3,3
	Полицево- безполицевий	0–10	1609	23,3	1,4	55,4	3,4
		10–20	1587	15,6	0,9	54,6	3,4
		20–30	1492	12,2	0,8	51,4	3,4
Органо- мінераль- на	Диференційова- ний (контроль)	0–10	1633	23,5	1,4	56,0	3,4
		10–20	1574	20,5	1,3	54,7	3,5
		20–30	1531	13,7	0,9	51,2	3,3
	Полицево- безполицевий	0–10	1662	27,9	1,7	57,2	3,4
		10–20	1599	21,7	1,3	55,2	3,4
		20–30	1521	13,0	0,8	52,6	3,4
НІР ₀₅ система удобрення			21,3	9,7		5,2	
НІР ₀₅ система обробітку ґрунту			26,2	5,5		2,9	
НІР ₀₅ шар ґрунту			15,6	3,4		2,1	

* % від загального азоту.

На фоні застосування органічного добрива зростає вміст мінерального

та азоту, що легко гідролізується.

Спільне внесення компосту і мінеральних добрив істотно збільшило абсолютний і відносний вміст мінеральних і гідролізованих форм ґрунтового азоту. Це вказує на те, що під впливом органо-мінеральної системи удобрення паралельно з інтенсивною мобілізацією гідролізованих органічних сполук азоту, в ґрунті відбуваються процеси новоутворення його стабільніших форм, тому структура азотного фонду чорноземів типових зберігає високу стабільність.

Вплив системи обробітку ґрунту на структуру азотного фонду чорнозему типового дещо слабший, ніж системи удобрення. Встановлено, що застосування полицево-безполіцевого обробітку, порівняно з диференційованим варіантом, істотно збільшило вміст загального азоту в шарах 0–10, 10–20 см і дещо знизило його рівень на глибині 20–30 см, у цьому шарі збільшилися на удобрених варіантах і збереглися на більш високому рівні.

Разом із тим, абсолютний і відносний вміст мінерального азоту на глибині 20–30 см за полицево-безполіцевого обробітку виявився меншим, ніж за диференційованого варіанта. Такий характер розподілу азоту за профілем ґрунту пов'язаний з тим, що компост, рослинні залишки, а також основна маса кореневих рослин за полицево-безполіцевого обробітку зосереджуються у верхньому 0–20 см шарі, тоді як диференційованого вони потрапляють і в глибші шари ґрунту.

Таким чином, застосування полицево-безполіцевого обробітку, порівняно з диференційованим, не викликає істотних змін у структурі азотного фонду чорнозему типового, сприяє збереженню загального азоту і призводить до більш вираженої диференціації оброблюваного шару ґрунту за вмістом мінеральних, що легко гідролізуються сполук азоту.

Для оцінки азотного режиму ґрунту, забезпеченості рослин азотом значний інтерес становить вивчення вмісту в ґрунті рухомих його сполук.

Вміст мінеральних форм азоту, а також азоту, що легко гідролізується звичайно характеризує забезпеченість рослин цим елементом.

Наявність мінерального азоту в ґрунті залежить значною мірою від різноманітних факторів: хімічних і фізичних властивостей, вологості й температури ґрунту, умов його обробітку, внесених добрив.

Початкові запаси мінерального азоту в ґрунті слугують основним, але не єдиним джерелом забезпечення рослин азотом. Валову частку в живленні сільськогосподарських культур, як свідчать результати досліджень із N¹⁵ П. М. Шияна [586], становить кількість мінералізованого за вегетаційний період азоту ґрунту.

Дослідженнями, проведеними на чорноземних ґрунтах, встановлено, що вміст нітратів у ґрунті залежить від застосованих мінеральних і органічних добрив, ланок сівозмін, вмісту органічної речовини в ґрунті, температури повітря і вологості ґрунту [302, 427, 504]. Як показали спостереження за вмістом нітратного азоту, накопичення цієї форм насамперед визначається запасом гумусу і загального азоту. За оптимального зволоження (60 % повної вологості) і температури (24–26 °C) вміст нітратного азоту в дерново-підзолистих ґрунтах, як правило, перевищує 15 мг/кг, сірих – 20 і на чорноземах – 35 мг/кг ґрунту [89].

Для правильного уявлення про ступінь забезпеченості рослин азотом нітратів проводилися систематичні спостереження.

Динаміка вмісту азоту нітратів у чорноземі типовому в різних шарах орного горизонту була подібною, відрізняючись менше вищим вмістом на удобрених варіантах і не залежала від обробітку ґрунту, проте істотно змінювалася залежно від вирощуваної культури (табл. 5.2).

За вирощування кукурудзи на зерно вміст азоту нітратів в орному шарі знижувався із часом відтавання ґрунту до сівби. Потім відбувалося підвищення вмісту азоту нітратів, при цьому максимум спостерігався у фазу

10–12 листків. У наступні фази розвитку кукурудзи виявлено зниження їх вмісту, що досягало мінімуму в період збирання і входження в зиму.

За вирощування ячменю максимальний вміст нітратів відзначався рано навесні із закономірним зниженням до мінімуму у фазі молочної стиглості. До збирання вміст нітратів дещо підвищувався, що пояснюється припиненням поглинання азоту рослинами ячменю.

Таблиця 5.2

Вміст нітратного азоту в чорноземі типовому залежно від вирощуваних культур, мг N-NO₃ на 1 кг ґрунту, (2012–2016 рр.)

Шар ґрунту, см	Пшениця озима		Кукурудза на зерно		Ячмінь	
	Система удобрення					
	органічна	мінеральна	органічна	мінеральна	органічна	мінеральна
Полицевий обробіток						
0–5	5,9	8,5	6,8	10,8	4,0	5,6
5–15	4,7	6,7	8,2	12,1	3,8	5,3
15–25	4,8	7,1	7,2	12,4	3,7	5,3
0–25	5,0	7,4	7,4	11,7	3,8	5,4
Безполицевий обробіток						
0–5	6,5	9,1	7,6	11,7	4,6	6,9
5–15	4,56	6,3	8,1	12,0	4,05	6,2
15–25	4,1	6,1	7,5	11,1	3,5	4,8
0–25	5,0	7,1	7,7	11,6	4,05	5,9
Мілкий безполицевий обробіток із одночасним щілюванням						
0–5	6,4	9,3	8,7	13,2	4,8	7,2
5–15	5,1	7,3	8,4	13,2	4,4	6,4
15–25	4,2	5,7	7,4	11,3	3,5	4,6
0–25	5,2	7,4	8,1	12,6	4,2	6,0
НіР ₀₅ для обробітку ґрунту	0,34	0,56	0,67	0,84	0,73	1,1
НіР ₀₅ для шару ґрунту	0,27	0,43	0,38	0,62	0,51	0,74

Застосування мілкового безполицевого обробітку з одночасним щілюванням порівняно з полицевим обробітком підвищує вміст нітратного азоту в шарі 0–5 і 5–15 см, тоді як на глибині 15–25 см, навпаки, їхній

показник більший на варіанті контролю. Стосовно забезпеченості рослин цією формою азоту, то варіант мілкого безполицевого обробітку одночасно з щілюванням його вміст в окремі роки знижується.

Докорінним чином вміст нітратів змінювали мінеральні добрива. За полицевого обробітку їхня кількість залежно від вирощуваної культури збільшилася на 17,0–60 %, а за безполицевого обробітку – на 15,7–52 % порівняно з контролем.

Кореляційний аналіз між внесеними мінеральними добривами і вмістом показав, що для пшениці озимої в 0–15 см шарі $r=0,62$, кукурудзи на зерно – $r=0,58$, ячменю – $r=0,41$.

Динаміка амонійного азоту як в орному шарі, так і в окремих його шарах, незалежно від варіантів досліджень, була однотиповою, з дещо вищим вмістом на варіантах із внесенням мінеральних добрив.

Аналіз даних показує, що застосування безполицевого обробітку ґрунту за наявності іншої диференціації у розподілі в орному шарі амонійного азоту сприяє більшому його накопиченню, ніж полицевий обробіток. Переважно, залежно від вирощуваної культури становить від 1,8 до 12,2 %.

Вплив мінеральних добрив на вміст амонійного азоту виявлявся більшою мірою, ніж система обробітку ґрунту. Так, за полицевого обробітку це забезпечувало збільшення згаданої форми азоту на 29–38 %, за безполицевого – на 36–43 %.

Під впливом систематичного застосування безполицевого обробітку порівняно з полицевим змінився вміст нітратного й амонійного азоту. Органічна система удобрення, глибокий та мілкий безполицевий обробіток знизили вміст нітратів на 11,2–5,8 % , за мінеральної системи – на 9,5–7,4 % відповідно. Вміст амонійного азоту, навпаки, збільшився. За органічної системи за глибокого безполицевого обробітку підвищення становило 0,6, за

мілкого безполицевого обробітку із щільюванням – 9,0 %. За мінеральної системи удобрення різниця знаходилася 3,5 і 8,8 % (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Вміст амонійного азоту в чорноземі типовому залежно від вирощуваних культур, мг N-NH₄ на 1 кг ґрунту, (2012–2016 рр.)

Шар грун- ту, см	Пшениця озима		Кукурудза на зерно		ЯчмінЬ	
	Система удобрення					
	органічн а	мінераль- на	органічна	мінеральна	органіч на	мінераль на
Полицевий обробіток						
0–5	6,2	9,0	8,57	11,73	4,47	6,51
5–15	5,9	8,0	8,14	11,42	5,22	6,5
15–25	6,24	7,2	8,01	12,14	5,43	6,59
0–25	6,11	8,06	8,24	11,76	5,04	6,53
Безполицевий обробіток						
0–5	7,71	10,9	10,5	14,68	5,38	8,08
5–15	6,3	8,92	9,11	12,75	5,28	7,54
15–25	6,02	6,15	8,09	10,3	4,54	5,69
0–25	6,67	8,65	9,2	12,57	5,06	7,1
Мілкий безполицевий обробіток із одночасним щілюванням						
0–5	8,2	13,0	10,4	15,0	5,95	8,53
5–15	6,37	9,82	9,3	13,2	5,53	7,83
15–25	5,82	5,95	8,36	10,4	4,75	5,92
0–25	6,8	9,6	9,35	12,86	5,41	7,42
НіР ₀₅ для обробіт ку грунту	0,42		0,71		0,5	0,66
НіР ₀ для шару грунту	0,36		0,48		0,3	0,42

Різниця у вмісті мінеральних форм азоту, викликана застосуванням різних обробітків, супроводжувалася змінами співвідношенням між нітратним і амонійним азотом. Так, у варіантах з глибоким і мілким безполицевим обробітком співвідношення між NO₃:NH₄ зростає і до

1.17:1,36, до 1,01:1,16 за полицевого обробітку (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

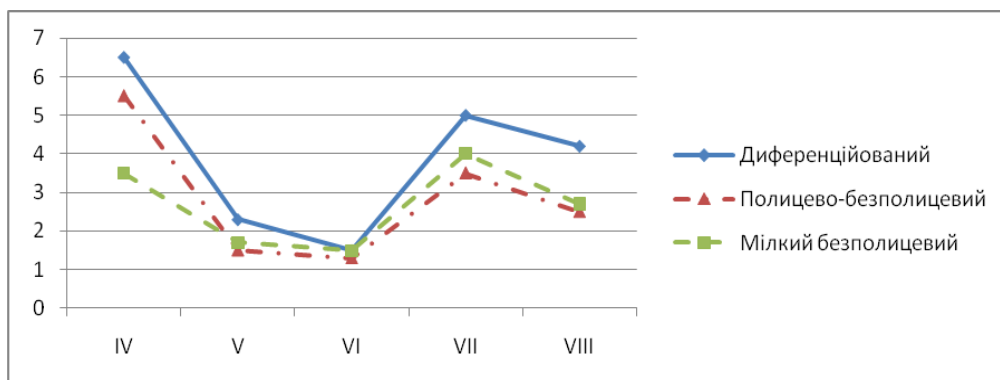
Вплив обробітку ґрунту та удобрення на вміст і співвідношення між нітратним і амонійним азотом в чорноземі типовому, (2012 – 2016 рр.).

Система обробітку ґрунту	Вміст, мг, на 1 кг ґрунту		Співвідношення NO ₃ :NH ₄
	N-NO ₃	N-NH ₄	
Органічна система			
Полицевий обробіток	5,85	6,83	1,16
Безполицевий обробіток	5,13	6,87	1,34
Мілкий безполицевий із щільюванням	5,47	7,44	1,36
Мінеральна система			
Полицевий обробіток	8,79	8,91	1,01
Безполицевий обробіток	7,85	9,23	1,17
Мілкий безполицевий із щільюванням	8,11	9,70	1,2

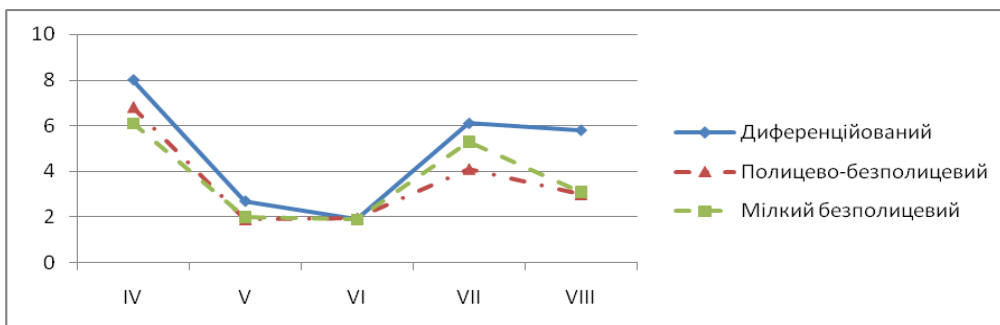
Таким чином, систематичне застосування безполицевих обробітків, порівняно з оранкою не змінює сезонний хід динаміки мінеральних форм азоту в чорноземі типовому, проте викликає іншу диференціацію орного шару. Оранка сприяє підвищенню вмісту мінеральних сполук азоту в нижній частині орного шару, безполицеві – у верхній. При цьому безполицеві обробітки не змінюють, а в окремі роки знижують вміст нітратів і збільшують вміст амонійного азоту в ґрунті.

Дослідження динаміки мінеральних форм азоту проводили впродовж 2012–2017 рр. у посівах пшениці озимої. Одержані дані свідчать, що на початку весняної вегетації вміст нітратного азоту вищий на варіанті з диференційованим обробітком ґрунту (рис. 5.1).

N-NO₃, мг, на 1 кг ґрунту



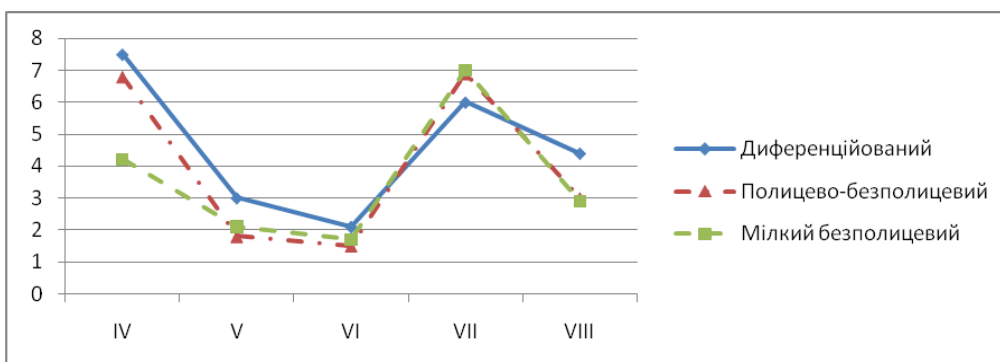
А



Б



В



Г

А – без добрив; Б – органічна; В – органо-мінеральна;

Г – мінеральна система удобрення

Рис. 5.1. Динаміка нітратного азоту в чорноземі типовому залежно від обробітку ґрунту та удобрення

У фази виходу рослин пшениці озимої у трубку вміст нітратного азоту істотно зменшився на всіх варіантах, проте перевага диференційованого обробітку збереглася.

До фази колосіння вміст нітратів у ґрунті знизився, що пояснюється інтенсивним споживанням азоту рослинами пшениці озимої що розвиваються. При цьому органо-мінеральна система удобрення за диференційованого обробітку мала перевагу на 60,2 % порівняно з полицево-безполіцевим обробітком ґрунту. На варіанті мілкого безполіцевого обробітку вміст нітратів на 13,2 % більшим, ніж у варіанті полицево-безполіцевого обробітку.

За мінеральної системи удобрення на всіх варіантах з обробітку містилась однакова кількість нітратів.

До фази молочної стиглості відзначалося загальне збільшення вмісту нітратного азоту, що можна пояснити посиленням нітрифікації і зниженням поглинання азоту рослинами. На цей період визначення нітратів містилося у варіанті полицево-безполіцевого обробітку ґрунту на 4,5–25 % більше.

До збирання пшениці озимої вміст нітратного азоту дещо змінився, що більшою мірою пояснюється зниженням нітрифікації, ніж поглинанням азоту рослинами. Залишкова кількість нітратів була великою у варіантах з диференційованим обробітком. Тут перевага залежно від системи удобрення становила 20–26 %.

Таким чином, проведенням системи обробітку ґрунту і внесенням мінеральних добрив видається можливим регулювати режим вмісту нітратів у ґрунті. Диференційований обробіток підсилює нітрифікацію.

Безполіцевий обробіток ґрунту стабілізує нітрифікацію та збільшує накопичення нітратів у верхніх шарах чорнозему типового. Достатній запас нітратного азоту формується за органо-мінеральної системи удобрення, коли врівноважуються процеси нітрифікації й іммобілізації азоту.

Процес амоніфікації дуже поширений у ґрунтах чорноземного типу. Разом із тим, накопичення амонійного азоту в ґрунті відбувається під час гальмування з тих чи інших причин процесів нітрифікації. Динаміка вмісту амонійного азоту в чорноземах менш виражена порівняно з нітратами.

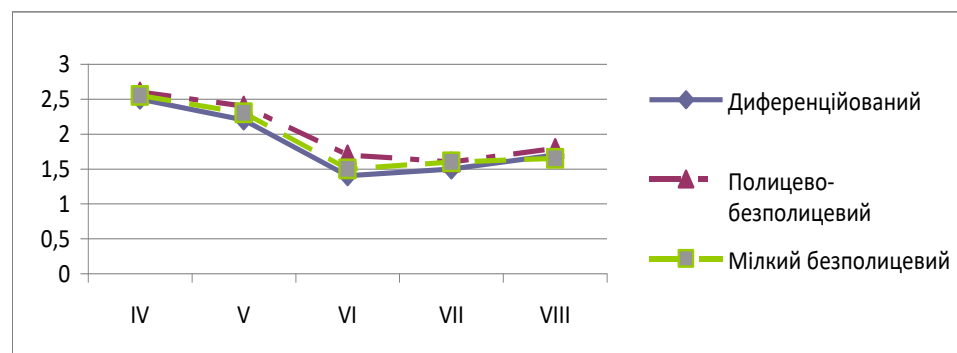
Вміст мінерального ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) азоту при застосуванні мінеральних та органічних добрив, змінюється з амоніфікаційних і нітрафікаційних процесів у ґрунті [532], переходом фіксованого амонію в обмінний стан [327].

Для встановлення ступеня забезпеченості рослин пшениці озимої амонійною формою азоту виконували систематичні спостереження за їх динамікою (рис. 5.2)

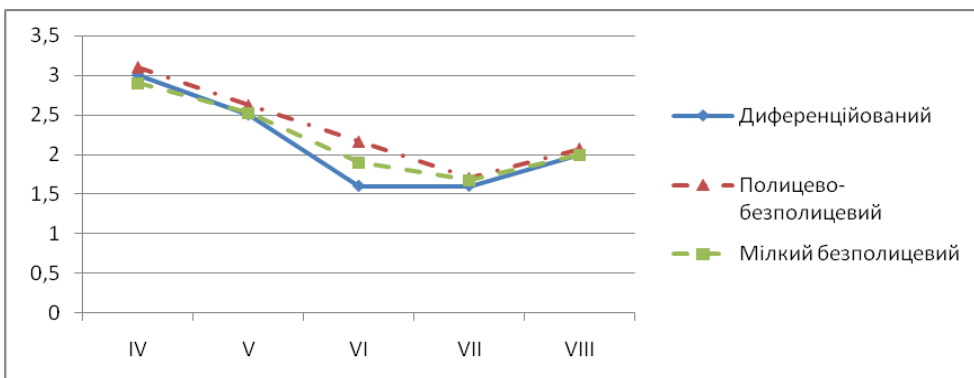
Сезонний хід динаміки вмісту амонійного азоту в чорноземі типовому виявився однаковим на всіх досліджуваних варіантах. Системи удобрення і обробітку ґрунту змінювали тільки його вміст. Максимальні значення амонійного азоту спостерігалися у фазі відновлення вегетації пшениці озимої. У наступні фази росту і розвитку пшениці озимої вміст амонійного азоту закономірно знижувався, досягаючи мінімуму в період молочної стиглості. Отже, застосування безполицевого і полицево-безполицевого обробітків ґрунту не впливали на хід динаміки, проте суттєво підвищили вміст амонійного азоту в оброблюваному шарі порівняно з диференційованим обробітком.

За застосування органо-мінеральної системи удобрення відзначено істотне збільшення вмісту амонійного азоту порівняно з контролем.

Разом із тим, за органічної системи удобрення відбулося істотне зниження вмісту нітратного і амонійного азоту порівняно з контролем, тоді як застосування органо-мінеральної та мінеральної систем удобрення зумовило значне підвищення вмісту $\text{N} - \text{NO}_3$ і $\text{N} - \text{NH}_4$ у ґрунті (табл. 5.5).

N-NH₄, мг/кг ґрунту

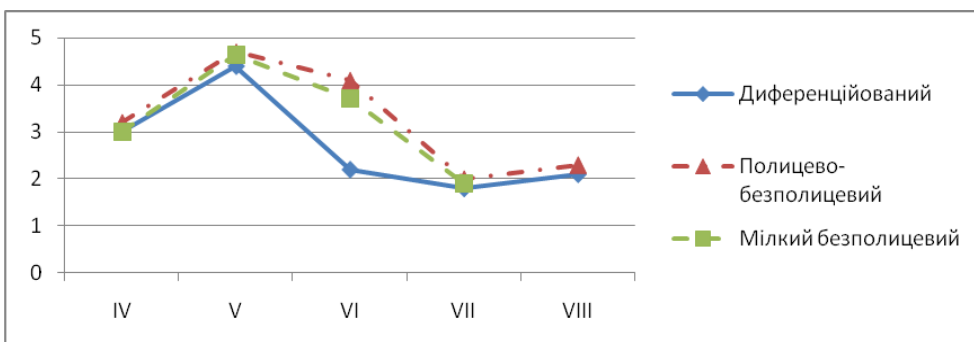
А



Б



В



Г

А – без добрив; Б – органічна; В – органо-мінеральна;

Г – мінеральна система удобрення

Рис. 5.2. Динаміка амонійного азоту в чорноземі типовому залежно від обробітку ґрунту та системи удобрення

Таблиця 5.5

Вплив систем удобрення й обробітку ґрунту на вміст і співвідношення між нітратним та амонійним азотом за вирощування пшениці озимої

Система удобрення	Обробіток ґрунту	Вміст, мг, на 1 кг ґрунту		Співвідношення $\text{NO}_3:\text{NH}_4$
		$\text{N} - \text{NO}_3$	$\text{N} - \text{NH}_4$	
Без добрив	Диференційований	2,1	2,7	1,78
	Полицево-безполицевий	2,4	3,0	1,25
	Мілкий безполицевий	2,2	2,6	1,18
Органічна	Диференційований	2,8	3,5	1,25
	Полицево-безполицевий	2,7	3,3	1,22
	Мілкий безполицевий	2,6	3,1	1,19
Органо-мінеральна	Диференційований	4,4	5,1	1,16
	Полицево-безполицевий	5,3	6,3	1,18
	Мілкий безполицевий	4,5	5,3	1,17
Мінеральна	Диференційований	3,92	4,5	1,14
	Полицево-безполицевий	5,5	6,2	1,12
	Мілкий безполицевий	5,0	5,6	1,12

Різниця за вмістом мінеральних форм азоту, викликана застосуванням різних варіантів обробітку ґрунту і систем удобрення, супроводжувалася зміною співвідношення між нітратним та амонійним азотом.

Використання органо-мінеральної системи удобрення на фоні полицево-безполицевого обробітку ґрунту в сівозміні дає можливість керувати процесами нітрифікації й амоніфікації з метою регулювання вмісту NH_4 і NO_3 у ґрунті для забезпечення оптимальних умов азотного живлення рослин, запобігати довільним втратам азоту через вимивання, не допускати забруднення ґрунтових вод нітратами.

Під час розробки та перевірки моделей трансформації ґрунтового

азоту значний інтерес становить розподілення азотовмісних сполук ґрунту на функціональні компоненти, які найтісніше корелюють з продуктивністю культур. Існують моделі, які дають змогу контролювати розподілення азоту за фракціями залежно від їх здатності зазнавати біологічного розкладання [482]. Тому більшість учених [598, 635] пропонують фракціонувати азот. Розподілені фракції рідко відповідають функціональному значенню компонентів органічних речовин ґрунту.

Враховуючи, що азот сполук, який легко гідролізується, являє собою вагомий резерв мінерального азоту і за сільськогосподарського використання може як накопичуватися, так і витратитися з ґрунту, важливо було відстежити напрям змін його вмісту залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту.

За одержаними результатами, в орному шарі ґрунту відзначається накопичення азоту, що легко гідролізується, основним джерелом якого, поряд із кореневими і поверхневими залишками рослин, в умовах дослідів слугують органічні та мінеральні добрива (табл. 5.6). Це підтверджується тим фактом, що із внесенням компосту процес накопичення азоту легкогідролізованих сполук поширений у шарі 0–25 см, тоді як за спільного застосування компосту і мінеральних добрив прослідковується до глибини 40 см.

Для азоту органічних і мінеральних добрив притаманна різна рухливість, здатність зосереджуватися в різних частинах оброблюваного шару. Так, якщо за диференційованого обробітку максимальний приріст спостерігався на глибині 15–25 см, то за мілкого безполицевого обробітку він зафіксований у шарі 0–5 і 5–15 см.

Крім цього встановлено, що надходження азоту в рослини під час їх інтенсивного росту і розвитку на варіанті з полицево-безполицевим та мілким поверхневим обробітком не відрізнялося від його надходження на диференційованому варіанті.

Таблиця 5.6

**Вміст сполук азоту, що легко гідролізуються, чорнозему типового,
в середньому за вегетаційний період (2011–2016 рр.), мг/кг ґрунту**

Система удобрення, А	Обробіток ґрунту, В	Шар ґрунту, см	Пшениця озима	Буряки цукрові
Без добрив	Диференційований (контроль)	0–15	41,7	39,9
		15–30	26,4	27,6
	Полицево- безполицевий	0–15	42	40,9
		15–30	28,6	28,6
	Мілкий безполицевий	0–15	42	40,3
		15–30	29,3	30,7
Органічна	Диференційований (контроль)	0–15	57,9	59,1
		15–30	49,5	53,1
	Полицево- безполицевий	0–15	61,7	59,6
		15–30	49,8	54,5
	Мілкий безполицевий	0–15	60,2	57,6
		15–30	50,4	55,2
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	0–15	68,7	66,6
		15–30	57,1	55,7
	Полицево- безполицевий	0–15	72,2	72,5
		15–30	57,4	55,3
	Мілкий безполицевий	0–15	71,0	69,1
		15–30	56,1	59,0
Мінеральна	Диференційований (контроль)	0–15	68,9	66,8
		15–30	57,3	56,6
	Полицево- безполицевий	0–15	73,2	72,8
		15–30	57,6	55,5
	Мілкий безполицевий	0–15	66,7	64,3
		15–30	61,6	58,6
НіР ₀₅ для системи удобрення			6,7	5,4
НіР ₀₅ для обробітку ґрунту			2,9	2,2

Так, у рослинах пшениці озимої у фазі кушіння і виходу у трубку вміст азоту у варіанті з диференційованим обробітком за удобрення становив 3,3–3,4, а у відповідному варіанті з полицево-безполицевим обробітком 3–3,6 %, у фазі колосіння культури 3,4 – за диференційованого і 3,0–3,4 % – за безполицевих обробітків.

Дослідження дозволяють зробити висновок, що локалізація азоту у верхній частині оброблюваного шару за полицево-безполицевого та мілкового безполицевого обробітку ґрунту не погіршує умови живлення рослин цим елементом і не призводить до зниження урожайності вирощуваних культур. Застосування органо-мінеральної та мінеральної систем удобрення сприяє суттєвому підвищенню вмісту у ґрунті сполук азоту, що легко гідролізуються.

Властивий чорноземам типовим нітратно-амонійний азотний режим зберігається і створюються передумови більш економного використання ґрунтового азоту.

5.2. Фосфатний режим

Фосфатний рівень ґрунтів багато вчених вважають характерною ознакою родючості останнього. При цьому підвищення фосфатного рівня слугує показником їх родючості, а зростання родючості ґрунтів – показником окультурення [243, 347]. Забезпеченість рослин необхідною кількістю фосфору знаходиться в залежності від його запасів у ґрунті, ступеня рухомості та певних умов, які впливають на засвоєння фосфору з ґрунту і добрив. Ці та інші особливості фосфатного режиму ґрунтів і їх поліпшення детально висвітлено в ряді монографій та узагальнюючих публікацій [100, 143, 560].

На ефективну родючість і дію добрив найбільшою мірою впливає фосфатний режим ґрунту [347], особливо в зоні чорноземів [375]. Так, за визначенням Д. М. Прянішнікова, «... необхідно додати лише один елемент – фосфор, щоб оживити чорнозем, виснажений багатовіковою культурою без удобрення ...»[408]. Проблема фосфору у землеробстві ускладнюється постійним дефіцитом фосфорних добрив і перетворилася на одну з найбільш важливих.

Серед ефективних засобів впливу на фосфатний режим ґрунтів значне внесення мінеральних та органічних добрив. На думку переважної більшості вчених, найсприятливіший і стабільний у часі фосфатний режим ґрунтів створюється за поєднання внесення мінеральних та органічних добрив [83, 143, 261, 295, 524]. За орґано-мінеральної системи удобрення уповільнюється сорбція фосфору ґрунтом, підтримується високий рівень рухомого фосфору у ґрунтовому розчині, що забезпечує достатнє і збалансоване у часі фосфатне живлення рослин [240]. Тривалу стабілізуючу дію органічної речовини ґною в запобіганні утворення важкорозчинних сполук фосфору у ґрунті відзначав у своїх дослідженнях Д. М. Прянішніков [409].

За даними О. В. Лазурського [248], А. П. Лісовала, Н. В. Правілова [258], застосування ґною посилює активність біохімічних мікробіологічних процесів у ґрунті та забезпечує тривале надходження рухомого фосфору у ґрунтовий розчин.

Збільшення його вмісту у ґрунті впродовж періоду вегетації за поєданого внесення мінеральних добрив та ґною спостерігали у дослідженнях Е. К. Алексєєвої [11], А. В. Барштейна, І. С. Шкаредного, В. М. Якименка [28], П. А. Дмитренка [143] та ін. Ряд інших вчених відмічали на позитивний вплив фосфорних добрив щодо збільшення вмісту рухомого фосфору у ґрунті [527, 568]. Однак таке підвищення, на думку К. Е. Гінзбург [101], не підтримується протягом тривалого періоду, оскільки внесений фосфор переходить у стійкі малорухомі сполуки.

За даними досліджень К. Е. Гінзбург [101], А. С. Заришняка, В. В. Іваніни, Т. В. Колібабчук [170], Дж. Кука [240], Л. І. Мартинович, Н. Н. Мартинович [295], Б. С. Носка [347] природа взаємодії фосфорних добрив і ґрунту досить складна. На характер його перетворення у ґрунті впливають: валові запаси фосфору, співвідношення між органічною і мінеральною фракціями, кислотність ґрунтового розчину, мінералогічний та гранулометричний склад ґрунту, здатність фосфору переходити у рухоміші й

доступніші для рослин форми та ін. [240, 458, 632].

На думку Е. Г. Дегодюка, Л. І. Нікіфоренко, В. І. Гамалля [131], Б. С. Носка [350], застосування фосфорних добрив у сівоzmінах повинно бути спрямоване на створення високого рівня забезпечення ґрунтів рухомим фосфором. При цьому Б. С. Носко [347] вважає, що максимальна віддача від застосування добрив створюється на ґрунтах з рівнем забезпечення рухомим фосфором понад 14–16 см P_2O_5 на 100 г ґрунту. Подальше підвищення їх ефективності родючості знаходиться у площині формування оптимального азотного і фосфорного співвідношення.

Валовий вміст фосфору у гумусовому профілі являє собою результат його біологічного перенесення з ґрунотворної породи, яка у свою чергу містить неоднакову кількість цього елемента залежно від мінералогічного складу. В процесі генезису ґрунтів під впливом ґрунтоутворення утворюється специфічний для кожного типу ґрунту фосфатний режим, який характеризується певним співвідношенням мінеральних й органічних фосфатів та їх фракцій, наявністю так званих рухомих форм фосфору, який переходить у слабокислотні або лужні витяжки, а також ступенем рухомості фосфору та фосфатним потенціалом.

Фосфатний режим слугує характерною ознакою кожного типу ґрунту і, насамперед, результатом співвідношення процесів гуміфікації та мінералізації органічної речовини, оскільки його походження в цілому залежить від інтенсивності біологічного перенесення фосфору рослинами з ґрунтоутворних порід. Так, в умовах трав'янистого рослинного покриву лісостепової і степової природних зон, під впливом якого сформувались чорноземні ґрунти, в результаті щорічного відмирання великої маси рослинних і корневих залишків, накопичується значна кількість мінеральних й органічних фосфатів, при цьому спостерігається найбільш вузьке їх співвідношення, яке становить орієнтовно 1:1.

На відміну від біогеохімії вуглецю, кисню, азоту та сірки, для яких

газова форма сполук виступає обов'язковим ланцюгом у біосферних потоках, біогеохімія фосфору практично повністю пов'язана з живою речовиною [205], тобто фосфор являє собою абсолютно біофільний компонент і його вміст у ґрунтах залежить від кількості органічних речовин. Середній вміст фосфору у земній корі досягає 0,09 %. Згідно з дослідженнями А. Ю. Кудеярової [232], відомо близько 200 фосфоровмісних мінералів, але у ґрунтах найчастіше зустрічаються представники трьох великих груп: фосфати кальцію і магнію, фосфати півтораоксидів і комплексні фосфати. У чорноземних переважають фосфати кальцію.

Основний обробіток впливає на характер розподілу добрив за вертикальним профілем, значною мірою визначається фізико-хімічними властивостями різних шарів ґрунту. За внесення добрив під оранку плугом із передплужником основна частина добрив потрапляє в шар, прилеглий до дна плужної борозни та інтенсивно переміщується з ґрунтом. Заробка культиваторами, дисковими знаряддями зосереджує 50–70 % добрив у шарі 0–15 см [72].

За безполицевого обробітку мінеральні добрива потрапляють в різні частини оброблюваного шару та істотно змінюють інтенсивність і напрям мікропроцесів ґрунтоутворення. Тому, на думку Б. С. Носко [346], накопичення й перетворення фосфатів ґрунту за різних систем удобрення та обробітку ґрунту заслуговують пильної уваги, оскільки їх вміст і якісний склад слугує важливим показником ґрунтової родючості.

У чорноземах характерний невисокий вміст валового фосфору. В чорноземі типовому вміст валового фосфору в орному шарі становив 0,13 – 0,14 %. Водночас до 55 % фосфору представлено органічними сполуками, а в складі мінеральних фосфатів доступні для рослин форми не перевищують 1–3 %. Тому знаходженню шляхів оптимізації фосфатного режиму досліджуваного ґрунту надають важливого значення.

Проведені спостереження за рухомими фосфатами щодо позитивного впливу обробітку свідчать і середні дані на трьох полях стаціонарного досліду (табл. 5.7). Так, застосування різноглибинного і мілкого безполицевого обробітку із щілюванням у сівозміні підвищило вміст рухомих фосфатів у середньому на 3,2–12,0 і 4–10 % порівняно з полицевим обробітком.

Таблиця 5.7.

Вміст рухомих фосфатів в чорноземі типовому залежно від вирощуваних культур, мг P_2O_5 на 1 кг ґрунту

Шар грунту, см	Пшениця озима		Кукурудза на зерно		Ячмінь	
	Система удобрення					
	органіч- на	мінераль- на	органіч- на	мінераль- на	органіч- на	мінераль- на
Полицевий обробіток						
0–5	31,9	44,8	34,9	43,3	34,7	43,8
5–15	28,7	41,3	33,3	39,5	32,5	40,0
15–25	30,8	42,8	34,2	42,5	36,1	46,7
0–25	30,1	42,5	33,9	41,4	34,4	43,4
Безполицевий обробіток						
0–5	36,2	52,0	40,9	51,7	41,3	56,2
5–15	33,5	53,3	37,8	48,4	39,2	51,5
15–25	29,3	39,9	30,2	32,7	31,9	39,2
0–25	32,4	47,7	35,4	42,8	36,7	47,5
Мілкий безполицевий із одночасним щілюванням						
0–5	38,6	55,4	43,3	54,5	42,2	57
5–15	35,5	53,1	40,8	50,0	40,6	52
15–25	26,8	32,0	31,0	33,2	32,3	39,5
0–25	32,6	47,0	37,4	44,3	37,6	48,1
НіР ₀₅ для обробітку грунту	0,63		0,96		0,66	
НіР ₀₅ для системи удобрення	0,46		0,74		0,42	

Вплив мінеральних добрив виявився значно сильніше, ніж систем обробітку, і забезпечив підвищення рівня рухомості фосфатів на 25,1–40,4 % за полицевого обробітку, на 26–43,4 % за безполицевого і на 17–46 % за мілкового безполицевого обробітку з щільюванням. Одним із пояснень даного факту є значне скорочення ерозійних процесів за безполицевого обробітку, особливо у варіантах з органічною системою удобрення, де краще розвинуті рослини забезпечили надійніший захист ґрунту від змивання.

Таким чином спостереження показали, що вміст рухомих фосфатів у чорноземі типовому змінюється протягом року, досягаючи двох максимумів – весною та восени, і залежить від вирощуваної культури, системи обробітку ґрунту й системи удобрення.

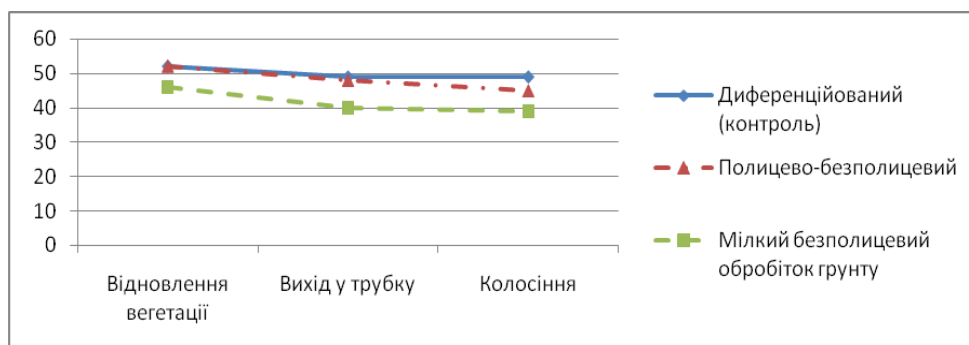
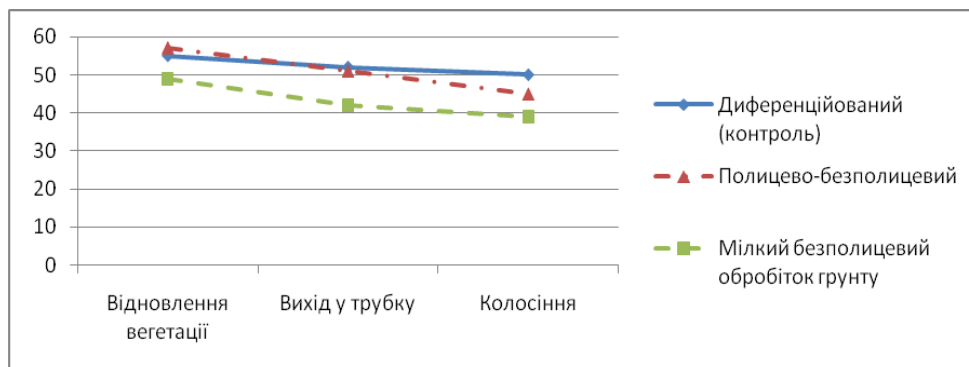
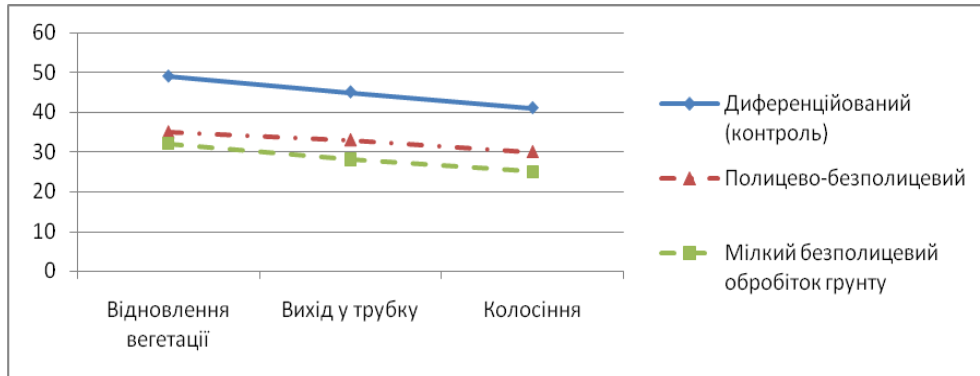
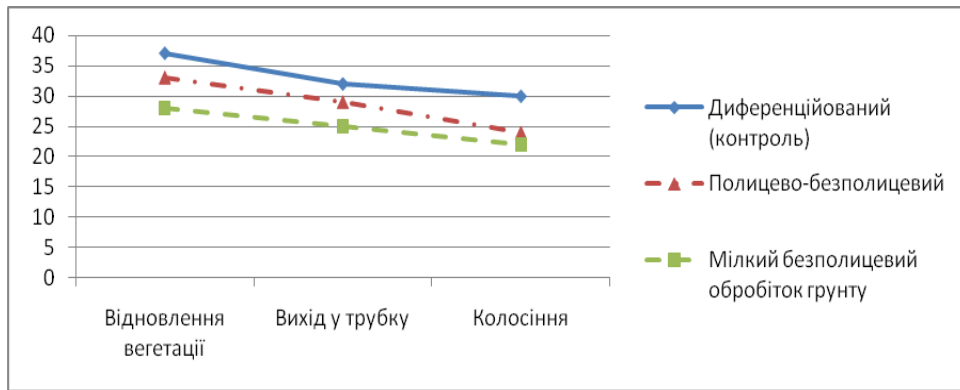
В агроєкосистемах інтенсивність опускання рухомих сполук фосфору в нижні шари ґрунтового профілю залежить від гранулометричного складу, доз і форм добрив, фону забезпеченості ґрунту фосфором, тривалості й періодичності внесення добрив, реакції ґрунтового розчину, тощо [228, 257]. Відомі роботи [234, 454, 618], які показують факт переміщення фосфору добрив у підґрунтя і потрапляння його у дренажні та ґрунтові води. Тому переміщення частини рухомих сполук фосфору за межі орного шару необхідно враховувати при оцінці забезпеченості ґрунту цим елементом [239, 297].

Забезпечення ценозу пшениці озимої рухомих фосфором значною мірою пов'язане із сезонною динамікою цього біогенного елемента [347], що залежить від вологості й температури [442].

Динаміка рухомих фосфатів у фазі відновлення вегетації, виходу рослин у трубку, колосіння пшениці озимої була різною (рис. 5.3).

На час відновлення вегетації пшениці вміст рухомого фосфору збільшився на всіх варіантах дослідів. У середині вегетації пшениці озимої у зв'язку із зміною запасів вологи у ґрунті, підвищенням температури повітря рівень рухомого фосфору знижується.

мг P_2O_5 на 1 кг ґрунту



А – без добрив, Б – органічна, В – орґано-мінеральна, Г – мінеральна система удобрення

Рис. 5.3 Динаміка вмісту рухомого фосфору в чорноземі типовому за вирощування пшениці озимої залежно від обробітку ґрунту і системи удобрення, (2011–2017 рр.)

У кінці вегетації пшениці озимої рівень рухомого фосфору зменшився і залежав від використання його рослинами, а з другого – зниженням мікробіологічної активності ґрунту та його нітрифікаційної здатності, внаслідок чого фосфати меншою мірою можуть переходити в рухомий стан.

За застосування органо-мінеральної системи удобрення вміст рухомого фосфору мав істотне зростання порівняно до контролю. Це пов'язано зі сповільненням процесів мінералізації органічних добрив, зокрема компосту, та інтенсивним засвоєнням рухомого фосфору пшеницею. Органічна система удобрення призводила до істотного зниження вмісту рухомого фосфору у ґрунті.

У період відновлення вегетації пшениці озимої та у фазу колосіння виявлено істотне зниження вмісту рухомого фосфору за мілкого безполицевого обробітку ґрунту. Застосування полицево-безполицевого обробітку у період відновлення вегетації істотно не знижував, проте у фазу виходу у трубку і колосіння істотно знижував вміст рухомого фосфору.

Рухомі форми фосфору перебували у ґрунті на варіантах з диференційованим обробітком у більших кількостях.

Свого часу була поширена думка, що фосфорним сполукам ґрунту притаманна дуже низька рухомість, у зв'язку з чим основна їх кількість закріплюється в орному шарі [19, 143]. Проте в умовах систематичного внесення органічних і мінеральних добрив спостерігається переміщення рухомого фосфору за межі орного шару в підорний [131, 229, 347] і глибші шари ґрунту – до 1 [163] і навіть до 1,5 м [295].

Для живлення рослин обов'язковою умовою є перехід фосфат-іонів з твердої фази у розчин [560]. Тому значний інтерес становить зміна не лише вмісту рухомих фосфатів у ґрунті, а й ступінь їх рухомості. Тобто здатність фосфат-іонів переходити в ґрунтовий розчин (фактор «інтенсивності»). Найбільш задовільну кореляцію зі ступенем забезпечення ґрунту рухомими фосфатами показує загальна концентрація фосфору в слабосольових і водних

наважках [100, 240, 243, 436]. Проте цей показник не може слугувати числовим виразником величини рівня рухомості фосфатів, разом із тим дозволяє з'ясувати відносну різницю між варіантами дослідів і значною мірою залежить від рівня удобрення.

У польовому досліді за застосування систем удобрення та обробітку ґрунту спостерігалася міграція фосфору в нижчі шари (табл. 5.8)

Проведеними дослідженнями встановлено, що максимальні значення ступеня рухомості фосфатів незалежно від систем удобрення та обробітку ґрунту властиві самим верхнім шарам чорнозему типового. У шарі 20–30 см рухомість істотно знижується, проте позитивний вплив систем удобрення зберігається. У шарі 30–50, а також 50–75 і 75–100 см ступінь рухомості різко знижується, що свідчить про низьку доступність фосфатів для рослин із глибоко розташованих горизонтів.

За застосування мінеральної системи удобрення вміст рухомого фосфору мав істотне зростання порівняно із варіантом дослідів без добрив. Використання органо-мінеральної системи удобрення призводило до неістотного зниження порівняно з мінеральною системою.

Ступінь рухомості фосфатів збільшується на удобрених фонах пропорційно вмісту рухомого фосфору, що зумовлено досягненням на високих фосфатних фонах ступеня насиченості фосфатної єдності ґрунту, за якої адсорбовані фосфат-іони легко десорбуються у ґрунтовий розчин і підтримують дещо вищу концентрацію фосфору [358].

Застосування полицево-безполцевого обробітку ґрунту за вмістом рухомих фосфатів істотно перевищувало диференційований обробіток у шарі 0–10 см, що відбувається в основному за рахунок органічних фосфатів.

У шарі 20–30 см полицево-безполцевий обробіток істотно поступався контрольному варіанту. На нашу думку, це пов'язано з низькою міграційною здатністю сполук фосфору. У шарі 10–20 см диференційований обробіток призводив до істотного зростання вмісту рухомого фосфору.

Таблиця 5.8

Міграція рухомого фосфору чорнозему типового залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту за вирощування пшениці озимої, (2011–2016 рр.)

Система удобрення, А	Обробіток ґрунту, В	Вміст P_2O_5 , мг/кг ґрунту в шарах					
		0–10	10–20	20–30	30–50	50–75	75–100
Без добрив	Диференційований (контроль)	107	102	98	96	73	62
	Полицево-безполицевий	126	117	86	83	76	63
	Мілкий безполицевий	120	106	80	73	70	60
Органічна	Диференційований (контроль)	114	107	110	99	79	69
	Полицево-безполицевий	139	121	91	92	80	68
	Мілкий безполицевий	130	110	85	83	75	65
Органо-мінеральна	Диференційований (контроль)	168	133	124	96	80	68
	Полицево-безполицевий	203	127	100	101	82	69
	Мілкий безполицевий	187	124	117	103	84	70
Мінеральна	Диференційований (контроль)	165	149	135	97	83	62
	Полицево-безполицевий	205	136	117	105	86	75
	Мілкий безполицевий	194	143	116	98	83	75
НіР ₀₅ система удобрення, А		7,8	7,4	8,9	8,2	7,1	6,2
НіР ₀₅ обробіток ґрунту, В		8,0	7,7	9,3	8,6	7,5	F _ф <F _{0.5}

Із застосуванням мінеральної й органо-мінеральній систем удобрення у ґрунті збільшується кількість так званих рухомих форм фосфору (які переходять у слабкі кислотні та сольові витяжки), а також ступінь рухомості

(показник швидкості переходу фосфору з твердої фази ґрунту у слабосольовий розчин, який кількісно може відповідати поглинальній здатності корневих систем щодо фосфору).

Застосування полицево-безполицевого обробітку здійснило помітний вплив на реакцію ґрунтового розчину. Це викликано трьома причинами: промивною дією опадів; підкисленням фізіологічно і хімічно кислими добривами; припиненням механічного надходження карбонатів із нижніх шарів, яке має місце за диференційованого обробітку.

Отже, застосування полицево-безполицевого обробітку ґрунту призводить до істотних змін фосфорного стану чорнозему типового. Органо-мінеральна система удобрення значно знижує інтенсивність мінералізації органічної речовини, сприяє збагаченню ґрунту загальним, органічним і мінеральним фосфором, проте істотно впливає на рухомі фосфати.

5.3. Калійний режим

Калій щодо росту й розвитку рослин відіграє важливу фізіологічну роль. Він впливає на ферментативну діяльність, сприяє створенню цитоплазматичних структур, активує синтез простих і складних вуглеводів, вітамінів, тощо [354, 357, 363, 406, 412, 430].

У ґрунті калій представлено виключно мінеральними формами. Його валовий вміст у чорноземах становить від 2,0–2,5 % їх маси, що в 5–50 разів більше, ніж азоту, і в 8–40 разів більше, ніж фосфору [2]. Незважаючи на досить високі запаси, лише 0,5–1,2 % калію ґрунту від його валового вмісту знаходиться у засвоюваній для рослин формі (водорозчинний та, переважно, обмінний калій) [627].

На думку Л. І. Мартинович, Н. Н. Мартиновича [296], Б. С. Носка, В. І. Бабиніна [351], І. І. Філон, І. А. Шелардь [503], Л. А. Яценка [606] рівень забезпеченості ґрунту рухомим калієм відіграє важливу роль у мінеральному живленні рослин, впливає на інтенсивність поглинання з ґрунту сполук азоту

і фосфору, визначає характер та інтенсивність перебігу в рослинах основних фізіологічних процесів. Формування фонду рухомого калію у ґрунті виступає важливим аспектом на шляху подальшого підвищення продуктивності культур та їх сталого вирощування у тривалій перспективі [171].

Забезпеченість ґрунту рухомим калієм залежить від ряду чинників, серед яких до найважливіших відносяться дози застосування мінеральних та органічних добрив, дотримання позитивного балансу калію в системі добриво–ґрунт–рослина, фізико-хімічні властивості ґрунту, структури сівозміни та ін. [117, 132, 601].

Застосування низьких доз калійних добрив на фоні високого виносу веде до зменшення запасів рухомого калію у ґрунті [132]. Натомість систематичне застосування високих доз органічних і мінеральних добрив забезпечувало підвищення як водорозчинного, так і обмінного калію в орному шарі ґрунту [533]. За даними В. М. Якименка [601], підвищення вмісту калію у чорноземі типовому вилугуваному калію мало місце, коли доза внесення калію перевищувала 75 % його виносу рослинами.

За А. І. Шевченко, А. А. Шевченко [568], ефективнішими у формуванні фонду рухомого калію ґрунту є внесення органічних добрив, тоді як за Г. Д. Рощина, А. М. Пестряков [425] – мінеральних. На думку інших – найбільший ефект досягається за орґано-мінеральної системи удобрення [117, 131, 529]. Поєднане внесення органічних і мінеральних добрив уповільнює перехід калію в ґрунтовий розчин, перетворює цей процес на рівномірний у часі, що, у свою чергу, зменшує необмінну фіксацію та вимивання калію за межі ґрунтового профілю [296].

У сучасному землеробстві, коли дедалі більше застосовують побічну продукцію рослинництва, питання щодо її впливу на калійний режим ґрунтів залишається недостатньо вивченим. На переконання А. С. Заришняка, В. В. Іваніни, Т. В. Колібабчук [171], нетоварна частина врожаю виносить значну

кількість калію, а тому застосування її на добриво істотно впливає на калійний режим ґрунту.

У дослідженнях із вивчення впливу систем обробітку ґрунту на калійний режим чорноземів, виконаними [108, 329], основна увага приділялася обмінній формі ґрунтового калію, як головному джерелу живлення рослин цим елементом. Відзначається, що обробіток ґрунту без обертання скиби сприяє збагаченню верхньої частини оброблюваного шару обмінним калієм, не змінюючи його запасів в коренеобжитому шарі.

За аналізом одержаних результатів, на фоні застосування органічних добрив ні одна із систем обробітку не забезпечила оптимальний для вирощування культур вміст обмінного калію в ґрунті (табл. 5.9). Його рівень у досліджуваних шарах поступово зменшувався. Стосовно мінеральних добрив, то їх систематичне застосування дозволило регулювати цей процес. В умовах досліду за шість років вміст обмінного калію збільшився в 1,3–1,4 раза. При цьому в окремих частинах оброблюваного шару рівень обмінного калію змінювався від низького до середнього. У варіанті з полицевим обробітком найбільш виразно це виявлялося в шарі 15–25 см, за безполицевого – в шарах 0–5 і 5–15 см. Звідси можна стверджувати, що вміст обмінного калію в оброблюваному шарі визначається системою удобрення та обробітком ґрунту.

Динаміку обмінного калію у фазу відновлення вегетації, виходу у трубку та колосіння пшениці озимої наведено графічно (рис. 5.4).

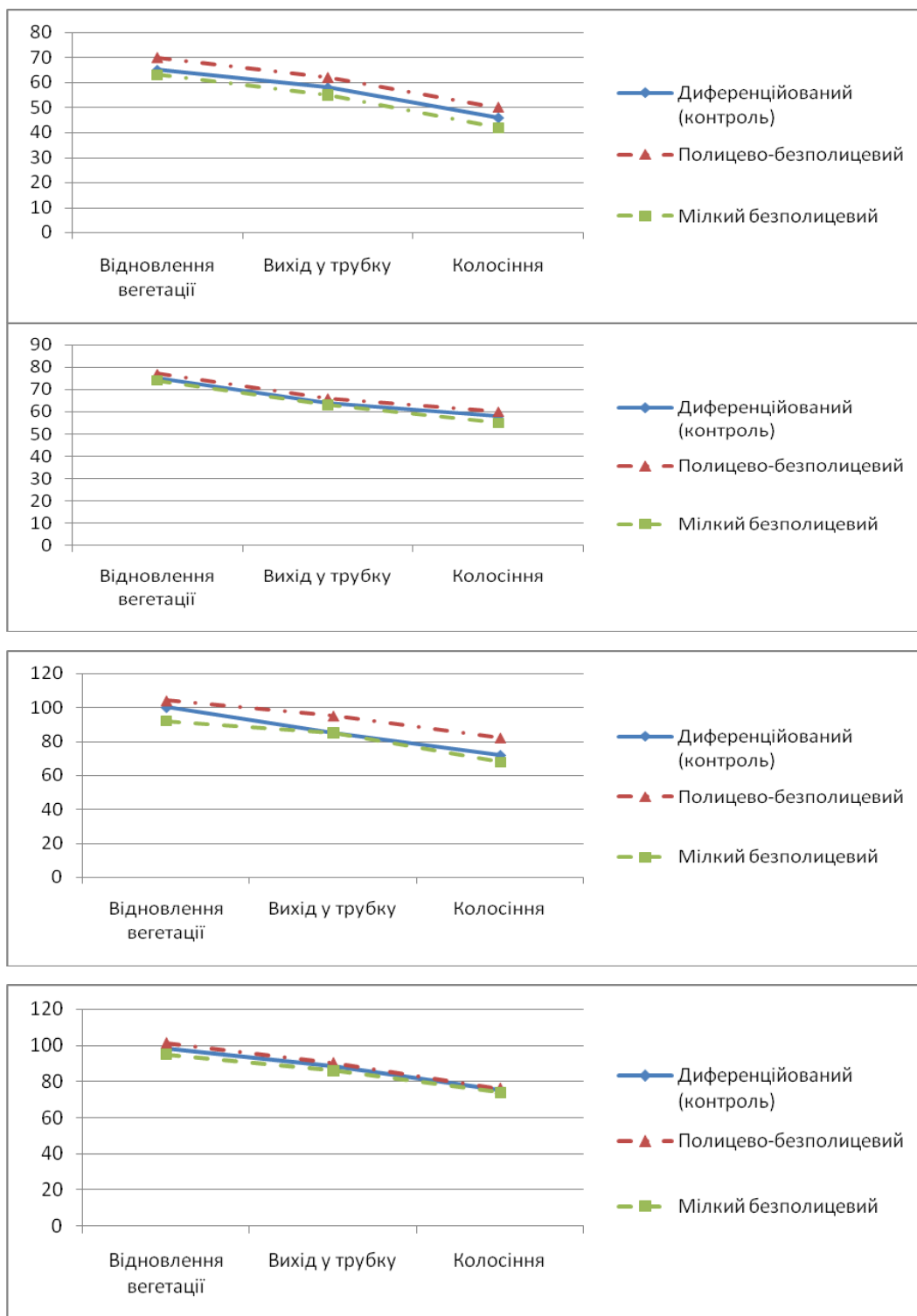
Так, на період відновлення вегетації пшениці озимої вміст обмінного калію збільшився на 15 %. У середині вегетації пшениці вміст обмінного калію знижується на 13–18 % порівняно з початковим періодом. У фазу цвітіння вміст обмінного калію знижується за рахунок використання його рослинами на 22–27 % порівняно з періодом відновлення вегетації пшениці озимої.

Таблиця 5.9

**Вміст обмінного калію в чорноземі типовому залежно від
вироснутих культур, мг K₂O на 1 кг ґрунту, (2011–2017 рр.)**

Шар грунту, см	Пшениця озима		Кукурудза на зерно		Ячмінь	
	Система удобрення					
	органічна	мінераль- на	органіч- на	мінераль- на	органіч- на	мінераль- на
Полицевий обробіток						
0–5	97	166	116	159	103	157
5–15	93	141	103	121	96	134
15–25	92	154	110	143	93	151
0–25	94	151	108	138	96	146
Безполицевий обробіток						
0–5	110	221	159	212	115	212
5–15	99	166	119	136	104	160
15–25	90	124	99	120	91	123
0–25	98	160	118	145	101	156
Мілкий безполицевий із одночасним щілюванням						
0–5	114	227	170	216	119	217
5–15	99	162	128	164	108	154
15–25	88	111	101	112	91	109
0–25	98	155	125	153	104	149
НіР ₀₅ для системи удобрення	1,1		3,4		1,3	
НіР ₀₅ для обробітку грунту	1,4		4,6		1,9	

На час відновлення вегетації пшениці озимої відбулося істотне підвищення вмісту обмінного калію за полицево-безполицевого обробітку порівняно з диференційованим. У період виходу рослин пшениці озимої у трубку достовірної різниці у варіантах обробітку ґрунту не відзначено. У фазу колосіння варіанти обробітку ґрунту суттєво не впливали на вміст обмінного калію.

K₂O, мг на 1 кг ґрунту

А – без добрив; Б – органічна; В – органо-мінеральна; Г – мінеральна системи удобрення

Рис. 5.4. Динаміка вмісту обмінного калію в чорноземі типовому за вирощування пшениці озимої залежно від обробітку ґрунту і системи удобрення, (2011–2017 рр.)

За органомінеральної системи удобрення вміст обмінного калію істотно не знижувався порівняно з мінеральною системою. За органомінеральної системи зростає вміст обмінного калію, що пов'язано з особливістю мінералізації органічної речовини, зменшенням фіксації калію ґрунту, а також вивільненням необмінного калію в рухомі обмінні сполуки [160, 163, 606].

Варіант без добрив призводив до істотного зниження обмінного калію.

Вміст обмінного калію в ґрунті неудобрених та малоудобрених варіантів після семирічного застосування в сівозміні стабілізується і в подальшому мало змінюється. Підтверджується гіпотеза про взаємоперетворення форм калію у ґрунті і постійна направленість системи на збереження певної рівноваги.

У багатьох випадках слабка дія низьких доз калійних добрив на врожайність сільськогосподарських культур пояснюється високою фіксуючою здатністю ґрунтів відносно калію. Систематичне внесення калійних добрив призводить до насичення іонами калію міжпакетних просторів і зовнішніх ґраток кристалічної решітки, у зв'язку з чим створюються умови для переходу фіксованого й обмінного калію в розчинний стан [253].

За внесення калійних добрив у підвищених дозах у ґрунті трансформуються усі форми калію. Порушується притаманна для такого типу ґрунтів природна рівновага. При цьому найбільше виражена загальна тенденція перетворення розчинних форм у більш важкорозчинні, а їх співвідношення спрямовується до вирівнювання з тим, яке існує у ґрунті природного неудобреного фону.

Таким чином, за вмістом обмінного калію органомінеральна та мінеральна системи знаходилася на одному рівні.

Уміст рухомих сполук калію в ґрунті залежить від низки факторів, серед яких найважливіші: норма застосування добрив, інтенсивність балансу

калію в системі добриво-грунт-рослина, фізико-хімічні особливості ґрунту, структура сівозміни та ін. [117, 132, 533].

Низка досліджень свідчать, що найефективніший агрохімічний метод у підвищенні вмісту рухомих сполук калію ґрунту це спільне застосування органічних і мінеральних добрив. Таке поєднання уповільнює перехід калію в ґрунтовий розчин, перетворює цей процес на рівномірний у часі, що зменшує необмінну фіксацію та вимивання калію за межі ґрунтового профілю [528, 529].

Застосування добрив сприяє накопиченню рухомих сполук калію в орному і підорному шарах ґрунту. При цьому ряд вчених визначали, що оцінювати калійний стан лише за вмістом сполук рухомого або обмінного калію в орному шарі ґрунту недостатньо [371, 402, 562, 600].

Як показали визначення обмінного калію, що полицево-безполицевий обробіток ґрунту істотно збільшує його вміст у 0–10, 10–20 см (табл. 5.10). Перевищення порівняно з диференційованим обробітком становить 3,7–13,2 %.

У шарах 30–50, 50–75 см спостерігалось поступове зниження вмісту обмінного калію як за диференційованого, так і за мілкого однополицевого обробітку. Можна констатувати, що безполицевий обробіток сприяє локалізації обмінного калію у верхній частині оброблюваного шару чорнозему типового. Такий обробіток може розцінюватися як захід, який знижує вимивання калію.

Органо-мінеральна система удобрення за вмістом обмінного калію істотно не перевищувала мінеральну систему удобрення. За органічної системи удобрення вміст обмінного калію знижувався у шарі 0–10 см на 20–32 %, у 10–20 см на 15–22 %, у шарі 20–30 см на 13–21 % порівняно з мінеральною.

Калійний фонд чорноземів під впливом добрив змінюється переважно на глибину 0–40 см [351, 505].

Таблиця 5.10

**Міграція обмінного калію чорнозему типового за вирощування
пшениці озимої, (2011–2017 рр.)**

Система удобрення, А	Варіант обробітку грунту, В	Вміст K ₂ O, мг/кг ґрунту в шарах					
		0–10	10– 20	20– 30	30– 50	50–75	75– 100
Без добрив	Диференційований (контроль)	105	92	83	75	69	57
	Полицево- безполицевий	113	103	87	80	74	64
	Мілкий безполицевий	110	100	85	77	70	62
Органічна	Диференційований (контроль)	114	105	93	85	76	58
	Полицево- безполицевий	129	112	105	93	77	64
	Мілкий безполицевий	124	108	97	88	76	62
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	151	129	117	88	80	62
	Полицево- безполицевий	156	139	124	95	82	68
	Мілкий безполицевий	151	127	119	91	79	64
Мінеральна	Диференційований (контроль)	151	125	113	87	82	63
	Полицево- безполицевий	155	137	122	93	83	69
	Мілкий безполицевий	149	125	110	86	80	64
НіР ₀₅ удобрення		3,9	5,0	9,2	3,4	3,0	F _ф <F ₀₅
НіР ₀₅ обробіток ґрунту		5,4	5,3	10,3	3,8	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅

Застосування органо-мінеральної системи удобрення на фоні полицево-безполицевого обробітку поліпшує калійний режим чорнозему типового, запобігає втратам цього елемента через вимивання, що сприяє збереженню ґрунтової родючості і підвищенню урожайності сільськогосподарських культур.

Зв'язок врожайності рослин з вмістом у ґрунті основних елементів мінерального живлення має істотні сильні значення коефіцієнтів кореляції, що свідчить про прямолінійну залежність між досліджуваними ознаками (табл. 5.11).

Таблиця 5.11

**Кореляційні зв'язки між елементами мінерального живлення і
урожайністю сільськогосподарських культур**

Х	У	Коефіцієнт кореляції	Рівняння регресії
Азот, що легко гідролізується в шарі 0–15 см	Урожайність пшениці озимої	$r=0,94\pm0,10$	$Y=1,116+0,069X$
	Урожайність буряків цукрових	$r=0,88\pm0,14$	$Y=11,107+0,740X$
Азот, що легко гідролізується в шарі 15–30 см	Урожайність пшениці озимої	$r=0,91\pm0,12$	$Y=2,19+0,063$
	Урожайність буряків цукрових	$r=0,72\pm0,22$	$Y=25,28+0,600X$
Фосфор рухомий (вихід у трубку)	Урожайність пшениці озимої	$r=0,68\pm0,23$	$Y=2,78+0,063X$
Фосфор рухомий (колосіння)	Урожайність пшениці озимої	$r=0,65\pm0,23$	$Y=3,07+0,060X$
Калій обмінний (вихід у трубку)	Урожайність пшениці озимої	$r=0,85\pm0,16$	$Y=1,375+0,052X$
Калій обмінний (колосіння)	Урожайність пшениці озимої	$r=0,90\pm0,13$	$Y=1,403+0,061$

5.4. Баланс елементів живлення

Баланс елементів живлення слугує теоритчною й практичною основою регулювання кругообігу речовин у системі ґрунт-добриво-рослина [117, 140, 261, 530]. Дослідження балансу поживних речовин дозволяє встановити територіальні параметри допустимого насичення сівозміни добривами, оптимізувати дози та забезпечити раціональне екологічно-збалансоване їх застосування [28, 163, 173, 186, 444, 535].

Кругообіг азоту в агроєкосистемах супроводжується широким спектром джерел його надходження у ґрунт. Крім органічних і мінеральних добрив у ґрунт азот надходить в процесі симбіотичної та асимбіотичної фіксації мікроорганізмами. Згідно з дослідженнями І. Г. Захарченка, Г. К. Медведя [173], горох за рахунок симбіотичної азотфіксації накопичує у ґрунті до 40 % азоту від величини виносу його рослинами, через газоподібні та інфільтраційні втрати. Трансформація сполук азоту в нітратну форму супроводжується процесами його вимивання з ґрунту, а величина втрат в умовах достатнього зволоження перевищує понад 10 кг/га у рік [173]. Дослідження з використанням стабільного ізотопу ^{15}N показали, що значна частина азоту втрачається в процесі денітрифікації: на культурах суцільної сівби газоподібні втрати азоту становлять 10–15 % від дози внесення азотних добрив, на просапних культурах – 20 % і вище [45, 218].

Застосування азотних добрив у сівозмінах повинно супроводжуватися нульовим, або близьким до нього балансом азоту. Вносити надлишок азотних добрив із розрахунку на післядію недоцільно внаслідок високої його мобільності у ґрунті [117]. Дослідження Р. Тейта [482], Р. S. Jenkinson [624], F. J. Sterenson [633] показали, що за різних рівнів удобрення надходження й втрати цього елемента в процесі тривалого застосування зрівноважуються і вміст його у ґрунті стабілізується.

Калій у ґрунті менш мобільний елемент порівняно з нім азотом. Основним джерелом поповнення його запасів у ґрунті є добрива, втрат – винос рослинами та вимивання в незначних кількостях у підґрунтові води. Валові запаси калію у ґрунті значно перевищують запаси азоту й фосфору, а тому, на думку Д. М. Прянішнікова [409], баланс калію у сівозміні може підтримуватися на рівні 75–80 % від величини його виносу, не спричиняючи при цьому дефіциту калійного живлення для рослин. При цьому Дж. Кук [240], В. В. Прокошев, І. П. Дерюгін [406] вважають, що калійні добрива необхідно вносити на рівні виносу його рослинами, щоб не допустити

наростаючого дефіциту калію у ґрунті, навіть коли внесення калійних добрив неефективне. На думку Г. М. Господаренка [117], в умовах інтенсивного землеробства виникає необхідність створення резерву рухомого калію у ґрунті за рахунок внесення добрив. Інтенсифікація виносу елементів живлення потребує забезпечення нульового, або додатного балансу калію у ґрунті.

Кругообіг фосфору у землеробстві відносно простий. Серед біогенних елементів фосфор найменше зазнає водних міграцій. На ґрунтах із низьким рівнем забезпечення посилюються процеси фізичної та хімічної адсорбції фосфору, знижується його рухомість. Основним джерелом поповнення фосфору у ґрунті слугує внесення мінеральних та органічних добрив. Дослідження І. Г. Захарченка, Г. К. Медведя [173], Б. С. Носка [349], В. П. Черепанова, В. М. Якименка [553] свідчать, що чорноземні ґрунти добре піддаються регулюванню і за додатного балансу поступово нарощують запаси рухомого фосфору у ґрунті.

Високий рівень кореляції між системою удобрення і фондом рухомого фосфору чорноземних ґрунтів являє собою важливий елемент у досягненні максимальної продуктивності культур. Найвища віддача від внесення добрив за вирощування більшості сільськогосподарських культур досягається на ґрунтах із рівнем забезпечення рухомим фосфором понад 15–16 мг/кг ґрунту [359]. Тому, вважає Б. С. Носко [347], на ґрунтах із низьким, середнім та підвищеним вмістом рухомого фосфору система удобрення має забезпечувати додатній баланс, а за досягнення високого вмісту – підтримувати нульовий баланс фосфору у ґрунті.

У проведених дослідженнях на основі врожайних даних і хімічного складу рослин були визначені розміри винесення азоту, фосфору і калію культурами сівозміни залежно від системи удобрення.

Відповідно до того, якими культурами насичена сівозміна, значною мірою змінювалася кількість органічних залишків, що надходили до ґрунту,

яка є важливою складовою балансу поживних речовин у ньому. У балансових розрахунках було враховано винесення поживних речовин врожайми культур, надходження їх за рахунок органічних і мінеральних добрив, насінням, опадами, несимбіотичною азотфіксацією (додатки В.1, В.2, В.3)

За застосування мінеральної системи удобрення у сівозміні із внесенням мінеральних добрив за схемою дослідів надійшло у ґрунт фосфору більше, ніж рослини використовують (табл. 5.12). Це свідчить про високу буферну властивість чорнозему та його здатність підтримувати рівновагу фосфатного фонду за рахунок постійних перетворень останнього.

Таблиця 5.12

**Баланс елементів мінерального живлення рослин у ґрунті в
середньому по сівозміні, (2011–2017 рр.)**

Показник	Елементи живлення		
	Азот	Фосфор	Калій
Мінеральна система удобрення			
Баланс, ± кг/га	–108	+29	–105
Інтенсивність балансу, %	52	158	75
Органо-мінеральна система удобрення			
Баланс, ± кг/га	–79,7	+6,5	–81,5
Інтенсивність балансу, %	62	125	83
Органічна система удобрення			
Баланс, ± кг/га	–107	–40	–129
Інтенсивність балансу, %	38	35	28

Ступінь рухомості фосфатів збільшується на удобрених фонах пропорційно вмісту рухомого фосфору, що зумовлено досягненням на високих фосфатних фонах ступеня насиченості фосфатної ємності ґрунту, при якій адсорбовані фосфат-іони легко десорбуються у ґрунтовий розчин і

підтримують більш високу концентрацію фосфору [358]. Вміст валових форм азоту і калію за згаданої системи удобрення був від'ємним.

За орґано-мінеральної системи удобрення нагромадження речовин від'ємне за валовими формами азоту і калію. Вміст фосфору у ґрунті позитивний. Інтенсивність балансу 125 %.

На чорноземах в інтенсивних сівозмінах І. Г. Захарченко [173] дослідив, що рівень повернення поживних речовин із добривами повинен орієнтовно становити для азоту 80 %, фосфору – 130–150, калію – 80–100 %; на дерново-підзолистих ґрунтах для азоту – не менше 110–120 %, фосфору – 170–202, калію – 100–115 %.

На варіанті орґанічної системи удобрення отримано за вмістом валових форм азоту, фосфору і калію від'ємний баланс внаслідок невисокого рівня надходження речовин у ґрунт. Інтенсивність балансу азоту, фосфору і калію за орґанічної системи удобрення в сівозміні становить відповідно 38 %, 35 % і 28 %.

Отже, позитивний баланс фосфору відзначено за використання мінеральної та орґано-мінеральної систем удобрення. Надходження азоту й калію у ґрунт менше, ніж його втрати культурами сівозміни.

Потенційна родючість ґрунту – це важливий показник можливої сталості продуктивності землі. Існують різні методи його визначення. Однак найоб'єктивніший і найповніший це метод, що ґрунтується на врахуванні енергії, яка акумулюється в ґрунті, і може бути кількісно зіставлена з енергозапасами в урожаї та виробничих ресурсах, витрачених на його одержання. За висновком А. Ковди [206], величина внутрішньої енергії може бути універсальним критерієм потенціальної родючості або продуктивності ґрунту взагалі. Складову частину комплексної енергетичної оцінки системи удобрення становить енергетичний баланс гумусу, фосфору, калію та інших елементів родючості ґрунту.

Із середини 70-х років минулого сторіччя у багатьох країнах світу розгорнулися роботи щодо оцінки систем удобрення методом екологічних і енергетичних балансів [62, 172, 336, 490]. Такі баланси, доповнені агроекологічними оцінками, забезпечують інтегральну оцінку систем і прийомів землеробства.

Для зростання виробництва сільськогосподарської продукції за сучасних умов господарювання необхідно нарощувати витрати додаткової енергії. Оскільки значна кількість енергії в Україну імпортується, необхідно за сучасної енергетичної кризи стежити за рівнем її витрат. Економію енергії можна досягти шляхом раціоналізації та оптимізації технологій вирощування окремих культур, впровадження агробіологічного контролю в процесі росту й розвитку рослин і швидкісного реагування на виявлені недоліки в живленні культур, що вирощують у сівозміні.

Розрахунок енергії, що надходить до системи (у даному випадку – ґрунт), і енергії, яка використана у процесі виробництва сільськогосподарської продукції певної культури, має різну мету. Виходячи з цього, проблема енергетичної ефективності землеробства повинна бути розподілена на дві частини: оцінка ефективності виробництва продукції та оцінка ефективності функціонування системи ґрунт-рослина. Такого висновку дійшли автори і вважають, що детальна енергетична оцінка технологій вирощування провідних польових культур у ланках різних сівозмін являє собою однобічний аналіз, оскільки він не дає оцінки змін енергетичного стану ґрунту, не визначає витрат енергії з елементами живлення рослин. У зв'язку з цим вперше спробували дослідити динаміку енергетичного стану ґрунту в умовах застосування різних технологій внесення добрив у сівозміні на чорноземах лісостепу України [626].

Системних досліджень такого характеру в Україні проведено ще недостатньо для того, щоб можна було надавати оцінку технологіям

вироснування сільськогосподарських культур у сівозмінах, особливо за умов різного насичення мінеральними добривами.

Детальний аналіз балансу N, P₂O₅, K₂O у чорноземі типовому дослідного поля, а також отриманих матеріалів авторами [61], дали можливість вперше визначити енергетичний баланс поживних речовин у ґрунті полів польової сівозміни за умов різних систем удобрення.

При цьому оцінювали енергію, яка надходила до ґрунту з органічними та мінеральними добривами і яка була винесена рослинами впродовж років та в середньому по сівозміні. У рослинах враховували тільки енергію засвоєних основних поживних речовин (азоту, фосфору та калію) і не враховували енергію, одержану ними за рахунок фотосинтетичної діяльності.

Енергетичний аналіз варіантів досліджень, що надійшло з мінеральними добривами, наведено у табл. 5.13 – 15.

Так, встановлено, що у сівозміні за мінеральної системи удобрення в середньому на 1 га сівозмінної площі у ґрунт із добривами надходило: азоту – 6,9, фосфору – 1,23, калію – 0,88 ГДж (див. табл. 5.13). При цьому найбільша її кількість (76,2 – 82,7 загального надходження у добривах) потрапляла до ґрунту з азотом (у складі органічних і мінеральних добрив).

Із загальної кількості енергії поживних речовин, що була засвоєна рослинами, найбільша кількість припадає в середньому на азот (42,2 %). Частка її у засвоєному фосфорі становить 15,8 %, калію – 42 %.

Рівень відшкодування енергії внесених поживних речовин у сівозміні свідчить, що врожайність культур забезпечувалася за рахунок ґрунту в середньому на 51 %, калію на 86,8 %. За роки досліджень застосування добрив ґрунт збагачувався енергією азоту, його азотний енергетичний потенціал збільшувався на 3 %.

Таблиця 5.13

**Енергетичний баланс поживних речовин чорнозему типового за
мінеральної системи удобрення (2011–2017 рр.)**

Культури	Внесено енергії у ґрунт з елементами живлення, ГДж/га				Винесено енергії рослинами з елементами живлення, ГДж/га				Рівень відшкодування енергії, %			
	N	P	K	N P K	N	P	K	N P K	N	P	K	N P K
Люцерна	–	$\frac{1,0}{62,5}$	$\frac{0,6}{37,5}$	$\frac{1,6}{100}$	$\frac{16,0}{42,8}$	$\frac{7,1}{19,0}$	$\frac{14,3}{38,2}$	$\frac{37,4}{100,0}$	–	14	4,2	4,2
Люцерна		$\frac{1,0}{62,5}$	$\frac{0,6}{37,5}$	$\frac{1,6}{100}$	$\frac{8,9}{43,9}$	$\frac{3,9}{19,8}$	$\frac{7,9}{38,2}$	$\frac{20,7}{100}$	–	26	7,6	7,7
Пшениця озима	$\frac{8,6}{82,7}$	$\frac{1,1}{10,5}$	$\frac{0,7}{6,8}$	$\frac{10,4}{100}$	$\frac{8,2}{48,8}$	$\frac{2,8}{16,7}$	$\frac{5,8}{34,5}$	$\frac{16,8}{100}$	104,8	39,3	12	61,9
Буряки цукрові	$\frac{10,6}{77,9}$	$\frac{1,6}{11,8}$	$\frac{1,4}{10,3}$	$\frac{13,6}{100}$	$\frac{5,7}{37,0}$	$\frac{1,1}{7,2}$	$\frac{8,6}{5,58}$	$\frac{15,4}{100}$	186	145,5	16,3	88,3
Ячмінь	$\frac{6,1}{76,2}$	$\frac{1,1}{13,8}$	$\frac{0,8}{10,0}$	$\frac{8,0}{100}$	$\frac{3,6}{42,8}$	$\frac{1,6}{19,0}$	$\frac{3,2}{38,2}$	$\frac{18,4}{100}$	169	68,7	25	95,2
Соя	$\frac{0,02}{1,2}$	$\frac{0,9}{55,5}$	$\frac{0,7}{43,3}$	$\frac{1,6}{100}$	$\frac{6,2}{67,4}$	$\frac{1,4}{15,2}$	$\frac{1,6}{17,4}$	$\frac{9,2}{100}$	0,32	64,3	43,7	17,6
Пшениця озима	$\frac{7,8}{79,6}$	$\frac{1,1}{11,2}$	$\frac{0,9}{9,2}$	$\frac{9,8}{100}$	$\frac{3,1}{49,2}$	$\frac{1,0}{15,9}$	$\frac{2,2}{34,9}$	$\frac{6,3}{100}$	251	110	40,9	155
Кукурудза на силос	$\frac{14,0}{83,8}$	$\frac{1,6}{9,6}$	$\frac{1,1}{6,6}$	$\frac{16,7}{100}$	$\frac{7,6}{4,7}$	$\frac{3,2}{8,4}$	$\frac{6,6}{37,9}$	$\frac{17,4}{100}$	184	50	16,6	95,9
Пшениця озима	$\frac{8,7}{80,4}$	$\frac{1,3}{12,0}$	$\frac{0,8}{7,4}$	$\frac{10,8}{100}$	$\frac{2,8}{48,5}$	$\frac{0,97}{16,8}$	$\frac{2,0}{34,7}$	$\frac{5,77}{100}$	310	134	40	187
Соняшник	$\frac{13,2}{82,5}$	$\frac{1,6}{10}$	$\frac{1,2}{7,5}$	$\frac{16}{100}$	$\frac{4,6}{22,0}$	$\frac{2,0}{9,7}$	$\frac{14,3}{68,3}$	$\frac{20,9}{100}$	287	80	8,4	76,5
Усього	$\frac{69,0}{76,6}$	$\frac{12,3}{13,6}$	$\frac{8,8}{9,8}$	$\frac{90,1}{100}$	$\frac{66,7}{42,2}$	$\frac{25,0}{15,8}$	$\frac{66,5}{42,0}$	$\frac{158,2}{100}$	103	49	13	5749,1
У середньому у сівоозміні	6,9	1,23	0,88	9,01	6,67	2,5	6,6	15,8	103	49,2	13,2	56,9

Примітка. У чисельнику – кількість енергії, ГДж; у знаменнику – % від загальної кількості енергії.

Таблиця 5.14

**Енергетичний баланс поживних речовин чорнозему типового за органо-
мінеральної системи удобрення (2011–2017 рр.)**

Культури	Внесено енергії у ґрунт з елементами живлення, ГДж/га				Винесено енергії рослинами з елементами живлення, ГДж/га				Рівень відшкодування енергії, %			
	N	P	K	N P K	N	P	K	N P K	N	P	K	N P K
Люцерна	$\frac{0,016}{1,7}$	$\frac{0,50}{53,4}$	$\frac{0,40}{44,89}$	$\frac{0,94}{100}$	$\frac{13,6}{42,7}$	$\frac{6,1}{19,2}$	$\frac{12,1}{38,0}$	$\frac{31,8}{100,0}$	0,12	8,2	3,5	2,9
Люцерна	–	$\frac{0,50}{54,9}$	$\frac{0,41}{45,1}$	$\frac{0,91}{100}$	$\frac{7,4}{42,8}$	$\frac{3,3}{19,0}$	$\frac{6,6}{38,2}$	$\frac{17,3}{100}$	–	6,8	12	5,3
Пшениця озима	$\frac{7,9}{81,3}$	$\frac{1,04}{10,7}$	$\frac{0,77}{7,9}$	$\frac{9,7}{100}$	$\frac{7,1}{48,6}$	$\frac{2,45}{16,7}$	$\frac{5,1}{34,7}$	$\frac{14,7}{100}$	110	42,4	15,1	66
Буряки цукрові	$\frac{3,7}{65,3}$	$\frac{1,7}{20,8}$	$\frac{0,78}{13,9}$	$\frac{5,6}{100}$	$\frac{5,4}{33,7}$	$\frac{1,9}{12}$	$\frac{8,7}{54,3}$	$\frac{16,0}{100}$	67,9	60,6	8,9	35,1
Ячмінь	$\frac{0,92}{44,5}$	$\frac{0,66}{33,9}$	$\frac{0,5}{23,7}$	$\frac{2,07}{100}$	$\frac{3,6}{43,2}$	$\frac{1,6}{19,0}$	$\frac{8,7}{54,3}$	$\frac{8,3}{100}$	25,8	42,3	15,6	25
Соя	–	$\frac{0,42}{65,6}$	$\frac{0,22}{34,4}$	$\frac{0,64}{100}$	$\frac{4,94}{67,7}$	$\frac{1,11}{15,2}$	$\frac{1,25}{17,1}$	$\frac{7,3}{100}$	–	37,8	17,6	8,8
Пшениця озима	$\frac{5,3}{88,8}$	$\frac{0,16}{2,7}$	$\frac{0,51}{8,5}$	$\frac{5,97}{100}$	$\frac{5,31}{48,6}$	$\frac{1,82}{16,7}$	$\frac{3,79}{35,0}$	$\frac{10,9}{100}$	99,8	8,8	13,4	50,6
Кукурудза на силос	$\frac{6,3}{79,4}$	$\frac{0,84}{10,6}$	$\frac{0,79}{10,0}$	$\frac{7,93}{100}$	$\frac{6,8}{43/6}$	$\frac{2,9}{18,5}$	$\frac{6,0}{37,9}$	$\frac{15,7}{100}$	92,5	29	13,2	95,9
Пшениця озима	$\frac{7,9}{77,9}$	$\frac{1,16}{11,5}$	$\frac{1,07}{10,6}$	$\frac{10,1}{100}$	$\frac{4,8}{48,6}$	$\frac{1,65}{16,7}$	$\frac{3,44}{34,7}$	$\frac{9,9}{100}$	163,6	70,3	31,1	102
Соняшник	$\frac{5,4}{85,5}$	$\frac{0,6}{7,3}$	$\frac{0,45}{7,2}$	$\frac{6,3}{100}$	$\frac{43,9}{22,0}$	$\frac{1,7}{9,6}$	$\frac{12,1}{68,4}$	$\frac{17,7}{100}$	138	27	3,7	33,5
Усього	$\frac{37,4}{74,4}$	$\frac{6,91}{13,8}$	$\frac{5,91}{11,8}$	$\frac{50,17}{100}$	$\frac{62,9}{42,0}$	$\frac{24,51}{16,4}$	$\frac{66,2}{41,6}$	$\frac{149,6}{100}$	59	28	9,5	57
У середньому у сівозміні	3,73	0,69	0,6	0,5	6,2	2,4	6,2	14,9	60,1	28,8	9,5	33,6

Примітка. У чисельнику – кількість енергії, ГДж; у знаменнику – % від загальної кількості енергії.

Таблиця 5.14

Енергетичний баланс поживних речовин чорнозему типового за органічної системи удобрення (2011–2017 рр.)

Культури	Внесено енергії у ґрунт з елементами живлення, ГДж/га				Винесено енергії рослинами з елементами живлення, ГДж/га				Рівень відшкодування енергії, %			
	N	P	K	N P K	N	P	K	N P K	N	P	K	N P K
Люцерна	$\frac{0,013}{39,4}$	$\frac{0,0025}{7,6}$	$\frac{0,018}{53,0}$	$\frac{0,033}{100}$	$\frac{12,2}{42,8}$	$\frac{5,42}{19,0}$	$\frac{10,8}{38,2}$	$\frac{28,47}{100,0}$	0,11	0,05	0,16	0,12
Люцерна	$\frac{0,048}{85,3}$	$\frac{0,0068}{12,0}$	$\frac{0,0015}{2,7}$	$\frac{0,056}{100}$	$\frac{6,7}{42,8}$	$\frac{2,98}{19,0}$	$\frac{5,95}{38,2}$	$\frac{15,63}{100}$	0,71	0,23	0,025	0,36
Пшениця озима	$\frac{0,13}{45,3}$	$\frac{0,047}{16,4}$	$\frac{0,11}{38,3}$	$\frac{0,287}{100}$	$\frac{6,6}{48,6}$	$\frac{2,25}{16,7}$	$\frac{4,68}{34,7}$	$\frac{13,49}{100}$	1,98	2,08	2,35	2,13
Буряки цукрові	$\frac{0,185}{45,5}$	$\frac{0,066}{16,2}$	$\frac{0,156}{38,3}$	$\frac{0,407}{100}$	$\frac{4,3}{35,0}$	$\frac{1,5}{12,6}$	$\frac{6,45}{52,4}$	$\frac{162,3}{100}$	4,3	4,2	2,42	3,3
Ячмінь	$\frac{0,1}{48,8}$	$\frac{0,034}{16,6}$	$\frac{0,071}{34,6}$	$\frac{2,205}{100}$	$\frac{2,83}{43,1}$	$\frac{1,24}{18,9}$	$\frac{2,49}{38,0}$	$\frac{6,56}{100}$	3,53	2,74	2,85	3,12
Соя	$\frac{0,068}{62,4}$	$\frac{0,012}{11,0}$	$\frac{0,029}{26,6}$	$\frac{0,109}{100}$	$\frac{4,94}{66,7}$	$\frac{0,96}{14,9}$	$\frac{1,18}{18,4}$	$\frac{6,43}{100}$	1,58	1,25	2,46	1,69
Пшениця озима	$\frac{0,115}{46,0}$	$\frac{0,041}{16,4}$	$\frac{0,092}{37,6}$	$\frac{0,25}{100}$	$\frac{4,69}{48,6}$	$\frac{1,61}{16,7}$	$\frac{3,35}{35,0}$	$\frac{9,65}{100}$	2,45	2,54	2,74	2,59
Кукурудза на силос	$\frac{0,17}{47,2}$	$\frac{0,056}{14,8}$	$\frac{0,137}{38,0}$	$\frac{0,36}{100}$	$\frac{6,06}{43,4}$	$\frac{2,57}{18,4}$	$\frac{5,32}{38,2}$	$\frac{13,9}{100}$	2,8	2,18	2,57	2,58
Пшениця озима	$\frac{0,109}{47,4}$	$\frac{0,037}{16,0}$	$\frac{0,083}{36,6}$	$\frac{10,23}{100}$	$\frac{4,4}{48,6}$	$\frac{1,52}{16,7}$	$\frac{3,16}{34,7}$	$\frac{9,1}{100}$	2,46	2,43	2,62	2,52
Соняшник	$\frac{0,19}{45,9}$	$\frac{0,06}{15,5}$	$\frac{0,16}{38,6}$	$\frac{0,414}{100}$	$\frac{3,34}{22,1}$	$\frac{1,45}{9,6}$	$\frac{10,3}{68,3}$	$\frac{15,1}{100}$	5,69	4,41	1,55	2,74
Усього	$\frac{1,13}{48,0}$	$\frac{0,36}{15,6}$	$\frac{0,86}{36,4}$	$\frac{2,35}{100}$	$\frac{55,4}{42,4}$	$\frac{21,55}{16,5}$	$\frac{53,7}{41,1}$	$\frac{130,7}{100}$	2,0	1,7	1,6	1,8
У середньому у сівозміні	0,113	0,037	0,086	0,236	0,554	0,216	5,37	13,07	1,98	1,67	1,6	1,8

Примітка. У чисельнику – кількість енергії, ГДж; у знаменнику – % від загальної кількості енергії.

У полях сівозміни за органо-мінеральної системи удобрення відзначено негативний енергетичний баланс за азотом, фосфором і калієм (див. табл. 5.14)

Показники виносу енергії рослинами з елементами живлення були практично однакові з показниками за мінеральної системи удобрення.

За органо-мінеральної системи удобрення елементи живлення використовувались ефективніше, ніж за мінеральної. У полях сівозміни пшениці озимої, ячменю, внаслідок додаткового вирощування проміжних культур на сидерат винесено енергії рослинами з елементами живлення менше, ніж, за мінеральної системи, зокрема: азоту на 0,2 %, калію на 0,4 %. Рівень відшкодування калію найнижчий серед досліджуваних мікроелементів – 9,5 %, тобто за рахунок ґрунту калієм забезпечувалася врожайність культур у середньому на 90,5 %.

У полях сівозміни за органічної системи удобрення відзначено від'ємний енергетичний баланс усіх трьох елементів живлення (див. табл. 5.15).

Тут встановлено істотне – азоту – 28,6 % і зменшення внесеної енергії, незначне підвищення (у межах 0,2 % фосфору і 2,0 % калію) підвищення внесеної енергії. Однак показники виносу енергії рослинами з елементами живлення були практично однакові з показниками у сівозміні за мінеральної системи удобрення. Кількість азоту, що надійшла до ґрунту у варіанті органічної системи удобрення становила 1,128, фосфору – 0,366, калію – 0,858 ГДж на 1 га ріллі, менше, ніж за мінеральної системи удобрення.

Рівень відшкодування енергії внесених поживних речовин на органічній системі удобрення був у дефіциті. Найбільшим на цьому варіанті виявився дефіцит калію. У середньому за роки досліджень у сівозміні врожай тут забезпечувався за рахунок азоту ґрунту на 98 %, фосфору – 98,3, калію – 98,4 %.

Висновки до розділу 5

1. Варіанти удобрення впливають на поліпшення умов живлення рослин, підвищують їх продуктивність, поліпшують родючість ґрунту, якість продукції та екологічний стан довкілля.
2. Застосування полицево-безполцевого обробітку ґрунту за рахунок стабілізації мінералізаційних процесів у ґрунті забезпечує збереження, а за спільного з органо-мінеральним удобренням додаткове накопичення загального азоту.
3. Безполцеві обробітки ґрунту знижують інтенсивність мінералізації органічної речовини, істотно впливають на рухомі фосфати.
4. Найбільшою мірою на всі форми калію впливають мінеральні добрива, дещо менше – органічні і найменше – обробіток ґрунту.

Одержані результати досліджень опубліковані в наступних джерелах:

1. Центи́ло Л.В., Цюк О.А., Мельник В.І. Уміст поживних речовин у ґрунті під впливом застосування добрив і обробітку ґрунту. Біоресурси і природокористування. 2018. Т.10. № 3–4. С. 164–169.
2. Центи́ло Л. В., Цюк О. А. Баланс азоту, фосфору і калію за застосування добрив. Наукові доповіді НУБіП України. 2018. №5. (75).
URL: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2018.05.020>
3. Центи́ло Л. В., Цюк О. А. Азотний режим чорнозему типового залежно від удобрення і обробітку ґрунту. Біоресурси і природокористування. Т.11. № 1–2. 2019. С. 107–114.
4. Центи́ло Л. В. Калійний режим чорнозему типового за різного удобрення та обробітку ґрунту. Наукові доповіді НУБіП України. 2019. № 3. 79. URL: index.php/Dopovidi/issue/view/501.
5. Танчик С.П., Центи́ло Л.В. Екологічні аспекти удобрення соняшнику за його вирощування на чорноземах типових в Правобережному Лісостепу України. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія. 2018. №286. С. 80–89.

РОЗДІЛ 6

АГРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ВОДНИЙ РЕЖИМ ҐРУНТУ

Розв'язання проблеми збільшення виробництва продукції землеробства значною мірою залежить від правильної оцінки рівня родючості та окультурення ґрунту, чіткої уяви про оптимальні для культурних рослин основні його показники і застосування на цій основі ефективної системи управління родючістю ґрунту [240, 264, 457, 561, 594].

Речовину й енергетичну основу родючості ґрунту створюють різні ґрунтові процеси: перетворення, акумуляції і трансформації. Узагальнивши результати наукових досліджень О. Г. Тараріко, В. В. Макаренка [479], виділили три основних групи чинників родючості з притаманними для них такими властивостями: біологічні – кількісний і якісний склад органічної речовини, загальна кількість ґрунтової біоти й чистота ґрунту від бур'янів, шкідників і збудників хвороб, інтенсивність виділення CO₂, азотфіксуюча та нітрифікуюча здатність, ступінь розкладання целюлози, ферментативна активність, наявність токсичних речовин; агрофізичні – гранулометричний склад ґрунту, структура і будова орного шару та його потужність; агрохімічні – забезпечення ґрунту поживними макро- і мікроелементами, реакція ґрунтового розчину (кислотність), ступінь насичення основами, гідролітична кислотність.

Ряд авторів [47, 48, 242, 564] зазначають, що важливе значення для встановлення параметрів властивостей ґрунту належить багаточисельним польовим дослідом. Проте, за даними П. І. Полупана [393], кількість стаціонарних польових дослідів обмежена, не налагоджена чітка їх координація, що утруднює вивчення низки принципових питань сучасного землеробства, зокрема, дії і взаємодії біологічних, агротехнічних чинників на родючість ґрунту і продуктивність агроценозу.

До важливих показників окультурення і родючості ґрунту відноситься його структурно-агрегатний стан. За сучасними поглядами, агрономічно

цінні властивості ґрунту зумовлюються не тільки наявністю у ньому макроструктурних частинок діаметром 0,25–10 мм, а й мікроструктурних – менше 0,25 мм. Однак верхня і нижня межа макроструктури різна для різних типів ґрунтів. За даними А. Г. Бондарєва, В. В. Медведєва [50], на чорноземних ґрунтах оптимально для ячменю 10 % агрегатів 10–5 мм, 20 % – 5–2 мм, 45 % – 2–0,25 мм і 25 % – менше 0,25 мм.

За підрахунками І. Б. Ревута [418], загальна шпаруватість мікроструктурних ґрунтів становить близько 45 % від об'єму ґрунту, щільність – 1,45–1,55 г/см³. Серед істотних недоліків мікроструктурних ґрунтів розрізняють їхню здатність до ущільнення, більшою мірою піддаватися водній та вітровій ерозії.

Наявність у розпушеному ґрунті капілярних і некапілярних проміжків – дуже важлива умова створення сприятливого для рослин водно-повітряного і поживного режимів. Так, П. У. Бахтіним [30] встановлено градації ступеня кришення ґрунту з їх оцінкою. Добре кришення оцінюється за умови 70–90 % грудочок, більших за 50 мм, і 5–10 % пилу.

Негативні наслідки інтенсивного обробітку та ущільнення ґрунту різноманітні: погіршується водний і повітряний режими, умови мінерального живлення рослин, знижується врожайність культур, посилюються процеси ерозії, засміченості посівів, їх зараженість збудниками хвороб, знижується ефективність добрив, зростають витрати на обробіток [554].

За полицевого обробітку ґрунту найбільшою мінливістю відрізняються властивості орного шару, тоді як за безполицевого і, особливо, нульового обробітку вони набувають певної стабільності, а спрямованість ґрунтово-біохімічних процесів наближається за характером до природних угідь [578, 631].

Основна роль у створенні оптимальної щільності відводиться різним способам обробітку ґрунту. Ефективному усуненню переущільнення орного шару сприяє глибока оранка, а безполицевий і плоскорізний обробіток збільшують щільність складення ґрунту. Віддають перевагу глибокій

зблевій оранці як способу поліпшення фізичних властивостей ґрунту [221].

Проте останнім часом в літературі з'явилися дані, що суперечать наведеним судженням. Так, ряд авторів [414, 639] вважають, що більш розпушений склад ґрунту після оранки порівняно з іншими способами обробітку зберігається лише протягом 1–3 місяців в осінній період. До початку весняно-польових робіт щільність ґрунту вирівнюється або зораний ґрунт стає більш щільним, ніж незораний.

Далі наведено результати дослідження агрофізичних показників чорнозему типового за різних систем удобрення та обробітку ґрунту.

6.1. Структурно-агрегатний стан ґрунту

Серед важливих агрофізичних показників родючості й окультурення ґрунту чільне місце посідає його структурний склад [240, 309, 443, 511].

Аналіз літератури за минулі роки і сучасної уможливили виділити три основні точки зору на значення структури у родючості ґрунту. Так, В. Р. Вільямс і його наступники не розрізняли поняття структура ґрунту та його родючість. За їх теорією тільки структурним ґрунтам притаманна родючість. Опоненти В. Р. Вільямса обґрунтовували відсутність значущості структури ґрунту, як чинника родючості.

Найбільш прийнятна, на нашу думку, третя точка зору, за якою структура зберігає функції регулятора ґрунтових чинників росту й розвитку рослин (у першу чергу фізичних) у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах, а також функції, які підвищують чутливість рослин на застосування агро меліоративних заходів. Справедливо зауважує Евері (за Д. Куком [239]), що рільника в інтенсивному землеробстві не стільки цікавлять властивості ґрунту (у тому числі й структура), скільки той рівень, за якого сталі властивості (сумарні для конкретного типу ґрунту) ефективно лімітує чутливість на певні агротехнічні та меліоративні заходи.

Нині можна вважати визнаним положення про те, що родючість ґрунтів середнього і важкого гранулометричного складу залежить від їх структурного складу [511]. Останнім часом опубліковано багато праць, в яких висвітлено результати вивчення зміни агрофізичних показників ґрунтів під впливом добрив. Оскільки виняткова роль органічних речовин та органічних добрив у їх оптимізації не викликає сумніву [482, 543], однак, щодо впливу мінеральних добрив – дані досить суперечливі. Деякі вчені стверджують, що систематичне застосування мінеральних добрив (особливо в підвищених дозах) у разі збільшення в асортименті фізіологічно кислих форм або форм, які містять одновалентні катіони, призводить до погіршення агрегатного складу чорноземів [557], тоді як інші [149, 550] доводять, що можливі неістотні зміни структурно-агрегатного стану чорноземних ґрунтів під час внесення мінеральних добрив, особливо в поєднанні з органічними, у невеликих і середніх дозах.

Використання сівозміни з багаторічними травами і 10 т/га гною, за даними А. І. Суркова [466], не призводить до суттєвого збільшення кількості водитривких агрегатів. У досліджах В. О. Єщенка [153] багаторічні трави на один укіс першого року використання поліпшували структурний стан ґрунту. Однак їх післядія у польовій 10-пільній сівозміні була короткотривалою – не більше дворічного періоду після розорювання. Тривалість впливу різних за біологічними й агротехнічними особливостями однорічних культур на умови структуроутворення обмежується тільки одним вегетаційним періодом.

Упродовж останніх десятиріч опубліковано низку робіт, де наведено результати досліджень впливу окультурення на структуру чорнозему типового. Розорювання чорноземних ґрунтів призводить до погіршення їх структурного стану [94, 305]. Про інше стверджують висловлюють С. І. Коржов і Т. А. Трофімова [219] – структурність орних земель краща за цілинні аналоги.

На орних землях під впливом комплексу агрозаходів відбувається окультурення та поліпшення структурно-агрегатного складу [94, 184, 305].

Проте у дослідженнях Цюка О. А. [548] не виявлено позитивного впливу високого рівня агротехніки впродовж 10–15 років на структуру чорнозему типового.

У процесі використання таких ґрунтів відзначено тенденцію до збільшення кількості водитривких агрегатів розміром менше 1 мм, що пов'язано з механічним пошкодженням агрегатів внаслідок їх обробітку [305, 583].

За будь-якого обробітку ґрунту поряд з його кришенням на макроагрегати відбувається також їх руйнування. Тому ефективність заходу основного обробітку ґрунту визначається тим, який з двох процесів переважатиме.

Відомо, що під впливом різних процесів із механічних елементів у ґрунті утворюються структурні частинки, що являють собою подальший етап у формуванні окремоностей ґрунту. Подрібнення ґрунтової маси з утворенням структурних частинок, за І. Б. Ревутом [418], зумовлюється впливом таких чинників: 1) біогенного походження (корені рослин, деякі тварини, що живуть у ґрунті, наприклад, дощові черв'яки та ін.); 2) кліматичними агентами (зволоження й висихання, замерзання і танення ґрунту); 3) заходами обробітку ґрунту.

На основі проведених досліджень І. П. Котоврасов [221] встановив, що система комбінованого обробітку ґрунту під пшеницю озиму сприяє поліпшенню структурно-агрегатного складу в нижній частині орного шару (20–30 см) і погіршенню його у верхній (0–10 см) порівняно з іншими системами основного обробітку ґрунту.

На думку деяких дослідників, поверхневий обробіток створює поліпшений структурний склад ґрунту з більшою кількістю агрономічно цінних частин.

Вміст пилу за безполицевого обробітку під час проведення досліджень був завжди вищим, ніж за оранки, але не перевищував 2–4 %. Тобто, звідси, питання впливу різних заходів на структуру ґрунту до цього часу перебуває в

центрі уваги дослідників. Проте єдиної думки, яка б твердо підкреслила необхідність застосування того чи іншого заходу для покращення структури ґрунту, поки ще не існує. Особливо актуальною постає ця проблема на тлі застосування різних заходів обробітку ґрунту.

Результати досліджень щодо структурно-агрегатного складу чорнозему типового в полі пшениці озимої наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Структурно-агрегатний склад чорнозему типового за вирощування пшениці озимої (2012–2015 рр.)

Система удобрєння, А	Варіант обробітку грунту, В	Шар грунту, см, С	Вміст агрегатів, мм, %			Коефіцієнт структур- ності
			>10	0,25–10	<0,25	
Без добрив	Диференційова- ний (контроль)	0–10	20,1	67,6	12,3	2,1
		10–20	23,2	64,4	12,4	1,8
	Полицево- безполицевий	0–10	20,6	69,2	10,2	2,2
		10–20	24,2	67,3	8,5	2,0
	Мілкий безполицевий	0–10	23,4	64,2	12,4	2,4
		10–20	25,4	62,4	12,2	1,6
Органо- мінераль- на	Диференційова- ний (контроль)	0–10	15,4	71,6	13,0	2,5
		10–20	17,0	74,7	8,4	2,9
	Полицево- безполицевий	0–10	18,2	71,6	10,3	2,5
		10–20	17,7	72,6	9,7	2,6
	Мілкий безполицевий	0–10	20,0	68,5	11,6	2,2
		10–20	26,8	63,3	10,0	1,7
Мінераль- -на	Диференційова- ний (контроль)	0–10	20,7	71,0	8,4	2,4
		10–20	20,3	71,6	8,2	2,5
	Полицево- безполицевий	0–10	22,0	70,1	8,0	2,3
		10–20	23,1	77,1	9,3	2,4
	Мілкий безполицевий	0–10	24,0	68,6	9,7	2,0
		10–20	25,4	64,9	9,9	1,8
Середнє за системою удобрєння	Без добрив		22,8	65,8	11,3	2,0
	Органо-мінеральна		19,1	70,4	10,5	2,4
	Мінеральна		22,5	70,5	8,9	2,2
Середнє за обробіткою м ґрунту	Диференційований		19,4	70,1	10,4	2,3
	Полицево-безполицевий		20,9	71,3	9,3	2,3
	Мілкий безполицевий		24,1	65,3	10,9	1,9
НІР ₀₅ А			1,16	1,30	1,04	
НІР ₀₅ В			1,1	1,30	1,0	
НІР ₀₅ С			0,9	1,0	0,8	

Системи основного обробітку ґрунту суттєво впливають на формування різних за розміром часточок ґрунту. Найбільше міститься агрономічно цінних часточок на варіанті полицево-безполицевого обробітку ґрунту, що становить 71,3 %. На цьому варіанті зменшився вміст структурної фракції розміром менше 0,25 мм до 9,3 %.

У шарі 10–20 см вміст агрономічно цінних агрегатів (0,25–10) на всіх варіантах зменшується, проте зростає кількість структурної фракції понад 10 мм порівняно з шаром 0–10 см.

За мілкого безполицевого обробітку чорнозему типового, за якого не відбувається обертання скиби і на поверхні знаходяться рослинні залишки, ґрунт краще протистоїть злитизації. У такому разі в поверхневому шарі за диференційованого обробітку структурна фракція розміром понад 10 мм становить 15,4 і 20,7 % на фоні органо-мінеральної і мінеральної системи удобрення відповідно. За мілкого безполицевого обробітку структурна фракція розміром >10 мм у шарі 0–10 см досягає 20,0 і 24,0 %.

Максимальні величини коефіцієнта структурності спостерігаються за полицево-безполицевого обробітку – 2,3 та диференційованого – 2,3 й істотно знижуються за мілкого безполицевого обробітку.

Кількість агрономічно цінної структури (0,25–10 мм) за органо-мінеральної системи удобрення істотно перевищує варіант без добрив на 7,0 %. На цій системі удобрення кількість структурних агрегатів фракції за 10 мм зменшилася за мінеральної системи на 15 %.

Результати досліджень щодо структурно-агрегатного складу чорнозему типового в полі буряків цукрових наведено в табл. 6.2.

У полі буряків цукрових відбулося підвищення вмісту агрегатів фракції понад 10 мм на варіанті мілкого безполицевого обробітку на 19 % порівняно із диференційованим обробітком. Вміст агрономічно цінних агрегатів (0,25–10 мм) коливається від 67,4 до 66,7 % за диференційованого та полицево-безполицевого обробітків, і за мілкого безполицевого становить 63,4 %. Найвищий вміст агрегатів (<0,25 мм) відзначено на варіантах

диференційованого обробітку – 12,2 % та полицево-безполицевого – 12,0 %. Встановлено істотне зниження цієї фракції за мілкою безполицевого обробітку – 10,6 %.

Таблиця 6.2

**Структурно-агрегатний склад чорнозему типового за вирощування
буряків цукрових (2012–2015 рр.)**

Система удобрення, А	Варіант обробітку грунту, В	Шар грунту, см, С	Вміст агрегатів, мм, %			Коефі- цієнт струк- турності
			>10	0,25–10	<0,25	
Без добрив	Диференційова- ний (контроль)	0–10	22,8	65,2	12,0	1,87
		10–20	24,7	63,6	11,7	1,7
	Полицево- безполицевий	0–10	25,0	64,0	11,0	1,77
		10–20	28,0	60,0	12,0	1,5
	Мілкий безполицевий	0–10	27,4	63,6	9,0	1,74
		10–20	29,8	61,2	9,0	1,60
Органо- мінеральна	Диференційова- ний (контроль)	0–10	19,5	69,5	11,0	2,2
		10–20	15,5	70,0	14,5	2,3
	Полицево- безполицевий	0–10	18,0	69,5	12,5	2,3
		10–20	17,5	71,0	11,5	2,4
	Мілкий безполицевий	0–10	26,5	63,0	10,5	1,7
		10–20	23,0	65,0	12,0	1,8
Мінеральна	Диференційова- ний (контроль)	0–10	23,8	69,5	12,2	1,9
		10–20	20,5	68,0	12,0	2,0
	Полицево- безполицевий	0–10	17,0	66,5	14,0	2,1
		10–20	19,0	69,5	11,0	2,3
	Мілкий безполицевий	0–10	21,2	66,5	12,3	1,99
		10–20	23,3	61,4	10,8	1,8
Середнє за системою удобрення	Без добрив		26,2	62,9	10,8	1,69
	Органо-мінеральна		20,0	68,0	12,0	2,1
	Мінеральна		20,8	66,9	12,0	2,0
Середнє за обробітком грунту	Диференційований		21,1	67,6	12,2	1,99
	Полицево-безполицевий		20,7	66,7	12,0	2,0
	Мілкий безполицевий		25,2	63,4	10,6	1,77
НІР ₀₅ А			1,06	1,06	F _ф <F ₀₅	
НІР ₀₅ В			1,0	1,0	1,1	
НІР ₀₅ С			0,8	0,9	F _ф <F ₀₅	

Зниження вмісту фракції понад 10 мм відзначено за органо-мінеральної та мінеральної системи удобрення на 23 % (у відносних величинах)

порівняно з варіантом без застосування добрив. Слід зазначити, що кількість агрегатів ґрунту розміром менше 0,25 за орґано-мінеральної і мінеральної системи удобрення істотно підвищилася на 11 %. Коефіцієнт структурності за орґано-мінеральної системи удобрення був вищим на 0,1 порівняно з мінеральною системою.

Ґрунти чорноземного типу практично не уразливі щодо шкідливого впливу врівноважених доз мінеральних добрив, але при їх високих нормах зазнають помітних змін агрофізичні показники і цих ґрунтів.

Мінеральні добрива, особливо при високих дозах, погіршують і мікробудову ґрунту: підвищується щільність складення мікроагрегатів, проміжки між механічними елементами заповнюються тонко-дисперсною фракцією. Зменшується кількість зернистих агрегатів агрономічно цінних розмірів. Погіршення структурного стану ґрунту при внесенні підвищених доз мінеральних добрив відбувається через зміну фізико-хімічних показників, насичення вбирного комплексу одновалентними катіонами, підвищення кислотності.

Встановлено, що довготривале застосування фізіологічно кислих мінеральних добрив, а також тих, що у своєму складі містять вільну кислоту і одновалентні катіони, зумовлюють підвищення кислотності ґрунтового розчину і зміну складу увібраних катіонів.

Як встановила З. І. Лук'янчикова [265], зменшення суми обмінних катіонів і ступеня насичення ґрунту кальцієм слугує причиною погіршення агрофізичних властивостей, зокрема структурного стану.

На варіанті орґано-мінеральної системи удобрення структурно-агрегатний склад ґрунту поліпшувався, із коефіцієнтом структурності 2,1.

За Т. М. Лактіоною [251], для істотного поліпшення структурного стану чорнозему типового достатньо порівняно невеликих доз орґанічних добрив. Важлива роль водночас відводиться детриту, вміст якого в ґрунті підвищується за рахунок орґанічних добрив. Детрит акумулює на своїй

поверхні гумусні речовини і стає зв'язуючим матеріалом у формуванні мікро-, а потім і макроагрегатів.

Отже, застосування у досліді мінеральної системи удобрення поступається перед органо-мінеральною системою за впливом на структурно-агрегатний склад ґрунту. Використання полицево-безполицевого обробітку поліпшує вміст агрономічно цінних агрегатів ґрунту.

Важливим показником якісної оцінки структури ґрунту виступає стан його водотривкості.

За внесенням органічних добрив у чорноземі типові кількість водостійких агрегатів збільшилася від 17,7 до 31,0 %. На чорноземі типовому Сумської дослідної станції при внесенні протягом 15 років 80 т/га гною поліпшився мікроагрегатний склад ґрунту [305].

Деградація структурного стану чорнозему типового за тривалого сільськогосподарського використання пов'язана, передусім, із погіршенням фізико-хімічних властивостей через завищені дози мінеральних добрив. Безполицеві обробітки збільшують водотривкість ґрунтових агрегатів у верхній частині кореневмісного шару. Збільшувався вміст водотривких агрегатів у ґрунті за внесення органічних добрив, особливо гною, соломи, сидератів. Найбільшим їхній вміст виявився на варіантах із мінімальним безполицевим обробітком – 18,1–19,6 % [138].

За механічного обробітку в ґрунті відбуваються протилежно спрямовані процеси – як утворення, так і руйнування його структури. Який з них переважає, залежить не тільки від вологості, а й від механічного складу, вмісту і складу гумусу [337]. Результати досліджень щодо вмісту водотривких агрегатів наведено в табл. 6.3.

Застосування полицево-безполицевого обробітку ґрунту збільшувало кількість водотривких агрономічно цінних агрегатів у шарі 0–10 см. Вміст водотривких агрономічно цінних агрегатів в шарі 0–10 см за мілкого безполицевого обробітку був нижчим на 1,3 % порівняно з диференційованим обробітком. Однак мілкий безполицевий обробіток ґрунту

збільшував кількість водотривких агрегатів у шарі 10–20 см порівняно з диференційованим та полицево-безполицевим обробітком ґрунту на 5,5–10,1 %.

Таблиця 6.3

**Вміст водотривких агрегатів в чорноземі типовому за вирощування
буряків цукрових, % (2012–2016 рр.)**

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Шар ґрунту, см		Середнє в 0–20 см шарі
		0–10	10–20	
Без добрив	Диференційований (контроль)	52,4	52,0	52,2
	Поліцево-безполицевий	53,1	50,4	51,7
	Мілкий безполицевий	51,3	49,2	50,2
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	55,6	53,5	54,5
	Поліцево-безполицевий	55,6	53,5	54,5
	Мілкий безполицевий	53,5	59,7	56,6
Мінеральна	Диференційований (контроль)	51,5	52,5	52,0
	Поліцево-безполицевий	55,6	47,4	51,5
	Мілкий безполицевий	52,6	57,7	55,1
Середнє за системою удобрення	Без добрив	52,2	50,5	51,3
	Органо-мінеральна	54,9	55,5	55,2
	Мінеральна	53,2	52,5	52,8
Середнє за обробітком ґрунту	Диференційований (контроль)	53,1	52,6	52,9
	Поліцево-безполицевий	54,7	50,4	52,5
	Мілкий безполицевий	52,4	55,5	53,9
НІР ₀₅ А		$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	
НІР ₀₅ В		$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	

Як встановив О. В. Демиденко [138], кількість водотривких агрегатів > 0,25 в орному шарі за мінімального обробітку на 4,7–5,7 % більша, ніж після полицевих обробітків.

Формування водостійкої структури залежить як від походження і характеру органічної маси, умов гуміфікації та складу мікроорганізмів, які беруть у ній участь, так і від інтенсивності мінералізації гумусних речовин.

Утворення водостійких структурних агрегатів відбувається при реакціях синтезу і мінералізації гумусних сполук, які перебігають одночасно. Спочатку, з надходженням органічних залишків, переважає розвиток гуміфікуючих мікроорганізмів, зростає водостійкість структурних окремоностей. З часом активність їх послаблюється і посилюються процеси мінералізації під впливом мінералізуючих мікробів.

Формування водостійких структурних агрегатів пов'язано з синтезом гумусних речовин з органічних залишків під впливом плісневих грибів, маслянокислих, амоніфікуючих, денітрифікуючих бактерій, тоді як їх руйнування зумовлено мінералізацією гумусних речовин, життєдіяльністю нітрифікуючих, аеробних, целюлозоруйнуючих, амоніфікуючих бактерій та азотобактерій.

Органічні сполуки зазнають складних біологічних змін, формуються нові високомолекулярні утворення. Під впливом біохімічних реакцій утворюються як розчинні у воді, так і колоїдно-дисперсні клеючі сполуки. Клеючі речовини насичують ґрунтову масу і при їх підсиханні навколо механічних часточок утворюються полімерні плівки. При цьому відбувається склеювання механічної фракції ґрунту у водостійкі структурні окремоності.

Найактивнішу частину гумусних речовин у формуванні структури становлять гумінові кислоти та їх солі, оскільки для них притаманні колоїдні властивості. Гумінові кислоти водостійких ґрунтових фракцій характеризуються підвищеним вмістом карбоксильних груп. Наявність у полімерних сполуках функціональних груп, особливо карбоксильних, помітно підвищує адгезію клею до твердої поверхні. Швидше за все, саме цим можна пояснити позитивну дію гумінових кислот на утворення водостійких структурних агрегатів ґрунту.

Деградація структурного стану чорнозему типового за тривалого сільськогосподарського використання пов'язана, передусім, із погіршенням фізико-хімічних властивостей через завищені дози мінеральних добрив.

Збільшувався вміст водотривких агрегатів у ґрунті за внесення органічних добрив, особливо гною, соломи, сидератів [138].

Найбільша кількість водотривких агрегатів в орному шарі відзначена за орґано-мінеральної системи удобрення, що істотно перевищує контроль (без добрив). Слід зазначити, що вміст водотривких агрегатів зростає за орґано-мінеральної системи удобрення в шарі 0–10 см на 5,2 %, за мінеральної – на 1,9 %, що пояснюється наявністю міцно скріплюючих ґрунтових окремоостей органічних колоїдів, зокрема гуматів кальцію, магнію, заліза і алюмінію.

Таким чином, застосування орґано-мінеральної системи удобрення на чорноземах типових сприяє відновленню та збереженню водотривкої структури ґрунту.

6.2. Щільність орного шару ґрунту

Щільність ґрунту поряд з її структурним станом вважається основним параметром, який визначає агрофізичні властивості і ґрунтові режими, справляючи істотний вплив на урожайність вирощуваних культур.

Фізичний стан орного шару, який регулюється обробітком, оцінюють за щільністю складення і твердістю ґрунту, що між собою тісно пов'язані. Будь-який захід основного обробітку, спрямований на зміну показників фізичного стану ґрунту, впливає на водний, тепловий і повітряний режими, біологічну активність та, в кінцевому наслідку, на продуктивність культур [304, 417, 541].

Відносно оптимальної щільності ґрунту та її впливу на зростання й розвиток сільськогосподарських культур існують різні думки. Але в цілому дослідники доходять висновку, що оптимальною для більшості сільськогосподарських культур є щільність ґрунту в межах 1,1–1,3 г/см³ [144, 199, 545], та життєдіяльність мікроорганізмів, які сприяють збільшенню урожайності культур [1, 193]. Остання істотно знижується при збільшенні чи

зменшенні на 0,1–0,2 г/см³ об'ємної маси ґрунту відносно оптимальної, а при ще більшому ущільненні – різко спадає [29].

Підтвердженням цього факту слугує дослідження Т. Е. Линдіної [269]. У модельних і польових дослідях на чорноземі типовому нею встановлено, що надлишкова пухкість ґрунту (0,90–1,05 г/см³) сприяє посиленому росту коренів, на шкоду надземної частини зернових культур. Надмірне ущільнення (понад 1,35 г/см³) позначилося на морфології коренів (ниткоподібні, викривлені), але коефіцієнт продуктивності кореневої системи був вищим на 25–30 %, ніж за надлишкової пухкості. Оптимальною, на думку Т. Е. Линдіної, є щільність ґрунту (1,18–1,30 г/см³). У мікропольових дослідях В. В. Медведєва встановлено, що оптимальна щільність ґрунту для ярих культур за середнього рівня мінерального живлення знаходиться в межах 1,19–1,35 г/см³ [304].

Оптимальні інтервали щільності ґрунту змінюються у часі і, насамперед у зв'язку з ступенем зволоження ґрунту. За високої вологості оптимум у межах встановленого діапазону зміщується до більш низьких значень щільності, тоді як в умовах недостатнього зволоження – до більш високих [279]. Тому необхідно розробити такі агротехнічні заходи, які б дозволили підтримувати оптимальну щільність за будь-якої вологості ґрунту протягом вегетації сільськогосподарських культур.

Зважаючи на важливе агровиробниче значення щільності орного шару ґрунту, необхідно вказати на відносну нестачу даних щодо регулювання оптимальних параметрів щільності заходами обробітку і, особливо, у поєднанні з добривами у полях сівозмін для чорнозему типового.

Результати досліджень щодо впливу систем удобрення та обробітку ґрунту на зміну його об'ємної маси під буряками цукровими наведено в табл. 6.4.

Показники щільності ґрунту в полі буряків цукрових мало змінювалися за різних систем удобрення. До того ж, абсолютні її величини не

перевищували оптимальної (1,0–1,3 г/см³) для нормального росту і розвитку досліджуваної культури.

Таблиця 6.4

Щільність ґрунту в полі буряків цукрових за різних систем удобрення та обробітку ґрунту, г/см³ (2011–2016 рр.)

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Шар ґрунту, см, С	Фаза визначення	
			початок вегетації	кінець вегетації
Без добрив	Диференційований (контроль)	0–10	1,08	1,14
		10–20	1,14	1,29
		20–30	1,23	1,23
	Полицево- безполицевий	0–10	1,12	1,13
		10–20	1,16	1,28
		20–30	1,25	1,25
	Мілкий безполицевий	0–10	1,13	1,16
		10–20	1,17	1,29
		20–30	1,28	1,28
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	0–10	1,11	1,14
		10–20	1,19	1,20
		20–30	1,25	1,29
	Полицево- безполицевий	0–10	1,14	1,16
		10–20	1,16	1,23
		20–30	1,21	1,28
	Мілкий безполицевий	0–10	1,16	1,18
		10–20	1,22	1,29
		20–30	1,27	1,31
Мінеральна	Диференційований (контроль)	0–10	1,05	1,15
		10–20	1,18	1,20
		20–30	1,23	1,27
	Полицево- безполицевий	0–10	1,04	1,14
		10–20	1,19	1,21
		20–30	1,25	1,29
	Мілкий безполицевий	0–10	1,14	1,17
		10–20	1,24	1,24
		20–30	1,27	1,30
НІР ₀₅ А			0,02	0,02
НІР ₀₅ В			0,02	0,02
НІР ₀₅ С			0,02	0,02

Дещо помітніший вплив на варіювання щільності ґрунту спричиняли системи основного обробітку ґрунту, які застосовувалися в сівозміні під різні культури. В дослідженнях не спостерігали істотного ущільнення ґрунту в шарі 0–30 см незалежно від основного обробітку ґрунту. Істотним відхиленням від оптимального показника вважається таке, що перевищує 10 %.

Абсолютні величини щільності ґрунту коливалися в межах 1,15– 1,22 г/см³ на початку та 1,21–1,26 у кінці вегетації буряків цукрових. Однак в інтервалі цих показників чітко простежується тенденція до зростання щільності ґрунту за мілкого безполицевого порівнянню з полицевим обробітком ґрунту.

Також відзначена відсутність істотного ущільнення ґрунту в шарі 0– 10 см і 10–20 см за всіх систем обробітку. Навпаки, навіть на тлі безполицевого обробітку виявлена тенденція до розущільнення в усьому 0–30 см шарі ґрунту.

Найвища щільність ґрунту встановлена в шарі 20–30 см у кінці вегетації буряків цукрових за органо-мінеральної системи удобрення та мілкого безполицевого обробітку 1,31 г/см³.

Крім цього, на чорноземі типовому на початку і в кінці вегетації рослин буряків цукрових щільність орного (0–30 см) шару ґрунту знаходилася в оптимальних межах для згаданої культури.

Результати досліджень щодо впливу систем удобрення та обробітку ґрунту на зміну його об'ємної маси під пшеницею озимою наведено у табл. 6.5.

На початку вегетації пшениці озимої щільність ґрунту варіювала в межах 1,18–1,29 г/см³ залежно від шару ґрунту, обробітку. У процесі вегетації рослин щільність орного шару зростала, але у варіанті полицево-безполицевого обробітку не виходила за межі найбільш оптимальної для цієї культури 1,1–1,3 г/см³.

Застосування мілкого безполицевого обробітку ґрунту сприяло вищій щільності 0–10 см шару на 0,03 г/см³, а в шарах 10–20 і 20–30 см – на 0,04 та

0,02 г/см³. Щільність ґрунту в різних шарах була вищою до відповідних горизонтів після диференційованого обробітку на 0,03–0,02 г/см³.

Таблиця 6.5

Щільність ґрунту в полі пшениці озимої за різних систем удобрення та обробітку ґрунту, г/см³ (2011–2016 рр.)

Система удобрення, А	Варіант обробітку грунту, В	Шар ґрунту, см	Фаза визначення	
			початок вегетації	кінець вегетації
Без добрив	Диференційований (контроль)	0–10	1,18	1,20
		10–20	1,20	1,22
		20–30	1,20	1,26
	Полицево- безполицевий	0–10	1,16	1,19
		10–20	1,18	1,22
		20–30	1,21	1,25
	Мілкий безполицевий	0–10	1,18	1,22
		10–20	1,20	1,27
		20–30	1,24	1,28
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	0–10	1,18	1,21
		10–20	1,20	1,24
		20–30	1,22	1,27
	Полицево- безполицевий	0–10	1,16	1,20
		10–20	1,20	1,24
		20–30	1,20	1,26
	Мілкий безполицевий	0–10	1,20	1,23
		10–20	1,22	1,28
		20–30	1,24	1,29
Мінеральна	Диференційований (контроль)	0–10	1,18	1,22
		10–20	1,20	1,25
		20–30	1,25	1,27
	Полицево- безполицевий	0–10	1,19	1,21
		10–20	1,20	1,25
		20–30	1,22	1,27
	Мілкий безполицевий	0–10	1,21	1,23
		10–20	1,24	1,29
		20–30	1,26	1,28
НІР ₀₅ А			F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅
НІР ₀₅ В			0,02	F _ф <F ₀₅
НІР ₀₅ С			F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅

Характерна ознака чорноземів типових це добра окультуреність. Проте але у зв'язку з зростаючим антропогенним навантаженням спостерігається

розвиток деяких небажаних фізичних процесів. Останнім часом опубліковано праці, в яких висвітлено результати вивчення зміни агрофізичних показників ґрунтів під впливом добрив. Оскільки виняткова роль органічних речовин та органічних добрив у їх оптимізації не викликає сумніву [437, 447], то щодо впливу мінеральних добрив – дані досить суперечливі. Деякі вчені стверджують, що систематичне застосування мінеральних добрив (особливо в підвищених дозах) у разі збільшення в асортименті фізіологічно кислих форм або форм, що містять одновалентні катіони, призводять до погіршеного агрегатного складу, щільності ґрунту і водопроникності чорноземів [72, 482], тоді як інші [267] доводять, що можливі неістотні зміни фізичних властивостей чорноземних ґрунтів під час внесення мінеральних добрив, особливо в поєднанні з органічними, у невеликих і середніх дозах.

На варіанті з органо-мінеральною системою удобрення за використання половинної норми мінеральних добрив встановлено зменшення щільності у верхньому та глибших шарах ґрунту порівняно з мінеральною системою. Зокрема, на початку вегетації зменшення щільності в полі пшениці озимої становила 2,5 %.

Варіант мінеральної системи удобрення призводив до збільшення щільності ґрунту у верхньому 0–10 см шарі на 2,5 % та у шарі 10–20 см – на 3,3 % порівняно з варіантом без застосування добрив.

На час збирання врожаю спостерігалось деяке підвищення щільності, яке відбулося під впливом ґрунтообробних знарядь, атмосферних опадів, а також за рахунок властивого будь-якому ґрунту самоущільнення. Щільність орного шару в цей період знаходилася в межах 1,19–1,29 г/см³ (див. табл. 6.5).

Протягом вегетації пшениці озимої відзначається більше ущільнення шарів ґрунту 10–20 та 20–30 см у варіантах з безполицевими обробітками. За такого обробітку ґрунту не відбувається механічного перевертання та перемішування ґрунту ґрунтообробними знаряддями. Найвищий показник щільності ґрунту виявився у варіантах із систематичним мілким

безполицевим обробітком в шарі 20–30 см ($1,29 \text{ г/см}^3$) незалежно від системи удобрення.

Навпаки, застосування в сівозміні полицево-безполицевого обробітку допомагає оптимізувати щільність ґрунту.

Отже, серед заходів обробітку ґрунту лише беззмінний мілкий безполицевий обробіток призводить до істотного підвищення щільності ґрунту (в середньому на $0,02\text{--}0,04 \text{ г/см}^3$) порівняно з контролем.

6.3. Пористість ґрунту

Серед важливих агрофізичних показників родючості та будови орного шару ґрунту розрізняють його пористість. Ще наприкінці XIX ст. В. Р. Вільямс [68] зазначав: «Найбільш інтенсивною, з точки зору землеробства, фізичною властивістю ґрунту є пористість». Такої ж думки дотримувався і Н. А. Качинський [201].

За О. Г. Дояренком [147], найсприятливіші умови для росту рослин створюються за загальної пористості 50–60 % від усього об'єму ґрунту, некапілярній – 12,5–30 і капілярній – 30–37,5 % та співвідношення між некапілярною і капілярною пористістю в межах 1:1 до 1:3.

Отримані результати на чорноземі типовому показали, що пористість ґрунту – показник динамічний, який змінюється у незначних межах і залежить від комплексу чинників.

На початку вегетації культур його величина становила: у варіанті органо-мінеральної системи удобрення – 52,5–52,0 %, мінеральної – 51,5–52,7, без добрив – 52,4–53,2 %. У варіантах обробітку ґрунту істотної різниці показників пористості ґрунту на початку вегетації не встановлено (табл. 6.6). В окремі роки досліджень показник загальної пористості у полях сівозміни змінювався істотніше залежно від метеорологічних умов та технології вирощування культури.

Загальна пористість за вирощування буряків цукрових була нижчою на 1,3–2,3 % порівняно з контролем.

Таблиця 6.6

Загальна пористість орного (0–30 см) шару ґрунту за вирощування буряків цукрових, % (2011–2016 рр.)

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Фаза визначення	
		початок вегетації	кінець вегетації
Без добрив	Диференційований (контроль)	54,0	51,2
	Полицево- безполицевий	53,2	51,2
	Мілкий безполицевий	52,4	50,4
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	52,8	50,4
	Полицево- безполицевий	53,2	49,2
	Мілкий безполицевий	51,6	49,6
Мінеральна	Диференційований (контроль)	52,8	51,2
	Полицево- безполицевий	53,6	51,6
	Мілкий безполицевий	51,6	50,8
Середнє за системою удобрення	Без добрив	53,2	50,9
	Органо-мінеральна	52,5	49,7
	Мінеральна	52,7	51,2
Середнє за обробітком ґрунту	Диференційований (контроль)	53,2	50,9
	Полицево- безполицевий	53,3	50,7
	Мілкий безполицевий	51,9	50,3
НІР ₀₅ А		$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$
НІР ₀₅ В		$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$

Загальна пористість за вирощування буряків цукрових за мілкого безполицевого обробітку ґрунту на початку вегетації була нижчою на 2,4 % порівняно з диференційованим варіантом. У середньому за системами

обробітку показники пористості ґрунту в кінці вегетації буряків цукрових знаходилися на одному рівні.

За період вегетації пшениці озимої в орному шарі ґрунту відбуваються певні зміни пористості (табл. 6.7).

Таблиця 6.7

Загальна пористість орного (0–30 см) шару ґрунту за вирощування пшениці озимої, % (2011–2016 рр.)

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Фаза визначення	
		початок вегетації	кінець вегетації
Без добрив	Диференційований (контроль)	52,4	51,2
	Полицево- безполицевий	52,8	51,2
	Мілкий безполицевий	52,0	50,0
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	52,0	50,4
	Полицево- безполицевий	52,8	50,8
	Мілкий безполицевий	51,2	49,6
Мінеральна	Диференційований (контроль)	51,6	50,4
	Полицево- безполицевий	52,0	50,4
	Мілкий безполицевий	50,8	49,6
Середнє за системою удобрення	Без добрив	52,4	50,8
	Органо-мінеральна	52,0	50,3
	Мінеральна	51,5	50,1
Середнє за обробітком ґрунту	Диференційований (контроль)	52,0	50,7
	Полицево- безполицевий	52,5	50,8
	Мілкий безполицевий	51,3	49,7
НІР ₀₅ А		$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$
НІР ₀₅ В		$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$

За застосування системи удобрення загальна пористість спостерігалася на одному рівні: на початку вегетації пшениці озимої вона становила 51,5–52,4 %, у кінці вегетації – 50,3–50,7 %. Мінеральна система удобрення мала тенденцію до зниження на 0,9–1,7 % загальної пористості порівняно з органо-мінеральною системою та контролем.

Застосування мілкового безполицевого обробітку ґрунту призводило до істотного зниження загальної пористості на 2,2 % порівняно з диференційованим та полицево-безполицевим обробітком.

У науковій літературі існують різні міркування щодо оптимізації тих чи інших показників пористості ґрунту.

Зокрема, як вважає А. Грейбл [119], ґрунти важкого гранулометричного складу в основному характеризуються всмоктувальною силою та відносно слабо повітро- і вологопроникні. Природний дренаж цих ґрунтів відбувається повільно. Для поліпшення водного і повітряного режимів важких ґрунтів такі необхідно інтенсивно розпушувати, вносити підвищені норми органічних добрив, поліпшувати структуру. Все це сприятиме підвищенню їх загальної пористості внаслідок збільшення кількості капілярних і некапілярних пор.

Отже, об'єм капілярних та некапілярних пор в орному шарі чорнозему типового перебуває в оптимальних для цього типу ґрунту межах. За органо-мінеральної системи удобрення показники загальної пористості сталіші в усьому профілі орного шару ґрунту, що сприяє інтенсивнішому ростові й розвитку культур сівозміни.

6.4. Твердість ґрунту

Твердість відноситься до основних показників, за яким характеризують фізичний стан ґрунту, оцінюють середовище, в якому росте й розвивається рослина. Підвищення показника твердості викликає зростання енергоємності заходів обробітку ґрунту, погіршує умови появи сходів рослин на поверхні ґрунту. Високий рівень твердості ґрунту, особливо сухого, слугує значною перешкодою росту і розвитку кореневої системи рослин [307, 418, 453].

Відомо, що із зменшенням вологості у ґрунті твердість значно зростає і чинить негативну дію на культурні рослини [202]. Так, П. У. Бахтін [29] встановив, що твердість ґрунту пов'язана з особливостями агрофону, глибиною обробленого шару, утворенням плужної підшви, виду культури та способу сівби. Йому вдалося визначити оптимальні значення твердості: 5–8 кг/см² – для початкової стадії розвитку та 20–25 кг/см² – у період цвітіння й досягання, що оптимально для сільськогосподарських культур [307].

Дослідженнями встановлено, що для зернових колосових культур твердість ґрунту на рівні 20–25 кг/см² знаходиться в межах оптимальних значень, тоді як для просапних і коренеплодів оптимальні є 5–10 кг/см² [111, 305].

Формування показників твердості ґрунту на рівні 35–40 кг/см², що є однією з ознак плужної підшви, різко сповільнює проникнення коренів у нижні шари, а в окремих випадках взагалі припиняє [307].

Визначення твердості в ланці – люцерна, пшениця озима, кукурудза на зерно показали, що найстійкіший у часі цей показник за вирощування люцерни, коли обробіток ґрунту здійснюється лише під попередник. Одержані результати свідчать, що в осінній період створюється сприятливий склад ґрунту, адже його твердість у 0–20 см шарі знаходиться на рівні 15,6–19,7 кг/см² (табл. 6.8). При цьому вплив обробітку ґрунту не виявляється.

У весняний період до початку відростання трав відзначається помітне зниження твердості. Викликано це гідротермічними факторами і, насамперед, збільшенням вологості ґрунту за осінньо-зимовий період.

Під час весняно-літньої вегетації, у міру росту й розвитку трав відбувалося висушування ґрунту і, як наслідок, збільшувалися показники твердості ґрунту.

До фази цвітіння складення ґрунту досягло рівноважного стану, а твердість в 0–20 см шарі становила 16,7–19,2 кг/см² і не перевищувала допустимих значень.

**Вплив систем обробітку ґрунту на твердість чорнозему типового за
вирощування люцерни, кг/см²**

Варіант обробітку ґрунту	Шар ґрунту, см	Фаза визначення			
		після збирання попередника	початок відновлення вегетації	цвітіння	перед збиранням
Полицевий обробіток	0–5	16,0	12,8	16,9	17,6
	5–10	16,1	13,9	17,4	18,1
	10–15	18,6	16,6	19,0	18,5
	15–20	18,8	16,7	19,2	18,7
	20–25	20,4	17,4	20,7	19,0
Мілкий безполицевий обробіток із одночасним щільюванням	0–5	15,6	11,9	16,7	17,9
	5–10	16,0	13,0	18,4	17,9
	10–15	17,9	16,0	18,7	19,9
	15–20	19,7	16,6	19,0	20,2
	20–25	21,6	18,7	22,2	20,8
НІР ₀₅ обробіток ґрунту		$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$
НІР ₀₅ шар ґрунту		2,3	1,0	2,26	1,32

На час збирання змін твердості ґрунту не спостерігалось. Не встановлено також впливу післядії оранки і безполицевого обробітку, що проводяться під покривну культуру.

За вирощування пшениці озимої дещо вищі показники твердості відзначені за мілкого безполицевого обробітку ґрунту в осінній період вегетації (табл. 6.9). Зумовило це двома причинами: різною глибиною основного обробітку і вищою щільністю ґрунту в шарі 10–25 см. Остання за оранки становила 1,15–1,23, за мілкого безполицевого обробітку – була на 0,12–0,21 г/см² більшою.

До початку весняної вегетації твердість ґрунту зменшилася, а вплив обробітку ослабився. За полиневого, залежно від шару ґрунту, твердість знаходилася на рівні 8,8–18,6, за безполицевого обробітку – 8,9–20,5 кг/см².

У наступні строки визначення спостерігалось збільшення твердості ґрунту. Найзначнішим цей процес виявився у верхній частині оброблюваного шару, де відбувалося ущільнення й висушування ґрунту, за інтенсивного наростання кореневої системи. На глибині 15–25 см складення ґрунту та умови зволоження були стабільними, тому в меншій ступені змінювалася твердість.

Таблиця 6.9

**Вплив систем основного обробітку ґрунту на твердість чорнозему
типового за вирощування пшениці озимої, кг/см²**

Варіант обробітку ґрунту	Шар ґрунту, см	Фаза визначення			
		перед сівбою	відновлення вегетації	цвітіння	перед збиранням
Полицевий обробіток	0–5	12,8	8,8	13,8	18,7
	5–10	15,1	9,3	14,5	19,6
	10–15	16,5	9,8	16,0	19,6
	15–20	16,7	13,4	17,1	20,9
	20–25	20,7	18,6	20,7	22,2
Мілкий безполицевий обробіток із одночасним щільнюванням	0–5	13,0	8,9	15,8	17,6
	5–10	15,5	9,6	16,0	19,0
	10–15	21,0	10,9	17,5	20,2
	15–20	21,2	15,1	19,3	20,1
	20–25	22,2	20,5	20,8	21,3
НІР ₀₅ обробіток ґрунту		0,39	$F_{\phi} < F_{05}$	1,42	$F_{\phi} < F_{05}$
НІР ₀₅ шар ґрунту		1,72	1,76	2,41	2,06

Варто також зазначити, що різниця за твердістю ґрунту, сформована восени під час проведення основного обробітку, зберігалася й у весняно-літній період вегетації пшениці озимої. Так, за мілкого безполицевого обробітку в 0–25 см шарі твердість була на 7–8 % вищою, ніж за полиневого. На період збирання різниці за твердістю між досліджуваними варіантами не встановлено.

За вирощування кукурудзи на зерно найменші значення твердості спостерігали весною, що було зумовлено високою вологістю ґрунту в цей період. Щільність ґрунту також впливала на твердість. Про це свідчать показники твердості у варіанті з мілким безполицевим обробітком. На

глибині 15–25 см вона значно вища і становить 10,5–17,0, за 5,8–9,7 кг/см² на полицевому обробітку (табл. 6.10).

За час інтенсивного росту кукурудзи твердість істотно зросла внаслідок з інтенсивного висушуванням оброблюваного шару. На період збирання твердість підвищилася ще значніше і у варіанті з мілким безполицевим обробітком на глибині 15–20 і 20–25 см на 5,0 і 5,3 кг/см² перевеншила критичні значення. У варіанті полицевого обробітку, оптимальні показники були перевищені всього на 0,6–1,0 кг/см².

Таблиця 6.10

**Вплив систем основного обробітку ґрунту на твердість чорнозему
типового за вирощування кукурудзи на зерно, кг/см²**

Варіант обробітку ґрунту	Шар ґрунту, см	Фаза визначення			
		після проведення основного обробітку	всходи	8–10 листків	перед збиранням
Полицевий обробіток	0–5	5,9	5,4	13,8	18,7
	5–10	6,0	5,5	14,2	19,2
	10–15	7,4	5,8	16,1	19,6
	15–20	7,7	8,5	17,6	20,9
	20–25	8,3	9,7	19,4	21,3
Мілкий безполицевий обробіток із одночасним щілюванням	0–5	6,2	5,8	15,3	19,8
	5–10	6,3	5,9	15,6	19,4
	10–15	6,4	10,5	19,0	20,5
	15–20	18,2	15,2	23,0	25,0
	20–25	19,2	17,0	24,4	25,3
НІР ₀₅ для обробітку		3,64	2,17	3,13	F _ф <F ₀₅
НІР ₀₅ для шару ґрунту		2,14	1,30	1,83	1,45

Отже, твердість ґрунту насамперед визначається глибиною обробітку. Полицевий обробіток не змінює діапазону твердості в чорноземі типовому. Систематичне застосування мілкового безполицевого обробітку із щілюванням викликає збільшення твердості в нижній частині орного шару. Відмінності за твердістю найбільшою мірою виражені восени, зразу після проведення

основного обробітку, тоді як у весняно-літній період вони згладжуються і, як правило, не досягають критичних значень для вирощування культур.

6.5. Водопроникність ґрунту

Здатність ґрунту вбирати і пропускати через себе воду залежить від цілого ряду взаємопов'язаних факторів: щільності ґрунту, кількості й розміру пор, вмісту водостійких агрегатів, вологості і температури ґрунту. Водопроникність значною мірою впливає на водний баланс і надходження опадів у ґрунт. Значення водопроникності особливо важливе на схилових землях, що піддаються ерозійним процесам [49].

На водопроникність значною мірою впливає обробіток ґрунту, його інтенсивність та глибина. Дослідженнями В. В. Медведєва [303] доведено, що ґрунти в природних умовах мають вищі фільтраційні властивості, ніж ті, які тривалий час розорюються. Це зумовлено насамперед утворенням у староорних ґрунтах плужної підшви, яка утримує проникнення води в глибші шари ґрунту, а також втрачена неперервність ґрунтових пор, утворених відмерлим корінням та мезофауною [573].

Вивчення водопроникності чорнозему типового показало, що дослідна ділянка характеризується незадовільною і задовільною за Н. А. Качинським його показниками. У більшості строків визначення водопроникності не перевищували 1 мм/хв.

Під впливом систем обробітку водопроникність ґрунту змінювалась. Як у перший, так і на сьомий рік проведення досліджень найвищу водопроникність спостерігали у варіанті, де мілкий безполицевий обробіток виконували з одночасним щілюванням. На цьому варіанті у 2011–2012 рр. у перший час спостережень було поглинуто 37,0 мм води, за полицевого обробітку – в 2 рази менше. У наступні часи перевага безполицевого обробітку над оранкою становила 7,3 мм. У 2016–2017 рр. згадана залежність зберігалася, а перевага мілкового безполицевого обробітку із щілюванням у

перший і третій часи спостережень досягала відповідно 12,0 і 22,8 мм (табл. 6.10). Водопроникність за мілкою безполицевого обробітку з одночасним щільюванням була в 1,4–1,6 рази вища, ніж за полицевого обробітку. Варіант безполицевого обробітку, виконаний на глибину оранки, посів проміжне становище.

Таблиця 6.10

**Водопроникність чорнозему типового
за різних систем обробітку ґрунту, мм**

Варіант обробітку ґрунту	1-й час спостережень		3-й час спостережень	
	2011–2012 рр.	2016–2017 рр.	2011–2012 рр.	2016–2017 рр.
Полицевий обробіток	16,6	20,3	49,2	56,3
Безполицевий обробіток	10,5	27,6	49,2	67,8
Мілкий безполицевий із одночасним щільюванням	37,0	32,3	75,7	79,1
НІР ₀₅	7,33	6,3	7,22	5,2

Істотне підвищення водопроникності за мілкою безполицевого обробітку, порівняно з полиневим, пояснюється кращим структурним станом ґрунту, відсутністю ґрунтової кірки, наявністю мульчі й щілин, а також активною життєдіяльністю ґрунтової фауни.

Одержані дані свідчать, що за вирощування багаторічних трав водопроникність чорнозему типового не залежала від системи обробітку ґрунту, проведеної під попередник (табл. 6.11). У цьому випадку в усіх варіантах, ще вивчалися, встановилася рівноважна щільність ґрунту, а інтенсивність водопроникності знаходилася на однаковому рівні.

За вирощування пшениці озимої вищі показники водопроникності відзначені після проведення основного обробітку ґрунту у варіанті з полицевим обробітком.

Таблиця 6.11

Водопроникність ґрунту залежно від основного обробітку ґрунту, мм/хв (2016–2017 рр.)

Варіант обробітку ґрунту, А	Час, В	Люцерна		Пшениця озима			Кукурудза на зерно		Ячмінь	
		початок відростання	цвітіння	перед сівбою	відновлення вегетації	цвітіння	перед сівбою	10–12 листків	перед сівбою	цвітіння
Полицевий обробіток	1-ша година	24,4	18,1	29,1	38,7	31,5	48,0	30,1	36,9	26,9
	2-га година	37,5	25,0	45,0	53,9	49,2	64,2	41,9	45,1	39,8
	3-тя година	46,9	29,3	59,1	67,7	58,0	77,8	57,7	54,2	45,9
Безполицевий обробіток	1-ша година	23,2	19,7	21,9	37,4	33,0	50,7	29,5	37,6	26,8
	2-га година	36,7	25,4	33,3	53,1	49,7	62,3	40,5	45,5	37,3
	3-тя година	43,1	27,8	49,2	65,0	57,4	76,0	56,4	51,9	43,3
Мілкий безполицевий із одночасним щільюванням	1-ша година	25,6	18,9	24,9	39,4	35,3	53,6	34,8	39,5	29,5
	2-га година	39,4	25,9	40,9	51,9	52,7	68,8	43,8	47,0	41,4
	3-тя година	47,6	28,1	54,2	66,0	60,3	80,6	60,0	56,6	48,7
НІР ₀₅ для обробітку		3,39	3,46	3,54	4,65	3,55	3,74	4,32	4,07	4,74
НІР ₀₅ В		$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$

У весняно-літній період інтенсивність поглинання й фільтрації води ґрунтом вирівнюлася, а у фазу цвітіння вона перевищувала безполицевий обробіток.

За вирощування кукурудзи на зерно та ячменю вища водопроникність спостерігалася у варіанті з мілким безполицевим обробітком. У цьому варіанті стабілізувався склад ґрунту, відсутня плужна підшва, більшою мірою була розвинута коренева система рослин.

Таким чином, мілкий безполицевий обробіток з одночасним щільюванням підвищує фільтраційну здатність ґрунту, що виступає важливим фактором збільшення запасів продуктивної вологи.

6.6. Запаси доступної вологи

Важливою ланкою у створенні ефективної родючості ґрунту є водний режим. Вода входить до складу рослин, бере участь у синтезі органічних речовин, підтримує тургор у клітинах, запобігає перегріванню рослин. Вона впливає на процеси росту коренів як зовнішній фактор, який підсилює або зменшує механічний опір ґрунту.

Основним чинником взаємозв'язку між рослиною і ґрунтом слугують запаси вологи в ґрунті. Звідси недостатня їхня кількість зумовлює зниження ефективності елементів технології вирощування культур [112, 307].

Водозабезпеченість рослин залежить від властивостей ґрунту, кількості та інтенсивності опадів – розподілу в часі, що в сукупності становить водний баланс [127, 459, 638].

Верхньою межею оптимального діапазону ґрунтової вологи, за даними О. А. Роде [422], є найменша вологоємність (НВ), нижньою – вологість розривання капілярів (ВРК). У такому діапазоні волога характеризується значною швидкістю руху й уможливорює безперервне постачання нею рослин. За даними С. А. Веріго і Л. О. Разумової [66], розрив капілярів і «вологість сповільненого росту рослин» настає при вологості ґрунту 70–80 %, тоді як за даними О. А. Роде [422], – за вологості 66–75 % від

польової вологоємкості.

Дослідження на чорноземах А. Г. Бондарєва і В. В. Медведєва [50] показали необхідність диференціювання оптимальних параметрів водного режиму залежно від фаз розвитку рослин.

Ґрунт являє собою дисперсне пористе тіло, завдяки чому воно сорбує значну кількість рідкої і пароподібної вологи.

Водоутримуюча здатність ґрунтів, окрім питомої поверхні, визначається величиною і формою пор, які зумовлюють рівень утримання вологи, переміщення вологи у ґрунті та доступність її для рослин і мікроорганізмів.

Залежно від властивостей твердої фази ґрунтів волога сорбується у них неоднаково. Так, у піщаних ґрунтах, для яких характерна мала питома поверхня і великі розміри пор, утворюються товсті плівки зв'язаної вологи, понад тисячі молекулярних діаметрів. У ґрунтах суглинкових і глинястих із значною питомою поверхнею і малими розмірами пор сорбована волога утворює тонкі плівки та займає майже увесь паровий простір [422].

Важливого значення у регулюванні водного режиму надається обробіткові ґрунту, зокрема основному. На думку переважної більшості вчених, глибокий зяблевий (основний) обробіток ґрунту значно більшою мірою сприяє нагромадженню і збереженню вологи у ґрунті, ніж звичайний та поверхневий [123, 124]. Існують й інші погляди. Зокрема, за твердженням А. І. Пупоніна, глибина і способи основного обробітку ґрунту не впливають на процеси нагромадження вологи [411].

На сьогодні у практичному землеробстві пропонують застосовувати безполицевий обробіток ґрунту, відмовитися від оранки, перейти від різноглибинного обробітку до мілкового під всі сільськогосподарські культури. Оцінка впливу цих заходів на запаси вологи у ґрунті неоднакова.

Низка вчених встановила, що безполицевий обробіток не мав переваги над полицевим із накопичення вологи в ґрунті [123, 260]. Інші вчені

заперечують ці твердження і наголошують на тому, що запаси вологи за безполицевого обробітку вищі й забезпечують додаткове накопичення вологи у ґрунт за осінньо-зимовий період за відношення до оранки [59].

Дослідженнями М. Ф. Бенедичука встановлено поліпшення водного режиму за мінімального обробітку в критичні періоди вегетації культур. Проте він рекомендує чергування різноглибинного полицевого та безполицевого обробітку, як ефективного заходу поліпшення поживного і водного режимів [34]. Наукові дослідження інших авторів вказують на необхідність чергування полицевого і безполицевого обробітків ґрунту в сівозміні [225].

Одне з основних завдань землероба – нагромадження вологи в ґрунті та зменшення непродуктивних її витрат. Неоднакова кількість опадів та нерівномірний їх розподіл впродовж року зумовлюють різну вологозабезпеченість сільськогосподарських культур. У Лісостепу на час сівби озимини після зайнятого пару імовірність вмісту продуктивної вологи в орному шарі до 10 мм становить 5 %, 11 – 20–25, 21–30 – 40 % і понад 30 мм – 30 %. У період сівби ранніх ярих вологозабезпеченість орного шару ґрунту майже не буває нижчою 30 мм. Імовірність зниження її до 20–30 мм становить тут 5 % [361].

Наукові дослідження та виробнича практика свідчать, що в умовах Лісостепу України достатня кількість атмосферних опадів і за їх ефективного використання можна збирати високі врожаї сільськогосподарських культур в основних і проміжних посівах. Однак значну кількість продуктивної вологи ґрунт втрачає через низку причин: внаслідок поверхневого стоку талих і дощових вод, фізичного випаровування – навесні та влітку, коли ґрунт тривалий час залишається без рослинного вкриття.

Запаси ґрунтової вологи постійно змінюються, певний вплив на них справляють культури, які вирощують у сівозміні. Використовуючи воду, вони зумовлюють висушування ґрунту на ту чи іншу глибину і перерозподіл залишків вологи в його шарах залежно від розвитку і поширення кореневої

системи, а також тривалості вегетаційного періоду.

Водний режим ґрунту являє собою один із вирішальних чинників формування врожайності культур. Від водного режиму залежать інші важливіші агрономічні властивості ґрунту – режим живлення, повітряний і тепловий режими, а також перебіг біологічних процесів у ґрунті.

За умов випадання однакової кількості атмосферних опадів і надходження їх до ґрунту у ньому, як показали проведені дослідження, нагромаджуються неоднакові запаси вологи, бо використовують її більше ті рослини, що мають високий коефіцієнт водоспоживання.

Певний вплив на формування запасів продуктивної вологи в орному і метровому шарах ґрунту мали особливості надходження вологи атмосферних опадів і їх розподіл за місяцями та температурний режим (дод. А1, А2). Нами проведено розрахунки коефіцієнтів суттєвості відхилень елементів агрометеорологічного режиму поточного року від середніх багаторічних за формулою:

$$K_i = \frac{(X - X_1)}{S},$$

де K_i – коефіцієнт істотності відхилень,

X – елемент поточної погоди,

X_1 – середня багаторічна величина,

S – середнє квадратичне відхилення.

За кількістю атмосферних опадів було виділено окремі місяці року з умовами, що істотно відрізняються від середніх багаторічних значень, або наближені до екстремальних. Ця закономірність простежується в основному у травні – жовтні 2013 р., 2014 р., 2016 р. Екстремальними виявилися умови липня і вересня 2013 р., травня 2014 р., травня, липня і жовтня 2016 року.

За результатами досліджень можна виділити роки за зволоженням: перезволожений 2010, 2012, 2013, 2014; оптимальний 2011, 2016; посушливий 2015, 2017 роки.

Кращі умови забезпечення рослин вологою складаються за оптималь-

ної структури ґрунту та будови його оброблюваного шару. Під їх впливом спостерігали істотне зростання показника польової вологоємності ґрунту. Звичайно на цей показник об'єктивно впливали різниця в дозах внесених мінеральних добрив та обробітків ґрунту.

Здатність ґрунту накопичувати й утримувати вологу визначається в природі його властивістю, яка має назву польової вологоємності. Серед компонентів ґрунту більша вологоємність властива для органічної речовини і менша – для мінеральної частини. Отже, ймовірне збільшення вологоємності ґрунту можна очікувати за тих систем удобрення, які пов'язані зі збагаченням його органікою.

Істотне на 8,6–10,8 % збільшення польової вологоємності ґрунту встановлено на варіантах органічної і органо-мінеральної системи удобрення порівняно з контролем (табл. 6.12).

Таблиця 6.12

**Польова вологоємність чорнозему типового у (0–20 см) шарі ґрунту
за вирощування буряків цукрових, % до абсолютно сухої маси
(2015–2017 рр.)**

Система удобрення	Варіанти обробітку ґрунту			Середнє по системі удобрення
	диференці- йований (контроль)	полицево- безполицевий	мілкий безполицевий різноглибинний	
Без добрив	32,0	34,2	31,2	32,4
Органічна	36,4	36,1	35,2	35,9
Органо-міне- ральна	35,0	36,8	33,8	35,2
Мінеральна	30,2	32,6	31,2	31,3
Середнє по обробітку ґрунту	33,4	34,9	32,8	
НІР ₀₅	1,22	1,35	1,28	

Проведеними дослідженнями відзначено тенденцію до збільшення польової вологоємності ґрунту за полицево-безполицевого обробітку ґрунту. Так, польова вологоємність ґрунту коливалася в межах 30–36,8 % до

абсолютно сухої маси ґрунту, що становить 80–90 % від повної вологості чорнозему типового. Це вказує на утеплюючий ефект мульчі, відсутність плужної підшви, кращу збереженість вертикально орієнтованих макробіопор і вищу водопроникність на варіанті з полицево-безполицевим обробітком ґрунту. Величина природної польової вологості ґрунту та застосовані у досліді технології справили відповідний вплив на запаси доступної вологи у ґрунті, які були визначені на початку весняної вегетації культур та перед збиранням їх урожаю.

Велике накопичення снігу і менша глибина промерзання ґрунту за безполицевого обробітку сприяла збільшенню вологозапасів. За даними О. Г. Тарарико [475], за вирощування ярих культур у варіантах з безполицевим обробітком, проведеної на глибину оранки, вологи в метровому шарі до весни накопилось на 10 % більше, ніж за оранки. Однак максимальний вологонакопичувальний ефект одержаний за мілкого безполицевого обробітку із щільюванням. Тут запаси доступної вологи зросли на 12–21 мм, або на 16–17 %.

На посівах пшениці озимої і багаторічних трав безполицевий обробіток спільно із щільюванням збільшував вологозапаси на 7–12 мм, що зумовлено переведенням поверхневого стоку талих вод у внутрішньогрунтовий.

Дані таблиці 6.13 свідчать, що максимальна вологонакопичувальна ефективність досягається за мілкого безполицевого обробітку ґрунту, проведеного з одночасним щільюванням. У цьому варіанті залежно від вирощуваної культури запаси доступної вологи були на 5,6–17,6, або на 6,5–21 мм вищі, ніж за полицевого обробітку. Вологонакопичувальна ефективність безполицевого обробітку, проведеного на глибину оранки, виявилось дещо нижчою і становила 2–10 %.

За умов випадання однакової кількості атмосферних опадів і надходження їх до ґрунту нагромаджуються неоднакові запаси вологи, оскільки використовують її більше ті рослини, які мають високий коефіцієнт водоспоживання.

Вологонакопичувальна ефективність різних способів обробітку ґрунту за вирощування сільськогосподарських культур, (шар 0–100 см)

Варіант обробітку ґрунту	Запаси доступної вологи, мм		Накопилося вологи	
	перед входженням у зиму	після сніготанення	мм	± % до контролю
Ячмінь, 2012–2015 рр.				
Полицевий обробіток (контроль)	125,8	244,0	118,2	–
Безполицевий обробіток	118,8	249,6	130,8	10,6
Мілкий безполицевий із одночасним щільюванням	127,2	266,2	139	17,6
Люцерна, 2013–2016 рр.				
Полицевий обробіток (контроль)	69,3	139,4	70,1	–
Безполицевий обробіток	60,9	137,7	76,8	9,5
Мілкий безполицевий із одночасним щільюванням	69,4	151,2	81,8	16,6
Пшениця озима, 2013–2017 рр.				
Полицевий обробіток (контроль)	88,7	205,0	116,3	–
Безполицевий обробіток	92,3	210,7	118,4	1,8
Мілкий безполицевий із одночасним щільюванням	96,2	219,0	122,8	5,6

На час весняного відновлення вегетації пшениці озимої в шарі 0–30 см запаси доступної вологи становили 28–44,8 мм за різних систем основного обробітку ґрунту (табл. 6.14). Найменша кількість вологи накопичувалася на варіанті без застосування добрив. Перевищення запасу доступної вологи спостерігали за мінеральної – 41 %, органо-мінеральної – 30 і органічної – 32 % порівняно з варіантом без застосування добрив. Істотної різниці на досліджуваних варіантах обробітку ґрунту не відзначено. Кількість вологи на варіантах обробітку в шарі 0–30 см знаходилося в межах 32–37 мм.

Перед збиранням урожаю пшениці озимої найвищі запаси доступної вологи в орному шарі відначено за органо-мінеральної системи удобрення на

Запаси доступної вологи в (0–30 см) шарі ґрунту, мм (2011–2017 рр.)

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Пшениця озима		Буряки цукрові	
		1	2	1	2
Без добрив	Диференційований (контроль)	28	30	45,2	30,1
	Полицево- безполицевий	28	33	40,1	31,4
	Мілкий безполицевий	29	30	42,4	35,2
Органічна	Диференційований (контроль)	36,5	31,7	49,6	33,7
	Полицево- безполицевий	44,8	38,4	45,0	35
	Мілкий безполицевий	31	30	48,0	45,4
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	39,4	34,2	56,1	33
	Полицево- безполицевий	34,6	43,7	45,4	36,1
	Мілкий безполицевий	35	39,4	49,2	45,4
Мінеральна	Диференційований (контроль)	43,4	32	50,0	33,1
	Полицево- безполицевий	41,8	27,9	48,1	35,6
	Мілкий безполицевий	33,5	37	54,4	42,0
Середнє за системою удобрення	Без добрив	28	31	42,5	32,2
	Органічна	37	33,3	49,6	38,0
	Органо-мінеральна	36,4	39,1	50,2	38,1
	Мінеральна	39,5	32,3	50,8	36,9
Середнє за обробітком ґрунту	Диференційований (контроль)	36,8	31,9	50,2	32,5
	Полицево- безполицевий	37,3	35,8	44,6	34,5
	Мілкий безполицевий	32,1	34,1	48,5	42,0
НІР ₀₅ А		1,29	1,65	1,8	0,94
НІР ₀₅ В		1,42	2,36	1,96	1,73

Примітка: строк визначення показників: 1 – на початку вегетації; 2 – перед збиранням урожаю.

6,6 мм порівняно з контролем.

Зниження вмісту доступної води відбулося на варіанті без внесення добрив на 4–25 % внаслідок споживання її рослинами бур'янів.

Застосування полицево-безполіцевого та мілкового безполіцевого обробітку ґрунту перевищували запаси доступної води порівняно з диференційованим на 6,8–12 %.

На початок вегетації буряків цукрових за вмістом доступної води в шарі 0–30 см ґрунту істотного впливу систем удобрення не спостерігалось (див. табл. 6.14). На варіанті без внесення добрив доступної води в орному 0–30 см шарі ґрунту на початку вегетації знаходилося на рівні 42 мм, варіантах із використанням органічних і мінеральних добрив в межах 49–51 мм, що значно перевищують контроль. Істотно вищий вміст доступної води в орному 0–30 см шарі ґрунту виявився за диференційованого обробітку. Визначення цього показника перед збиранням врожаю показало, що системи удобрення істотно не впливали на запас води у ґрунті.

На період збирання буряків цукрових вміст води в ґрунті значно зменшився. У результаті процесів фізичного випаровування, десукції і капілярного підйому вода з нижніх шарів перемістилася у верхню частину ґрунтової товщі. При цьому переваги мілкового безполіцевого обробітку над полицево-безполіцевим на варіанті, де використовували оранку – зберігалися. Вищим кінцевим вологозапасам за мілкового безполіцевого обробітку сприяла наявність мульчі і кращий розвиток листового апарату, які затіняли ґрунт, запобігаючи непродуктивному випаровуванню ґрунтової води.

Вищими запасами доступної води характеризується варіант мілкового безполіцевого обробітку із більшим вмістом води порівняно з контролем на 29 %.

На початку вегетації пшениці озимої в шарі (0–100 см) вміст доступної води істотно відрізнявся за системами удобрення та обробітку ґрунту (табл. 6.15). У цей період варіант мілкового безполіцевого обробітку мав істотну

перевагу на 15,7 %, полицево-безполицевий – на 8,3 % порівняно з диференційованим обробітком. За органо-мінеральної системи удобрення вміст доступної вологи в метровій товщі перевершував контроль на 22,3 %.

На період збирання запаси доступної вологи зменшилися внаслідок використання вологи в процесі вегетації пшениці озимої та через випаровування її з ґрунту. Без застосування добрив це становило 67 мм, за органічної системи – 69,3 мм, органо-мінеральної – 73,6 мм, мінеральної – 69,6 мм відповідно. Така різниця між системами удобрення зумовлена різною насиченістю поживними речовинами та наявністю бур'янів.

На час збирання буряків цукрових запаси вологи в ґрунті значно зменшилися. Застосування мілкого безполицевого обробітку ґрунту призводило до підвищення вмісту доступної вологи на 20 % порівняно з контролем. Вищим залишковим вологозапасам за безполицевих обробітків сприяла наявність мульчі, що запобігало непродуктивному випаровуванню ґрунтової вологи. Варіанти систем удобрення на запаси доступної вологи в метровій товщі ґрунту істотно не впливали.

Буряки цукрові витрачають воду економніше, ніж інші культури, оскільки формують глибоку кореневу систему, яка інтенсивно розвивається у перші фази росту і досягає глибини понад 2,5 м. За вегетаційний період буряки цукрові використовують серпневі та вересневі опади [180].

Запаси доступної вологи в орному і метровому шарах ґрунту не призводять до істотної різниці на варіантах систем удобрення. За мілкого безполицевого обробітку як в орному 0–30 см, так і метровому 0–100 см шарі ґрунту створювалися сприятливіші умови для більшого накопичення вологи і раціонального її використання за рахунок дрібногрудкуватого складу і мульчуючого шару, який вони створюють.

Найменші запаси доступної вологи виявилися за диференційованого обробітку ґрунту. За використання полицево-безполицевого обробітку встановлено тенденцію щодо збільшення запасів вологи порівняно з контролем.

Запаси доступної вологи в (0–100 см) шарі ґрунту, мм (2011–2017 рр.)

Система удобрєння, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Пшениця озима		Буряки цукрові	
		1	2	1	2
Без добрив	Диференц. (конт.)	100	60	155	92
	Полицево- безполицевий	102	73	157	94
	Мілкий безполицевий	107	70	160	101
Органічна	Диференційований (контроль)	116	66	164	99
	Полицево- безполицевий	118	70	166	102
	Мілкий безполицевий	121	72	163	122
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	120	73	167	98
	Полицево- безполицевий	126	72	165	104
	Мілкий безполицевий	133	76	162	125
Мінеральна	Диференційований (контроль)	97	70	179	98
	Полицево- безполицевий	122	65	175	103
	Мілкий безполицевий	139	74	162	121
Середнє за системою удобрєння	Без добрив	103	67	157	95
	Органічна	118	69,3	164	107
	Органо- мінеральна	126	73,6	164	109
	Мінеральна	119	69,6	172	107
Середнє за обробітком ґрунту	Диференційований (контроль)	108	67	166	97
	Полицево- безполицевий	117	70	165	101
	Мілкий безполицевий	125	73	162	117
НІР ₀₅ А		2,6	2,5	4,6	3,1
НІР ₀₅ В		2,9	2,7	6,2	3,6

Примітка: строк визначення показників: 1 – на початку вегетації; 2 – перед збиранням урожаю.

Максимальне використання вологи пізньостиглими культурами припадає на другу половину літа – початок осені, що збігається з періодом збирання ранньостиглих культур. Волога, що надходить у цей період, повністю використовується вегетуючими, пізньостиглими культурами. Разом із тим на полях під ранньостиглими культурами волога літніх опадів не використовується, а нагромаджується у ґрунті. Встановлено, що науково обґрунтоване розміщення культур проміжного вирощування у польовій сівозміні чорнозему типового не здійснює негативного впливу на нагромадження вологи у ґрунті впродовж осінньо-зимово-весняного періоду [335].

Проведені розрахунки водного балансу ґрунту у полі пшениці озимої та буряків цукрових надають чітку уяву про характер періодично промивного режиму в чорноземі типовому дослідної ділянки. В різні за умовами зволоження роки глибина промочування профілю і запаси доступної вологи в шарі 0–100 см змінювалися в широкому діапазоні. Так, у роки з великою кількістю атмосферних опадів (2010, 2011, 2012, 2013, 2014) відзначалося глибоке (2 м і більше) промочування ґрунтового профілю. В інші роки зона активного вологообігу не перевищувала 1,2 м, у посушливі – до 0,8 м.

Також встановлено, що формування врожаю залежить більшою мірою від кількості опадів за вегетаційний період, рівності їх розподілу та запасів доступної вологи в метровому шарі (табл. 6.16 – 6.17).

Сумарні витрати води надають лише загальну уяву про її використання з різних статей водного балансу. Продуктивність використання вологи виражається витратами останньої на утворення одиниці сухої речовини (коефіцієнт водоспоживання).

За мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення простежується тенденція до зменшення коефіцієнта водоспоживання у посівах пшениці озимої на 25 %, буряків цукрових – 27 % порівняно з варіантом без застосування добрив.

Найменшими сумарні витрати вологи на 1 г сухої речовини виявилися

**Баланс води в (0–100 см) шарі ґрунту за вирощування пшениці озимої
перед збиранням врожаю (2011–2017 рр.)**

Система удобрення	Варіант обробітку ґрунту	Запаси доступної води, мм		Випало опадів за період вегета- ції, мм	Сумарні витрати, мм	Урожай- ність, т/га сухої речовини	Коефі- цієнт води- спожив- ання, м³/т сухих речовин
		поча- ток веге- тації	перед збиран- ням				
Без добрив	Диференційований (контр.)	100	60	225	265	3,8	697
	Полицево-безполіц.	107	73	225	254	4,2	604
	Мілкий безполіцевий	107	70	225	262	4,0	655
Органічна	Диференційований (контр.)	116	66	225	275	5,0	550
	Полицево-безполіц.	118	70	225	273	5,8	470
	Мілкий безполіцевий	121	72	225	274	5,0	548
Органо- мінеральна	Диференційований (контр.)	120	73	225	272	5,3	513
	Полицево-безполіц.	126	72	225	279	6,2	450
	Мілкий безполіцевий	133	76	225	287	5,8	485
Мінеральна	Диференційований (контр.)	97	70	225	252	5,6	450
	Полицево-безполіц.	122	65	225	282	6,5	433
	Мілкий безполіцевий	139	74	225	290	6,0	483
Середнє за системами удобрення	Без добрив	103	67	225	261	4,0	652
	Органічна	118	69	225	274	5,2	526
	Органо-мінеральна	126	73	225	278	5,7	487
	Мінеральна	119	69	225	275	6,0	458
Середнє за обробітком ґрунту	Диференційований (контр.)	108	67	225	266	4,7	566
	Полицево-безполіц.	117	70	225	272	5,4	503
	Мілкий безполіцевий	125	73	225	277	4,9	565

у полі буряків цукрових – 255, вищі у полі пшениці озимої – 458 м³/т абсолютно сухої маси. На отримання більшої на 0,5 т/га маси основної та побічної продукції пшениці озимої з шару 0–100 см за органо-мінеральної та

мінеральної системи удобрення вологи витрачається менше, ніж за органічної та на ділянках без добрив.

Таблиця 6.17

**Баланс вологи в (0–100 см) шарі ґрунту за вирощування буряків
цукрових перед збиранням врожаю (2011–2017 рр.)**

Система удобрення	Варіант обробітку ґрунту	Запаси доступної вологи, мм		Випало опадів за період вегета- ції, мм	Сумарні витрати, мм	Урожай- ність, т/га сухої речовини	Коефі- цієнт водоспо- живання, м³/т сухих речовин
		поча- ток веге- тації	перед збиран- ням				
Без добрив	Диференційований (контр.)	155	92	338	401	10,5	382
	Полицево-безполиц.	157	94	338	401	11,3	354
	Мілкий безполицевий	160	101	338	397	10,0	397
Органічна	Диференційований (контр.)	164	99	338	403	13,3	303
	Полицево-безполиц.	166	102	338	402	13,8	291
	Мілкий безполицевий	163	122	338	379	11,8	321
Органо- мінеральна	Диференційований (контр.)	167	98	338	407	16,0	254
	Полицево-безполиц.	165	104	338	399	16,8	237
	Мілкий безполицевий	162	125	338	375	13,3	282
Мінеральна	Диференційований (контр.)	179	98	338	419	16,8	249
	Полицево-безполиц.	175	103	338	410	16,8	244
	Мілкий безполицевий	162	121	338	379	13,8	274
Середнє за системами удобрення	Без добрив	157	95	338	400	10,6	355
	Органічна	164	107	338	395	12,9	306
	Органо-мінеральна	164	109	338	393	15,3	256
	Мінеральна	172	107	338	403	15,8	255
Середнє за обробітком ґрунту	Диференційований (контр.)	166	97	338	407	14,1	288
	Полицево-безполиц.	165	101	338	402	14,6	275
	Мілкий безполицевий	162	117	338	383	12,2	313

При внесенні мінеральних добрив у поєднанні з гноєм, соломою,

заробкою сидеральних культур, рослини значно економніше витрачали ґрунтову вологу – на 28–30 % порівняно з варіантом без мінеральних добрив [82].

При застосуванні полицево-безполицевого обробітку ґрунту відзначено найнижчий коефіцієнт водоспоживання за вирощування пшениці озимої, що становить 503 м³/т, буряків цукрових – 275 м³/т. На цьому варіанті обробітку ґрунту спостерігалася найвища врожайність сухих речовин. При застосуванні мілкового безполицевого обробітку ґрунту найбільші значення коефіцієнта водоспоживання встановлено в полі пшениці озимої – 565 м³/т, буряків цукрових – 313 м³/т сухих речовин.

Між щільністю ґрунту і запасами доступної вологи пшениці озимої на початку вегетації відзначено коефіцієнт кореляції $r=0,19\pm0,37$, рівняння регресії $Y=(-44,3)+65,6X$ та в кінці вегетації пшениці озимої $r=0,25\pm0,36$, рівняння регресії $Y=(-30,3)+51,5X$, що визначає кореляцію як пряму із слабкими зв'язками. Також встановлено, що між щільністю ґрунту і запасами доступної вологи буряків цукрових на початку вегетації коефіцієнт кореляції $r=0,68\pm0,28$, рівняння регресії $Y=(-88,0)+114,8X$. Це свідчить про пряму кореляцію із середньою силою зв'язку та в кінці вегетації буряків цукрових $r=0,16\pm0,42$, рівняння регресії $Y=14,6+17,2X$, що характеризує кореляцію пряму із слабким зв'язком.

Як показує аналіз даних щільності і вбирання вологи за першу годину спостережень, зв'язок між вказаними показниками слабкий. Це означає, що початкове надходження вологи здійснюється великими порами й тріщинами та від щільності майже не залежить $r=-0,074\pm0,38$, рівняння регресії $Y=68,7+1,6X$.

Етапи міграції вологи в ґрунт тією чи іншою мірою, прямо або опосередковано зумовлені щільністю ґрунту. Вважається, що розпушений ґрунт повніше вбирає вологу (але швидше від неї звільняється), ніж щільний. Всмоктування вологи в розпушений ґрунт супроводжується її ущільненням, швидким настанням рівноважного стану. Одночасно з цим різко зменшується

надходження вологи в ґрунт. Згасання вбирання тим швидше, чим значніше розпушений і гірше оструктурений ґрунт. Якщо пори великі, тоді всмоктування триває довше, тонкі – менше. Оскільки у ґрунті наявні пори різного розміру, то дрібніші швидше заповнюються водою і насичуються. Чим щільніший ґрунт і чим менше великих пор він містить, тим швидше завершується фаза вбирання і настає фільтрація.

Між щільністю ґрунту і польовою вологоємністю буряків цукрових коефіцієнт кореляції $r = -0,24 \pm 0,36$, рівняння регресії $Y = 68,0 + 29,1X$, що свідчить про їх обернену кореляцію із слабким зв'язком. Крім цього, встановлено кореляційні залежності між загальною пористістю і запасами доступної вологи в кінці вегетації пшениці озимої $r = -0,21 \pm 0,37$, рівняння регресії $Y = 51,2 - 0,025X$, що вказує на слабку обернену кореляційну залежність.

Також виявлено неістотний середній зв'язок між внесеними мінеральними добривами і щільністю ґрунту $r = 0,67 \pm 0,42$, рівняння регресії $Y = 1,16 + 0,002X$ та водотривкістю ґрунтових агрегатів $r = 0,21 \pm 0,37$, рівняння регресії $Y = 52,7 + 0,003X$, тобто існує пряма кореляція із слабким зв'язком.

Неістотний середній зв'язок встановлено між внесеними органічними добривами і щільністю ґрунту $r = -0,51 \pm 0,32$, рівняння регресії $Y = 1,19 + (-0,004)X$ та внесеними органічними добривами й водотривкістю ґрунту $r = 0,61 \pm 0,30$, рівняння регресії $Y = 51,4 + 0,65X$, що вказує на середній і прямий зв'язок.

Між внесеними органічними добривами і коефіцієнтом структурності буряків цукрових $r = 0,74 \pm 0,26$, рівняння регресії $Y = 1,60 + 0,127X$, що свідчить про істотний прямий сильний зв'язок.

Встановлено неістотний середній зв'язок між загальною пористістю і структурно-агрегатним складом ґрунту пшениці озимої, коефіцієнт кореляції $r = 0,53 \pm 0,37$, рівняння регресії $Y = 65,1 + 0,017X$.

Між вмістом гумусу і водотривкістю ґрунту існує неістотний середній зв'язок, коефіцієнт кореляції $r = 0,78 \pm 0,23$, рівняння регресії $Y = (-88,5) + 36,9X$.

Таким чином, використання мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення за полицево-безполицевого основного обробітку формували найсприятливіші умови для раціонального використання запасів вологи.

Висновки до розділу 6

1. Системи основного обробітку ґрунту суттєво впливають на формування різних за розміром агрегатів ґрунту. За органо-мінеральної системи удобрення зменшується щільність ґрунту у верхньому і глибших шарах ґрунту порівняно з мінеральною.

2. Максимальна вологонакопичувальна ефективність досягається за мілкого безполицевого обробітку ґрунту, проведеного з одночасним щілюванням. Найсприятливіші умови для водоспоживання культур створює мінеральна і органо-мінеральна системи удобрення за полицево-безполицевого основного обробітку ґрунту.

Одержані результати досліджень опубліковані в наступних джерелах:

1. Цюк О. А., Центило Л. В., Мельник В. І. Структурно-агрегатний склад ґрунту залежно від основного обробітку та удобрення. Біоресурси і природокористування. 2018. Т.10, № 5–6. С. 139–145.

2. Центило Л. В. Вплив різних систем основного обробітку ґрунту та удобрення на вологозабезпеченість посівів пшениці озимої. Наукові доповіді НУБіП України. №1 (77), 2019. URL: <https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.01.021>

3. Центило Л. В. Вологозабезпеченість буряків цукрових залежно від систем обробітку ґрунту та удобрення. Наукові доповіді НУБіП України. 2019. №5. (81). URL:

4. Центило Л. В., Цюк О. А. Динаміка змін твердості ґрунту залежно від його основного обробітку. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2019. №1. С.147–153.

5. Центило Л. В. Зміна водного режиму чорнозему типового залежно від систем обробітку ґрунту. Вісник аграрної науки. 2019. № 11. С. 22–27.

РОЗДІЛ 7

УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

7.1. Урожайність сільськогосподарських культур

Біопродуктивність серед усіх параметрів агроценозу – найбільш мінливий та інтегральний показник життєдіяльності культур сівозміни, в якому акумулюються генетичний потенціал рослин, родючість ґрунту, погодні умови та ефективність землеробства. Її підвищення було й залишається головним завданням сільськогосподарського виробництва. Незважаючи на наявний прогрес в аграрному секторі світової економіки, питання подальшого підвищення продуктивності культур набуває з кожним роком все актуальнішого значення, що зумовлено певними причинами.

Вирощування максимально економічно вигідного врожаю можливе лише за умови оптимізації живлення рослин за рахунок правильного застосування добрив. Тому система удобрення – одна з найважливіших ланок сучасного землеробства. Проведення короткотермінових дослідів для встановлення оптимальних доз добрив під окремі культури без урахування продуктивності наступних культур сівозміни не дають певної відповіді про їх ефективність. Розраховані таким способом коефіцієнти використання поживних речовин, окупність та економічна ефективність добрив низькі, а тому їхня роль не виправдано занижується.

Як відомо, врожайність будь-якої культури, яку вирощують у сівозміні, формується не лише під впливом прямої дії добрив, а й їх післядії за рахунок акумульованих поживних речовин добрив у ґрунті. Звідси тривалі досліді, проведені з урахуванням післядії добрив у сівозмінах, забезпечують повнішу характеристику їх ролі у продуктивності сільськогосподарських культур та впливу на родючість ґрунту [452].

На нинішньому етапі господарювання система удобрення ґрунту в сівозмінах повинна не тільки враховувати агрохімічні та агротехнічні

комплекси заходів, що спрямовані на виконання науково обґрунтованого плану застосування добрив, у якому вказано види, норми, строки й способи внесення та способи заорювання їх під сільськогосподарські культури, а й біологічні можливості самої культури, збереження та підвищення родючості ґрунту, його мікробіологічний режим. Важливо також зосередити увагу й на тому, як зменшити кількість бур'янів, захистити рослини від хвороб і шкідників, що негативно впливають на врожай та його якість. Система удобрення має враховувати еколого-агрохімічний стан ґрунту, від якого залежить застосування різноенергетичних рівнів удобрення та досягнення економічного ефекту.

За цього необхідно підібрати такі умови живлення, які б забезпечували максимальний урожай товарної продукції, адекватний природним ресурсам, вихід цукру в певних кліматичних умовах при мінімальній витраті добрив.

Вплив способів обробітку на урожайність культур визначається складним поєднанням дії регульованих і нерегульованих факторів, серед яких головними є погода, біологічні особливості культур і розміщення їх у сівозміні, фізичні властивості ґрунту, умови живлення рослин, фізико-хімічний режим ґрунту, засміченість ґрунту та посівів бур'янами.

На думку багатьох учених, за вирощування буряків цукрових головною перевагою оранки над безполицевим обробітками виступає повніше пригнічення бур'янів порівняно з безполицевими обробітками, що позначається на вищій продуктивності коренеплодів [77, 445]. При цьому відзначаються переваги полицевого обробітку на 38–40 см, навіть за умови застосування гербіцидів [424].

Однак, крім істотного підвищення забур'яненості посівів буряка цукрового як без гербіцидів, так і на їх фоні, безполицеві обробітки погіршують і ряд інших важливих показників. Диференціал вмісту поживних елементів, підвищення щільності та деяке погіршення умов вологозабезпечення, вважаються не менш істотними причинами зниження урожайності культури після спроби заміни оранки [290, 569].

Із метою розв'язання проблеми підвищення ефективності землеробства необхідно насамперед оцінити можливості сукупності складових, що формують сівозміну стосовно поліпшення родючості ґрунту. Реалізуються такі можливості шляхом максимального використання нетоварної частини врожаю як добрива, вирощування культур на сидерат, інтенсифікації процесів симбіотичної й асоціативної азотфіксації. За рахунок цього функціонування сіяних агрофітоценозів наблизиться до природних [377].

За даними проведених досліджень на врожайність люцерни першого року використання істотний вплив виявляли системи удобрення (табл. 7.1). Так, найвищу врожайність за роки досліджень відзначено за мінеральної системи, найменшу – на варіанті без застосування добрив (на 52 % менше від мінеральної). Застосування у досліді органічної системи удобрення на основі компосту 4,5 т/га сівозмінної площі, забезпечило зростання врожайності люцерни першого року використання на 2,5 т/га, що на 23 % більше, ніж на контролі без добрив.

Взаємодію системи удобрення з основним обробітком ґрунту спостерігали в наступних проявах. На полищево-безполицевому обробітку урожайність становила – 13,7 т/га, тоді як найменша за мілкого безполицевого – 11,7 т/га. За роки досліджень урожайність люцерни першого року використання істотно не відрізнялася. Найвищу урожайність люцерни одержано на рівні 17 т/га зеленої маси у 2017 році (дод. Д 1).

Врожайність люцерни другого року використання на два укоси була вищою, ніж першого укосу.

Урожайність люцерни другого року за мінеральної системи удобрення досягала – 20,7 т/га, що на 42 % більше, ніж за контролю, без добрив. Органо–мінеральна система удобрення призводила до неістотного зниження урожайності люцерни порівняно з мінеральною системою удобрення. У варіанті, де формування врожайності відбулося під впливом застосування органічних добрив, 4,5 т/га компост на 1 га сівозмінної площі, приріст урожайності зеленої маси виявився на 3,3 т/га більшим, ніж від варіанта без

Таблиця 7.1

Урожайність культур сівозміни залежно від систем обробітку ґрунту і удобрення, т/га (2011–2017рр.)

Система удобрення, А	Варіант обробітку, В	Культури сівозміни									
		люцерн а	люцерна	пше- ниця озима	буряки цукро- ві	ячмі- нь	соя	пшени- ця ози- ма	кукурудза на силос	пшениця озима	соняш- ник
Без добрив	Диференційова- ний (контроль)	8,5	11,6	3,4	32	2,2	1,4	3,2	38	2,9	1,5
	Полицево- безполицевий	8,8	12	3,3	35	2,2	1,3	3	36	2,8	1,4
	Мілкий безполицевий	7,2	10	3,1	30	2,1	1,3	2,9	31	2,6	1,2
Органічна	Диференційова- ний (контроль)	11,3	15	4,7	40	3,1	1,8	4,6	41	4,2	2,2
	Полицево- безполицевий	11,5	15,8	4,7	43	3	1,8	4,8	40	4,3	2,1
	Мілкий безполицевий	9,4	12,7	4,3	37	2,7	1,7	4,4	37	4	1,7
Органо- мінеральна	Диференційова- ний (контроль)	17	20,9	6,7	64	4,6	3,2	6,2	60	5,9	3,2
	Полицево- безполицевий	17,1	21	6,8	67	4,5	3,2	6,4	61	6	3,3
	Мілкий безполицевий	14,8	18,2	6,4	53	4	3	6,3	54	5,8	2,9
Мінеральна	Диференційова- ний (контроль)	17,6	21,6	6,9	67	4,7	3,4	6,6	63	6,2	3,4
	Полицево- безполицевий	17,5	21,6	7,0	70	5,0	3,6	6,8	64	6,4	3,5

	<i>Продовження табл. 7.1</i>										
	Мілкий безполицевий	15,3	18,8	6,6	55	4,4	3,2	6,6	58	6,2	2,9
Середнє по системі удобрення	Без добрив	8,2	11,2	3,3	32	2,2	1,3	3,0	35	2,8	1,4
	Органічна	10,7	14,5	4,6	40	2,9	1,8	4,6	39	4,2	2,0
	Органо- мінеральна	16,3	20,0	6,6	61	4,4	3,1	6,3	58	5,9	3,1
	Мінеральна	16,8	20,7	6,8	64	4,7	3,4	6,7	62	6,3	3,3
Середнє по обробітку	Диференційова- ний (контроль)	13,6	17,3	5,4	51	3,7	2,5	5,2	51	4,8	2,6
	Полицево- безполицевий	13,7	17,6	5,5	54	3,7	2,5	5,3	50	4,9	2,6
	Мілкий безполицевий	11,7	14,9	5,1	44	3,3	2,3	5,1	45	4,7	2,2
НІР ₀₅ А		1,09	1,17	0,16	1,72	0,24	0,17	0,18	1,31	0,2	1,21
НІР ₀₅ В		1,22	1,68	0,18	3,15	0,36	0,21	0,25	1,52	0,27	1,27

застосування добрив.

Одержана урожайність люцерни другого року використання становила за диференційованого обробітку ґрунту 17,3 т/га, за полицево-безполицевого – 17,6 т/га, за мілкого безполицевого обробітку – 14,9 т/га. Урожайність люцерни другого року використання суттєво не відрізнялась упродовж років досліджень (дод. Д 2).

Урожайність пшениці озимої за роки досліджень була середньою і коливалася в межах 3,3–6,8 т/га. За органо-мінеральної системи удобрення урожайність пшениці озимої в трьох полях сівозміни істотно не відрізнялась від контролю. Істотне зниження врожайності пшениці озимої спостерігалось за органічної системи удобрення – в ланці з люцерною на 32 %, із соєю – 31,3 % і на 33,3 % кукурудзи на силос порівняно до мінеральної системи. За органо-мінеральної системи удобрення урожайність пшениці озимої істотно відрізнялась від мінеральної системи. Так, урожайність пшениці озимої після люцерни за органо-мінеральної системи призвела до зниження на 0,2 т/га ($НІР_{05} = 0,18$ т/га), після сої – 0,4 т/га ($НІР_{05} = 0,25$ т/га), після кукурудзи на силос – 0,4 т/га ($НІР_{05} = 0,27$ т/га) порівняно з мінеральною системою удобрення.

Серед варіантів обробітку ґрунту вищі показники урожайності відзначено на тлі полицево-безполицевого обробітку. Застосування мілкого безполицевого обробітку ґрунту призводило до істотного зниження урожайності пшениці озимої порівняно до контролю.

Урожайність буряків цукрових упродовж ротації сівозміни змінювалась в незначних межах. Так, урожайність буряків цукрових у середньому на варіантах становила 32–63 т/га. Загалом урожайність буряків цукрових була високою. Недостатнє волого-забезпечення у серпні та вересні 2015 р. негативно позначилося на коренеутворенні і, як наслідок, низька врожайність на усіх варіантах дослідів. Встановлено, що найсприятливіші ґрунтові умови для формування врожаю коренеплодів формувалися за мінеральної системи удобрення. У середньому за роки досліджень врожайність коренеплодів за

умов органо-мінерального удобрення була на 4,6 % меншою, ніж за мінеральної системи, за органічної – на 37,5 %.

Застосування диференційованого і полицево-безполіцевого обробітків ґрунту сприяють істотному зростанню урожайності буряків цукрових. Використання мілкового безполіцевого обробітку зумовило істотне зниження врожайності буряків цукрових порівняно до контролю на 14,2 %.

Застосування органо-мінеральної системи удобрення не призводить до істотного зниження урожайності ячменю порівняно з мінеральною системою удобрення (див. табл. 7.1).

Органічна система удобрення поступалася перед мінеральною на 53,2 %. Це пояснюється незадовільним поживним режимом ґрунту, оскільки застосування лише органічних добрив за органічної системи спричиняє від'ємний баланс поживних речовин у ґрунті.

Урожайність зерна ячменю за роки досліджень була однаковою за диференційованого (контроль) та полицево-безполіцевого обробітків у сівозміні – по 3,7 т/га, тоді як проведення мілкового безполіцевого обробітку урожайність зменшувалася на 10,8 %.

Найвищу врожайність сої за роки проведення досліджень відзначено за застосування полицево-безполіцевого обробітку ґрунту за мінеральної системи удобрення – 3,4 т/га, органо-мінеральної – 3,2 т/га, органічної – 1,8 т/га. Мілкий безполіцевий обробіток призводив до істотного зниження урожайності. Врожайність сої за роками істотно не коливалася (див. табл. 7.1).

Кукурудза – культура високих потенційних можливостей формування врожаю зеленої маси в умовах Лісостепу.

Врожайність кукурудзи на силос в середньому за ротацію сівозміни знаходилася в межах 30–62 т/га із значним коливанням за варіантами дослідів.

Застосування органо-мінеральної та органічної системи удобрення призводило до істотного зниження врожайності кукурудзи на силос відповідно на 6,4 та 37 % порівняно з мінеральною системою удобрення.

Серед обробітку ґрунту спостерігалася чітка закономірність, що мілкий безполицевий обробіток формував нижчу врожайність на 11,7 % порівняно з варіантом, де в системі основного обробітку ґрунту в сівозміні використовували полицевий обробіток (див. табл. 7.1, дод. Д 8).

За даними досліджень на урожайність соняшнику істотний вплив виявили системи удобрення (див. табл. 7.1, дод. Д10). Найсприятливіші умови склалися у варіанті з мінеральною системою удобрення – тут середня врожайність становила 3,3 т/га. За органо-мінеральної системи удобрення урожайність зменшилася на 6 %. Істотно меншою, на 39 % порівняно з контролем була врожайність соняшнику на варіанті органічної системи удобрення. Варіанти диференційованого та полицево-безполицевого обробітків ґрунту істотно не різнилися між собою, із показником – 2,6 т/га.

За умов екологізації на чорноземі типовому врожайність основних сільськогосподарських культур не зазнає великих змін порівняно з мінеральною системою удобрення.

У середньому за ротацію сівозміні врожайність культур становила, т/га: люцерна – 12,9, люцерна – 16,6, пшениця озима – 5,0, буряки цукрові – 49, ячмінь ярий – 3,5, соя – 2,4, пшениця озима – 5,1, кукурудза на силос – 48,6, пшениця озима – 4,8, соняшник – 2,4.

Спостерігалася наявність суттєвої різниці між варіантом без застосування добрив і органо-мінеральною системою удобрення за вирощування всіх культур сівозміні (табл. 7.2)

Аналіз впливу систем удобрення на врожайність культур сівозміні вказує на відсутність суттєвої різниці між органо-мінеральною і мінеральною системою удобрення за вирощування люцерни першого і другого року використання та соняшнику.

Встановлена наявність суттєвої різниці між органо-мінеральною і мінеральною системою удобрення за вирощування пшениці озимої після всіх попередників, буряків цукрових, ячменю, сої, кукурудзи на силос.

Застосування органічної системи удобрення суттєво знижувало врожайність культур сівозміни порівняно з органо-мінеральною і мінеральною системами удобрення.

Таблиця 7.2

Зміна урожайності сільськогосподарських культур залежно від систем удобрення та основного обробітку ґрунту (2011–2017 рр.)

Культура	Система удобрення				НІР ₀₅	Основний обробіток ґрунту			НІР ₀₅
	без добрив (конт-роль)	± % до контролю				дифере-нційо-ваний (конт-роль)	± % до контролю		
		орга-нічна	орга-но-мінерал-ьна	мінерал-ьна			поли-цево-безпо-лице-вий	міл-кий без-поли-цевий	
Люцерна	8,1	+3,2	+101	+107	8,4	13,6	+0,7	-14,7	9,4
Люцерна	11,2	+29	+78	+84	7,0	17,6	+1,73	-13,8	10,1
Пшениця озима	3,3	+39	+100	+106	3,2	5,4	-7,4	-14,8	3,6
Буряки цукрові	32	+24	+90	+99	3,5	51	+5,9	-14,5	6,4
Ячмінь	2,2	+31,8	+100	+113	6,8	3,7	0,0	-10,8	10,3
Соя	1,3	+38	+146	+161	7,0	2,5	0,0	-8	8,7
Пшениця озима	3,0	+53	+110	+120	3,1	5,1	+1,9	-1,9	4,9
Кукурудза на силос	35	+12	+66	+76	2,7	51	-0,4	-10,9	3,2
Пшениця озима	2,8	+50	+111	+125	4,2	4,8	+2,1	-2,1	5,6
Соняшник	1,4	+43	+121	+136	8,7	2,6	0,0	-19	11,2

Найуспішнішим варіантом основного обробітку ґрунту в сівозміні виявився полицево-безполицевий, за якого люцерна, буряки цукрові, пшениця озима після сої та кукурудзи на силос реагували збільшенням урожайності порівняно з контролем (див. табл. 7.2, рис 7.1).

Застосування мілкового обробітку ґрунту призводило до зниження урожайності культур сівозміни.

Урожайність культур залежить від поєднання багатьох факторів, таких

як умови живлення рослин, удобрення, біологічні особливості культури [484].

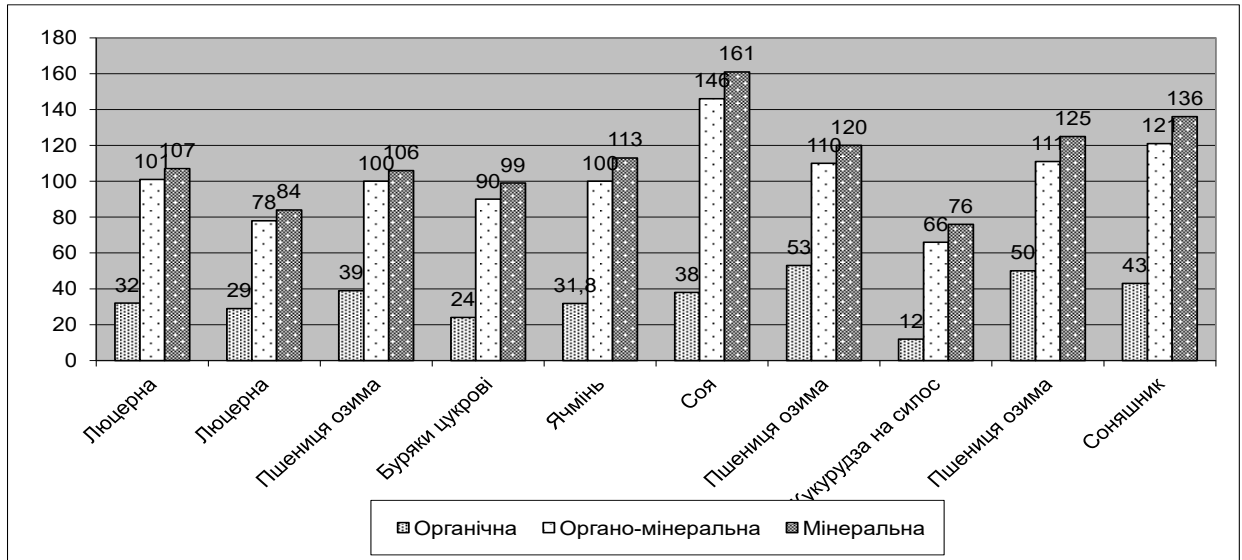


Рис. 7.1. Реакція культур сівозміни на системи удобрення, \pm % до контролю, без добрив (2011–2017 рр.)

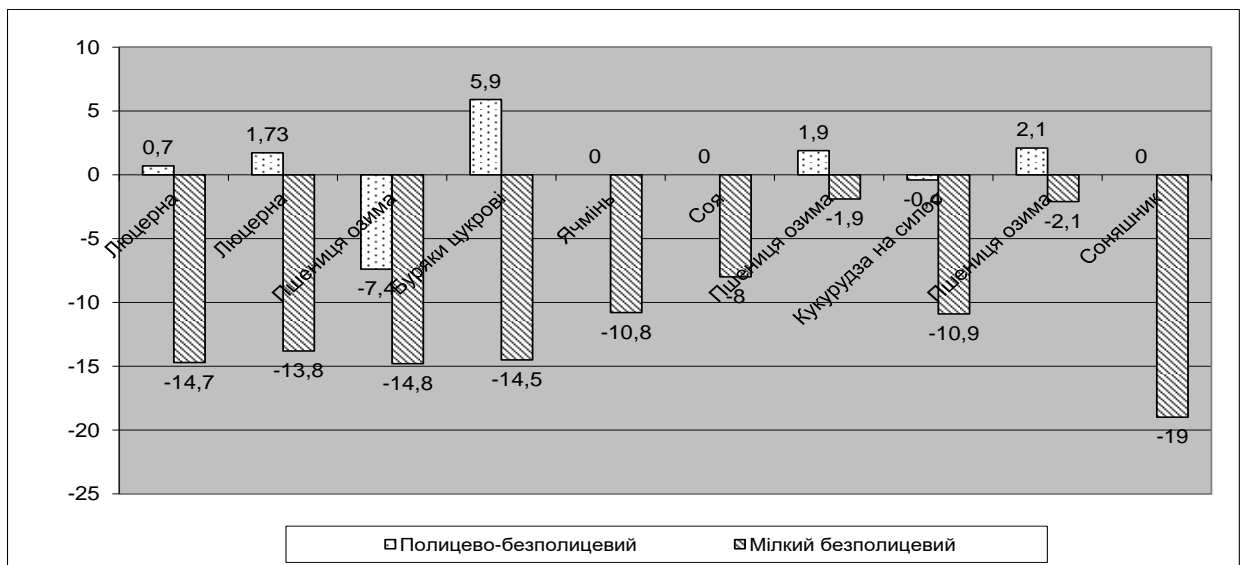


Рис. 7.2 Реакція культур сівозміни на варіанти системи основного обробітку ґрунту, \pm % до контролю (2011–2017 рр.)

Показником оцінки різних систем обробітку ґрунту, як і інших агротехнічних заходів, слугує кількість і якість урожаю сільськогосподарських культур, який відображає дію на рослину всіх умов вирощування, що змінюються також за допомогою обробітку ґрунту [26].

Позитивний вплив безполищового, мінімального і полищового обробітку на продуктивність сільськогосподарських культур підтверджується

результатами досліджень, проведених науковими установами. При цьому за мінімізації обробітку ґрунту врожайність сільськогосподарських культур не лише не знижується, а й у ряді випадків навіть зростає за загального зменшення енерговитрат на обробіток [14, 585].

Дослідженнями, проведеними щодо порівняльної оцінки з вивчення ґрунтозахисної ефективності варіантів основного обробітку ґрунту встановлено, що врожайність культур сівозміни залежить від системи удобрення та обробітку (табл. 7. 3).

Таблиця 7.3

Урожайність культур сівозміни, т/га (2011–2017 рр.)

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Культури сівозміни			
		люцер- на	пшени-ця ози-ма	кукуруд-за на зерно	ячмінь з підсівом люцерни
Органічна	Полицевий (контроль)	11,3	4,7	8,3	3
	Безполицевий	10,9	4,3	5,9	2,7
	Мілкий безполицевий одночасно з щілюванням	10,7	4,7	7,0	3,1
Мінеральна	Полицевий (контроль)	17,2	6,8	11,3	4,7
	Безполицевий	17,2	6,4	6,7	4,4
	Мілкий безполицевий одночасно з щілюванням	16,5	6,9	8,6	5,0
Середнє по системі удобрення	Органічна	11,0	4,6	7,1	2,9
	Мінеральна	12,9	6,7	8,9	4,7
Середнє по обробітку ґрунту	Полицевий (контроль)	14,3	5,8	9,8	3,9
	Безполицевий	14,1	5,4	6,3	3,6
	Мілкий безполицевий одночасно з щілюванням	13,6	5,8	7,8	4,1
НІР ₀₅ А		1,07	0,16	1,1	0,22
НІР ₀₅ В		1,2	0,2	1,2	0,33

На врожайність люцерни суттєвий вплив виявляли системи удобрення. Найвищу врожайність у роки досліджень спостерігали за мінеральної системи – 12,9 т/га, що на 17 % перевищували органічну систему удобрення.

Системи обробітку ґрунту здійснювали неістотний вплив на урожайність люцерни. Так, найвища урожайність люцерни одержана у контрольному варіанті – 14,4 т/га.

На варіанті, де застосовувався систематичний чизельний обробіток, урожайність люцерни була на 0,2 т/га нижчою, ніж за полиневого обробітку. Використання мілкого безполицевого обробітку з одночасним щілюванням призвело до неістотного зниження урожайності. Так, урожайність зеленої маси люцерни виявилось на 0,7 т/га нижчою, порівняно з контролем, із HP_{05} – 1,2 т/га.

Урожайність пшениці озимої у роки досліджень була середньою і становила 4,6–6,7 т/га (дод. Д. 12).

Урожайність пшениці озимої за мінеральної системи удобрення значно перевищувала органічну систему на 2,1 т/га. Істотне зниження врожайності пшениці озимої спостерігалось за органічної системи удобрення на 31 % порівняно до мінеральної системи.

Серед варіантів обробітку ґрунту найвищі показники врожайності відзначено за полицевого і мілкого безполицевого обробітку з одночасним щілюванням, що становили 5,8 т/га. Застосування безполицевого чизельного обробітку ґрунту призводило до істотного зниження врожайності пшениці озимої порівняно з полицевим обробітком.

Врожайність кукурудзи на зерно змінювалася від 5,9 т/га до 11,3 т/га. Загалом урожайність кукурудзи на зерно була високою. У роки досліджень найвищу врожайність кукурудзи на зерно одержали за мінеральної системи удобрення за полицевого обробітку – 11,3 т/га, найнижчу на органічній системі на фоні безполицевого обробітку – 5,9 т/га. В середньому по системах обробітку ґрунту за застосування мілкого обробітку з одночасним щілюванням ґрунту урожайність кукурудзи на зерно була нижчою на 20,4 %

порівняно з контролем. Безполицевий обробіток ґрунту призводив до зниження урожайності кукурудзи на зерно на 35,7 % порівняно з контролем (дод. Д. 13).

За даними досліджень, на врожайність ячменю ярого системи удобрення впливали значною мірою (див. табл. 7.3). Найсприятливіші умови склалися у варіанті мінеральної системи – тут середня врожайність досягала 4,7 т/га.

За органічної системи удобрення врожайність істотно зменшилася – на 38,2 % порівняно з мінеральною системою удобрення.

Урожайність ячменю ярого за мілкою обробітку ґрунту з одночасним щільюванням була вищою на 5,1 % порівняно із застосуванням полицевого обробітку ґрунту (табл. 7.3, дод. Д.14).

Дослідження зв'язку між показниками екологічного середовища та урожайністю пшениці озимої становлять певний інтерес для порівняльної оцінки як індикаторів родючості ґрунту (табл. 7.4).

Таблиця 7.4

Кореляційна залежність урожайності пшениці озимої від факторів екологічного середовища (X), (Дослід 1)

X	Y	Коефіцієнт кореляції	Рівняння регресії
Азот загальний	Урожайність пшениці озимої	$r=0,86\pm0,21$	$y= 12,80 +1568,3X$
Азот мінеральний	-//-	$r=0,84\pm0,21$	$Y= 1.26 +18,43X$
Міграція рухомого фосфору в шарі 0–10 см	-//-	$r=0,90\pm0,13$	$Y= 21,052+42,73 X$
Міграція рухомого фосфору в шарі 10–20см	-//-	$r=0,86\pm0,16$	$Y= 8,37+78,29 X$
Міграція обмінного калію в шарі 0–10см	-//-	$r=0,97\pm0,076$	$Y= 12,45+67,68 X$
Міграція обмінного калію в шарі 10–20см	-//-	$r=0,94\pm0,10$	$Y= 9,36 +66,98 X$

Продовження табл. 7.4

Щільність ґрунту в шарі 0–10 см на кінець вегетації	-//-	$r=0,41\pm0,34$	$Y= 0,0017 +1,20 X$
Щільність ґрунту в шарі 10–20 см на кінець вегетації	-//-	$r=0,36\pm0,35$	$Y= 0,0027 +1,24 X$
Загальна пористість ґрунту в шарі 0–30 см на кінець вегетації	-//-	$r=-0,42\pm0,34$	$Y=-0,076 +50,78X$
Запас доступної вологи в шарі 0–30 см шарі на кінець вегетації	-//-	$r=0,39\pm0,29$	$Y= 1,207 +27,51 X$
Запас доступної вологи в шарі 0–100 см шарі на кінець вегетації	-//-	$r=0,31\pm0,30$	$Y= 0,89 +65,32 X$

Встановлений тісний кореляційний зв'язок між вмістом загального азоту, мінерального азоту, міграцією обмінного калію в шарах 0–10 см і 10–20 см та урожайністю пшениці озимої.

Разом із тим не встановлено істотного зв'язку між урожайністю пшениці озимої і щільністю ґрунту в шарі 0–10 см у кінці вегетації ($r=0,41\pm0,34$), щільністю ґрунту в шарі 10–20 см у кінці вегетації ($r=0,36\pm0,35$).

Також не встановлено істотного зв'язку між урожайністю пшениці озимої і запасами доступної вологи в шарі 0–30 см на кінець вегетації ($r=0,39\pm0,29$), в шарі 0–100 см ($r=0,31\pm0,30$) встановлено неістотний обернений зв'язок між урожайністю пшениці озимої і загальною пористістю ґрунту в шарі 0–30 см в кінці вегетації культури ($r=-0,42\pm0,34$).

Результати дослідження зв'язку між урожайністю культур і елементами мінерального живлення наведено в табл. 7.5.

Відзначено тісний кореляційний зв'язок між урожайністю пшениці озимої і вмістом у ґрунті нітратного, амонійного азоту, рухомого фосфору та обмінного калію.

Виявлено неістотний кореляційний зв'язок між урожайністю кукурудзи на зерно і вмістом у ґрунті азоту нітратного ($r=0,48\pm0,32$), азоту амонійного ($r=0,32\pm0,47$), фосфору рухомого ($r=0,34\pm0,47$), калій обмінний ($r=0,27\pm0,48$).

Таблиця 7.5

Кореляційна залежність урожайності культур (Y) від елементів мінерального живлення(X), (Дослід 2)

X	Y	Коефіцієнт кореляції	Рівняння регресії
Азот нітратний	Урожайність пшениці озимої	$r=0,99\pm0,11$	$Y=0,569+4,19 X$
Азот амонійний	-//-	$r=0,91\pm0,21$	$Y=0,568+565 X$
Фосфор рухомий	-//-	$r=0,93\pm0,18$	$Y=3,44+26,67 X$
Калій обмінний	-//-	$r=0,96\pm0,13$	$Y=14,52+75,178 X$
Азот нітратний	Урожайність кукурудзи на зерно	$r=0,48\pm0,32$	$Y=0,139+9,36 X$
Азот амонійний	-//-	$r=0,32\pm0,47$	$Y=0,077+10,39 X$
Фосфор рухомий	-//-	$r=0,34\pm0,47$	$Y=0,1758+38,58 X$
Калій обмінний	-//-	$r=0,27\pm0,48$	$Y=0,566+129,19 X$
Азот нітратний	Урожайність ячменю	$r=0,95\pm0,19$	$Y=0,45+3,32 X$
Азот амонійний	-//-	$r=0,96\pm0,14$	$Y=0,486+4,390 X$
Фосфор рухомий	-//-	$r=0,92\pm0,19$	$Y=2,59+32,19 X$
Калій обмінний	-//-	$r=0,95\pm0,16$	$Y=12,59+81,27 X$

Встановлено тісний кореляційний зв'язок між урожайністю ячменю і вмістом у ґрунті азоту нітратного ($r=0,95\pm0,19$), азоту амонійного ($r=0,96\pm0,14$), фосфору рухомого ($r=0,92\pm0,19$), калію обмінного ($r=0,95\pm0,16$).

7.2. Продуктивність сівозмін

Ключовим показником продуктивності сівозміни слугує вихід з одного гектара кормових і зернових одиниць, перетравного протеїну, зерна та іншої продукції, оскільки за цими показниками можна надати правильну оцінку спроможності одиниці площі через продукцію реалізувати можливості як потенційної, так і ефективної родючості. Залежно від структури сівозміни, підбору культур, системи удобрення, системи основного обробітку ґрунту ці показники можуть змінюватися [51, 96, 195, 237, 376, 570].

Науковообґрунтовані системи удобрення, з урахуванням особливостей ґрунту, кліматичних умов та біологічних особливостей культур істотно підвищують продуктивність зерно-просапної сівозміни [518]. За даними Г. М. Ніколайчука [340], систематичне застосування добрив на чорноземних ґрунтах підвищувало продуктивність зерно-просапної сівозміни на 8–9 %.

Дослідження В. А. Живилка, Л. Цибака, М. М. Глушака [156], Л. І. Мартинович, М. М. Мартиновича [298], Я. П. Цвея, А. М. Горобця [518] свідчать, що збалансована за елементами живлення система удобрення здатна підвищити продуктивність зерно-просапної сівозміни на 17–33 %, за даними С. О. Кудрі [236], – навіть на 36–46 %.

Підвищення продуктивності зерно-просапної сівозміни відбувається переважно за органо-мінеральної системи удобрення [28, 85, 185, 519]. За даними М. М. Мартиновича, Л. І. Мартинович [299] внесення $N_{18}P_{22}K_{20}+7,7$ т гною на 1 га ріллі підвищило продуктивність зерно-просапної сівозміни в середньому за п'ять ротацій на 24 %, тоді як мінеральні добрива – на 17 %.

За дослідженнями ряду зарубіжних і вітчизняних науковців, ефективним засобом підвищення продуктивності культур сівозміни виступає введення елементів біологізації у системи удобрення шляхом поєднаного застосування мінеральних добрив і побічної продукції та поживних сидеральних культур [165, 360, 395, 431, 611]. Запровадження заходів біологізації створює ряд переваг перед мінеральною системою удобрення:

дозволяє поповнити ґрунт органічною речовиною, залучає значний ресурс біогенних елементів для поліпшення мінерального живлення культур за рахунок процесів рециркуляції, не потребує додаткових фінансових витрат [521].

У науковій літературі існує думка, що продуктивність сівозмін за умов альтернативного землеробства зменшується порівняно з органо-мінеральною системою удобрення за оптимальних доз мінеральних добрив.

Продуктивність сівозміни з поєднанням органічної системи удобрення, сидерації та побічної продукції через виключення з господарського використання побічної продукції пшениці озимої, гороху та кукурудзи на зерно за виходом кормопротеїнових одиниць, безперечно, помітно знижується [460].

Продуктивність окремих культур і сівозміни загалом слугує важливим показником, який уможливорює проведення порівняльної оцінки (за відповідними показниками) культур різних біологічних груп. Найчастіше її визначають за виходом кормових, зернових, кормопротеїнових одиниць та за кількістю енергії, яка акумулюється в одиниці продукції.

Продуктивність культур за виходом кормових одиниць залежно від систем удобрення і обробітку ґрунту наведено у табл. 7. 6, рис. 7. 3.

Найбільший збір кормових одиниць з 1 га (9,3 т/га) отримано за застосування мінеральної системи удобрення.

Застосування 4,5 т компосту й 3,5 т нетоварної частини урожаю, маси післяжнивних сидератів і 142 кг мінеральних добрив на 1 га сівозмінної площі зумовило несуттєве зниження продуктивності культур сівозміни. Органічна система удобрення за застосування лише природних ресурсів із внесенням на 1 га 4,5 компосту та нетоварної частини урожаю, маси післяжнивних сидератів призвела до істотного зниження на 35,5 % за $НІР_{05}=10,3$ %.

Застосування органічних добрив спільно з мінеральними поліпшує агрохімічні та фізико-хімічні показники ґрунту, що підвищує ефективність

Таблиця 7.6

Продуктивність сівозміни залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, виражена сумою основної і побічної продукції, т/га к. од. (2011–2017рр.)

Система удобрення, А	Варіант обробітку, В	Культури сівозміни										Серед-не
		люце-рна	люцер-на	пше-ниця озима	буряки цукро-ві	ячмі-нь	соя	пшени-ця озима	куку-рудза на силос	пени-ця ози-ма	соняш-ник	
Без добрив	Диференційова-ний (контроль)	2,0	2,8	5,3	10	3,5	2,2	5,0	9	4,5	2,7	4,7
	Полицево-безполицевий	2,1	2,9	5,1	11	3,5	2,0	4,7	9	4,3	2,5	4,7
	Мілкий безполицевий	1,7	2,4	4,8	9	3,4	2,0	4,5	7	4,0	2,2	4,2
Органічна	Диференційова-ний (контроль)	2,7	3,6	7,3	12	5,0	2,8	7,1	10	6,5	4,0	6,1
	Полицево-безполицевий	2,8	3,8	7,3	13	4,8	2,8	7,4	10	6,7	3,8	6,2
	Мілкий безполицевий	2,3	3,0	6,7	11	4,3	2,7	6,8	9	6,2	3,1	5,5
Органо-мінеральна	Диференційова-ний (контроль)	4,1	5,0	10,4	20	7,4	5,0	9,6	14	9,1	5,8	9,1
	Полицево-безполицевий	4,1	5,0	10,5	21	7,2	5,0	9,9	15	9,3	5,9	9,2
	Мілкий безполицевий	3,6	4,4	9,9	16	6,4	4,7	9,8	13	9,0	5,2	8,2
Мінераль-на	Диференційова-ний (контроль)	4,2	5,2	10,7	21	7,5	5,3	10,2	15	9,6	6,1	9,5

	<i>Продовження табл. 7.6</i>											
	Полицево-безполицевий	4,2	4,5	10,9	22	8,0	5,6	10,5	15	9,9	6,3	9,8
	Мілкий безполицевий	3,7	2,7	10,2	17	7,0	5,0	10,2	14	9,6	5,2	8,6
Середнє по системі удобрення	Без добрив	2,0	3,5	5,1	10	3,5	2,1	4,7	8	4,3	2,5	4,5
	Органічна	2,6	4,8	7,1	12	4,7	2,8	7,1	9	6,5	3,6	6,0
	Органо-мінеральна	3,9	5,0	10,3	19	7,0	4,9	9,8	14	9,1	5,6	8,8
	Мінеральна	4,0	4,1	10,6	20	7,5	5,3	10,3	15	9,7	5,9	9,3
Середнє по обробітку	Диференційований (контроль)	3,3	4,1	8,4	16	5,8	3,8	8,0	12	7,4	4,6	7,3
	Полицево-безполицевий	3,3	4,2	8,4	17	5,9	3,9	8,1	12	7,6	4,6	7,5
	Мілкий безполицевий	2,8	3,6	7,9	14	5,3	3,6	7,8	11	7,2	3,9	6,6
НІР ₀₅ А		1,09	1,17	0,16	1,72	0,24	0,17	0,18	1,31	0,2	1,21	0,74
НІР ₀₅ В		1,22	1,68	0,18	3,15	0,36	0,21	0,25	1,52	0,27	1,27	1,01

добрив, у результаті чого зростає продуктивність культур і продуктивність сівозміни [192, 544].

За поєднання гною з мінеральними добривами продуктивність культур посіла проміжне місце [168].

За роки досліджень найвищий вихід кормових одиниць забезпечували буряки цукрові, кукурудза на силос.

Майже втричі меншою продуктивністю, ніж буряки цукрові, характеризується поле сої, соняшнику та люцерни. Це пов'язано із значно меншим рівнем врожаю згаданих культур. Протягом ротації найвищу продуктивність сівозміни забезпечив варіант полицево-безполицевого обробітку ґрунту (на 2,7 %) порівняно з контролем. На варіанті мілкового безполицевого обробітку спостерігалася тенденція до зменшення продуктивності відповідно на 9,5 % порівняно з контролем. Причинами цього, крім зростання забур'яненості полів стало, зокрема, й ущільнення ґрунту.

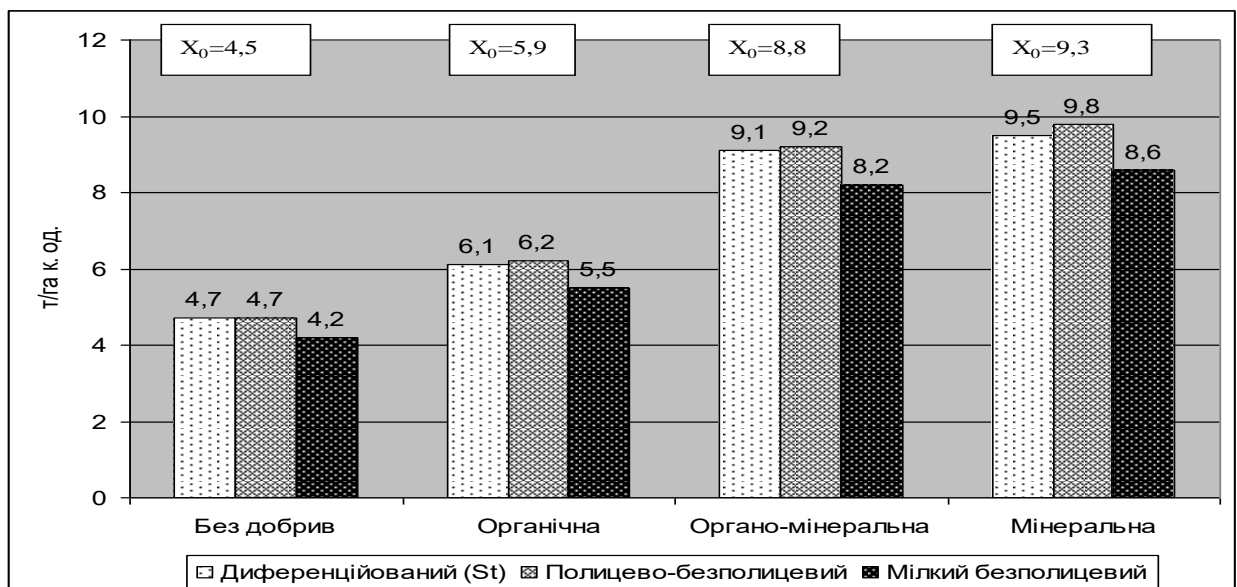


Рис.7.3 Продуктивність ріллі в середньому у сівозміні залежно від систем удобрення (А) та обробітку ґрунту (В), виражена в кормових одиницях, т/га (2011–2017 рр.)

На підставі результатів семирічних досліджень встановлено, що продуктивність ріллі польової сівозміни істотно залежить від систем

удобрення та основного обробітку ґрунту. Найвищої продуктивності ріллі досягли за мінеральної системи удобрення, тоді як її істотне зниження спостерігається на фоні без застосування добрив і органічної системи. Органо-мінеральна система удобрення істотно не відрізняється від мінеральної. Серед систем основного обробітку ґрунту перевага виявилася за диференційованим і полицево-безполицевим обробітками (рис. 7.4).

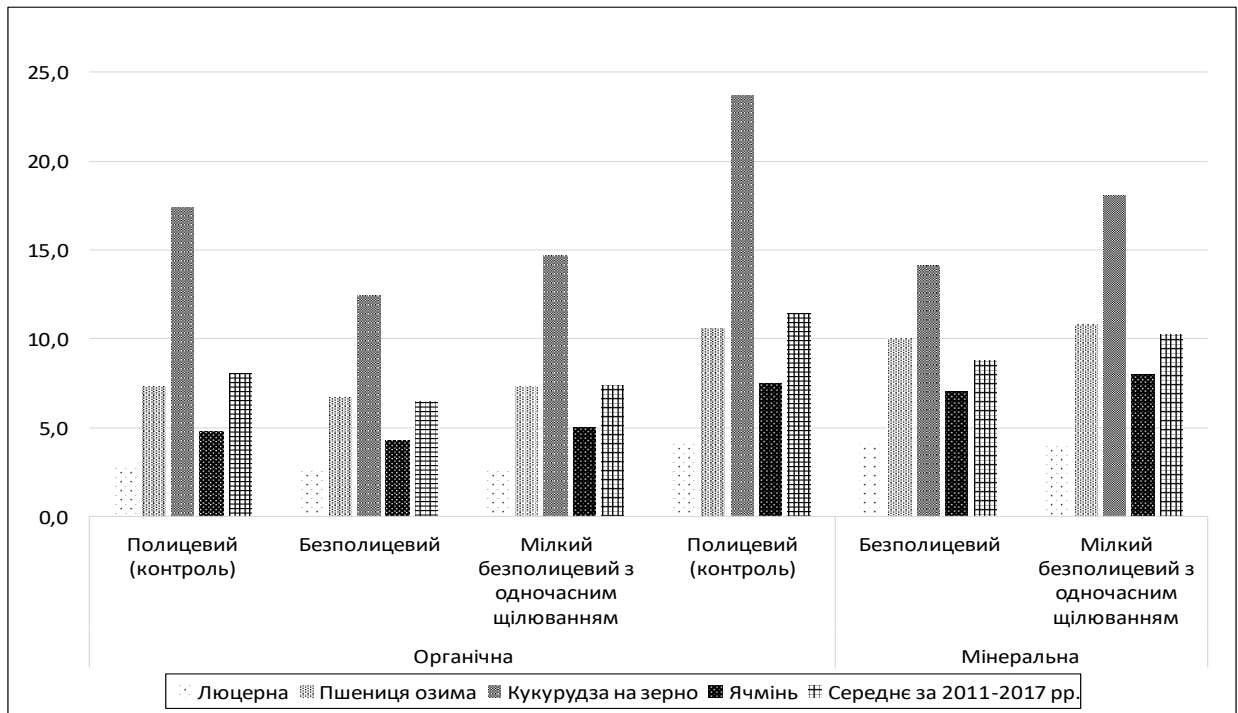


Рис.7.4 Продуктивність культур ґрунтозахисної сівозміни виражена в кормових одиницях, т/га (2011–2017 рр.)

Застосування органічної системи удобрення призвело до істотного зниження продуктивності культур ґрунтозахисної сівозміни. За мінеральної системи удобрення продуктивність сівозміни підвищується порівняно з органічною. Так, за органічної системи удобрення продуктивність сівозміни в середньому становила 7,4 т/га кормових одиниць, за мінеральної – 10,2 т/га к. од. Найвищою продуктивністю сівозміни відзначилася кукурудза на зерно. Меншою продуктивністю характеризувалася люцерна – 2,6–4,1 т/га к. од.

Застосування полицевого обробітку ґрунту в сівозміні сприяло високій

продуктивності культур ґрунтозахисної сівозміни. В середньому по сівозміні на варіанті з оранкою продуктивність становила 9,8 т/га к. од. За застосування безполицевого з одночасним щільюванням обробітку ґрунту продуктивність знаходилася на рівні – 8,8 т/га к. од. При безполицевому обробітку відбулося зниження продуктивності сівозміни на 1,1 т/га порівняно з мілким безполицевим обробітком з одночасним щільюванням.

На основі фактичної врожайності культур і продуктивності сівозміни на досліджених варіантах систем удобрення та обробітку ґрунту виконано розрахунок балансу валових форм поживних речовин у шарі ґрунту 0–30 см.

Аналіз балансу свідчить про оптимальний його рівень у варіантах досліджених систем удобрення та обробітку ґрунту, що вілповідає висновкам вченого-агрохіміка І. Г. Захарченка [175] для чорноземних ґрунтів. За рекомендаціями вченого рівень повернення у ґрунт із добривами для азоту має бути 80 %, фосфору – 130–250 і калію – 80–100 %. У досліджуваній десятипільній сівозміні рівень становив за мінеральної системи удобрення, 52; 158 і 75 % органо-мінеральної – 62; 125 і 83 % та органічної – 38; 35 і 28 % відповідно.

Науковий і практичний інтерес ставить інформація, отримана в результаті розрахунків структури ресурсного забезпечення біокліматичного обґрунтованої врожайності культур та продуктивності ріллі у сівозміні (рис. 7.5).

У структурі ресурсного забезпечення доступними для рослин поживними речовинами досліджені варіанти системи удобрення суттєво відрізняються. З підвищенням рівня екологізації за органічної системи удобрення збільшується частка використаних поживних речовин із ґрунту до 59 %. На частку органічних добрив у формуванні врожайності культур за органічної системи удобрення припадає 36 %.

За мінеральної системи удобрення частка участі мінеральних добрив становить 38 %, органічних – 23 % у структурі ресурсного забезпечення поживними речовинами культур сівозміни.

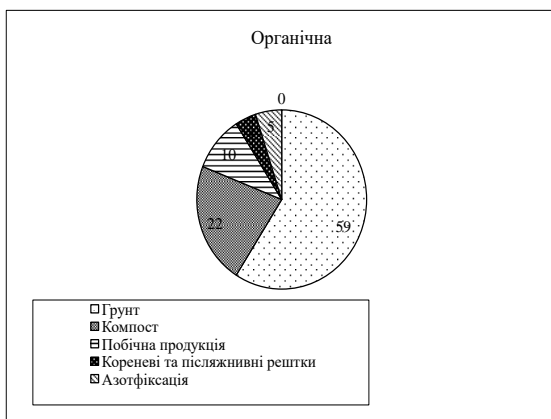
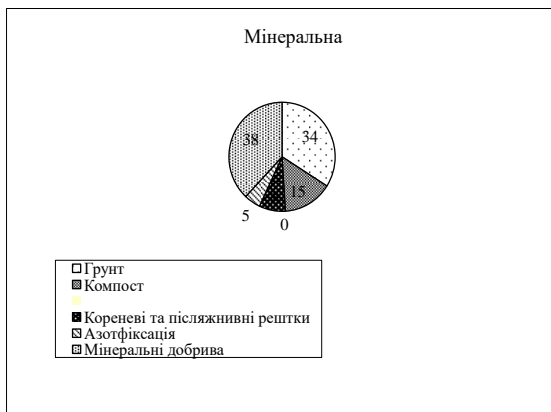


Рис.7.5 Структура ресурсного забезпечення доступними поживними речовинами біокліматично обґрунтованої продуктивності ріллі, %

За орґано-мінеральної системи удобрення частка використаних поживних речовин із ґрунту знаходиться на рівні 30 %, тоді як участь мінеральних добрив зменшується до 18 %. Частка участі у формуванні

продуктивності ріллі за рахунок компосту, корневих і післяжнивних речовин, побічна продукція – збільшується і досягає 37 % .

Об'єктивну оцінку спроможності окремих технологій і цілих систем удобрення до ефективного використання ресурсів дає аналіз адекватності фактичної врожайності вирощуваних рослин та продуктивності ріллі їхньому ресурсному забезпеченню.

Інформація переконує у тенденції до зростання в цілому фактичної продуктивності ріллі протягом років досліджень за органічної системи удобрення порівняно з ресурсно забезпеченою і значення її підвищення за мінеральної та екологічної системи (рис. 7.6).

Реакція вирощуваних культур сівозміни на варіанти систем удобрення неоднакова.

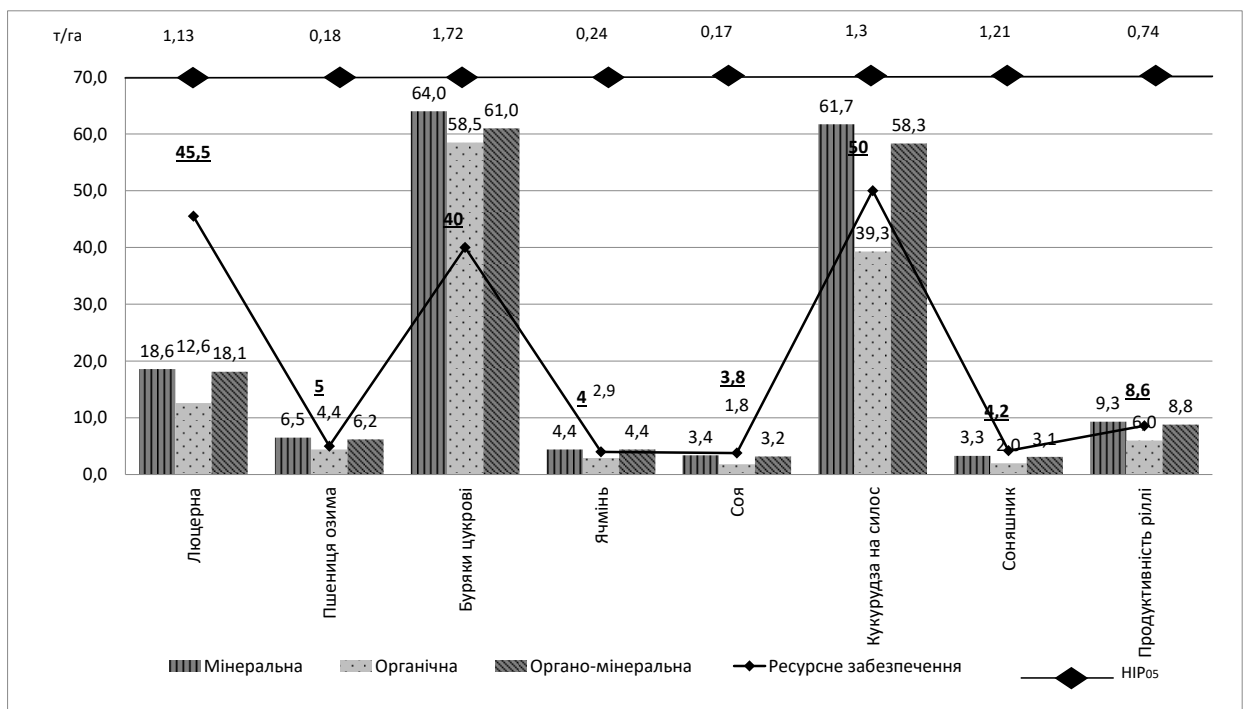


Рис 7.6 Адекватність фактичної врожайності культур і продуктивності ріллі десятипільної сівозміни їхньому ресурсному забезпеченню в системах удобрення, (2011–2017 рр.)

Істотне зростання врожайності порівняно з ресурсно забезпеченою властиве в усіх досліджених системах удобрення для буряків цукрових (+46–60 %), кукурудзи на силос (+16–23 %), пшениці озимої (+24–30 %). Навпаки,

фактична врожайність люцерни, сої, соняшнику істотно (на 10,5–59 %) поступилася їхньому ресурсу. Можна констатувати статистично значне зниження фактичної врожайності порівняно з цим показником за ресурсного її забезпечення за органічної системи удобрення для соняшнику (–52,3 %), кукурудзи на силос (–21,4 %), сої (–52,6 %), ячменю (–27,5 %), пшениці озимої (–12 %), люцерни (–75 %).

Одержані результати орієнтують на необхідність урахування особливостей адекватності використання ресурсів за різних систем удобрення.

Окрім статистичного показника HP_{05} критерієм адекватності явищ у землеробстві є коефіцієнт адекватності (табл. 7.7).

Таблиця 7.7

Розрахунок адекватності фактичної продуктивності ріллі її ресурсному забезпеченню в системах удобрення (2011–2017 рр.)

Система Удобрення	Ресурсна продук- тивність кормових одиниць, т/га, x^-	Фактична продук- тивність, т/га, x	Відхи- лення, $\pm, x-x^-$	Стандар- тне відхи- лення, т/га, S	Коефі- цієнт адекват- ності, K_a	Рівень адекват- ності
Мінеральна	8,5	9,3	+0,8	5,1	+0,015	оптима- льний
Органо- мінеральна	8,5	8,8	+0,3	4,7	+0,06	оптима- льний
Органічна	7,3	6,0	–1,3	3,1	–0,42	неістотно зани- жений

Примітка: 1. $K_a = x-x^-/S$ [39] 2. Шкала оцінки рівня адекватності: $K_a > 2$ – екстримально занижений; $-0,4 \div -1$ – неістотно занижений; $0 \div \pm 0,3$ – оптимальний; $0,4 \div +1$ – неістотно завищений; $+1 \div +2$ – істотно завищений; $> +2$ – екстримально завищений.

Наведені розрахунки свідчать про неістотно занижений за органічної системи удобрення й оптимальний у мінеральній та органо-мінеральній системах рівень адекватності продуктивності ріллі.

Отже, критерієм раціонального вибору варіантів систем удобрення мають стати досягнення біокліматично, економічно й екологічно

обґрунтованої продуктивності ріллі, забезпечення розширеного відтворення родючості ґрунту, що виступає запорукою стабільного розвитку сільського господарства.

Об'єктивною вимогою до сучасних технологій у землеробстві залишається показник стабільності галузі. Стабільність землеробства розраховується за формулою:

$$C_{\%} = 100 - \frac{S \times 100}{\bar{x}}, \quad (8.1)$$

де $C_{\%}$ – стабільність землеробства;

S – стандартне відхилення;

\bar{x} – середній показник за період спостережень.

За шкалою оцінки стабільності землеробства, якщо $C_{\%} \geq 90 \%$ – стабільність висока, $C_{\%} 80 \div 90 \%$ – середня, $C_{\%} < 80 \%$ – низька.

Найвищою стабільністю характеризувалися вирощування люцерни, пшениці озимої, ячменю, де $C_{\%}$ середньому за системами удобрення становив 87% – середня стабільність (дод. Е.1). Низькою стабільністю супроводжувалося вирощування соняшнику. Серед систем удобрення найвищою стабільністю в середньому у сівозміні відзначилася варіанти мінеральної та органо-мінеральної відповідно із показниками стабільності $86,8$ і $86,5 \%$. Варіант без застосування добрив знаходився на нижчому рівні стабільності – $84,1 \%$.

Серед систем основного обробітку ґрунту істотної різниці стабільності не відзначено, за середнього рівня $85,7 \%$.

7.3. Якість продукції

Серед критеріїв оцінки ефективності систем удобрення й обробітку ґрунту одним із найважливіших вважають їхній вплив на якість сільськогосподарської продукції. Якість сільськогосподарської продукції – це комплексний показник, який включає вміст різноманітних органічних сполук, насамперед білків, вуглеводів, жирів і вітамінів, характеризуючи її

поживну цінність, а також збалансованість за макро- і мікроелементами, технологічну якість продукції [271, 374].

Слід зазначити, що застосування добрив далеко не завжди супроводжується поліпшенням цих показників. Численні результати досліджень свідчать, що незбалансоване внесення добрив може істотно погіршити якість харчових продуктів, технологічні показники сировини під час її переробки і кормів для тваринництва. В Україні та за кордоном накопичено великий експериментальний матеріал, який дозволяє об'єктивно оцінити вплив видів і форм добрив на якість врожаю окремих культур у різних ґрунтово-кліматичних зонах.

Для отримання високоякісної продукції необхідно впродовж усього вегетаційного періоду забезпечувати вирощувані культури поживними елементами в оптимальній кількості, а також на високому рівні підтримувати біологічну активність ґрунту, поліпшувати його водно-фізичні властивості [146, 222].

На переконання Е. Г. Дегодюк, В. Ф. Сайко, М. С. Корнійчук [70], запорукою одержання якісних урожаїв є не відмова від застосування мінеральних добрив, а оптимальне мінеральне живлення рослин. Досягти ж оптимізованого живлення рослин в альтернативному землеробстві проблематично. На думку В. Г. Мінеєва [317], більш-менш успішно без застосування мінеральних добрив можна розв'язати лише проблему азоту. Забезпечення ж сільськогосподарських культур фосфором, калієм, мікроелементами без використання відповідних видів мінеральних добрив неможливе. Саме наслідком неповноцінного мінерального живлення рослин в альтернативному землеробстві є істотні (до 30 % порівняно з традиційним землеробством) зниження урожайності сільськогосподарських культур.

Сутність сучасного землеробства полягає в поліпшенні родючості ґрунтів і нарощуванні виробництва високоякісної екологічно чистої продукції рослинництва для збереження здоров'я нації та її генофонду.

Пшениця озима. Система удобрення являє собою один із найефективні-

ших заходів підвищення врожайності та поліпшення якості зерна пшениці озимої [116, 167, 211].

Ефективність добрив помітно залежить від рівня забезпечення ґрунту поживними речовинами, попередника та особливостей сорту [451]. За даними географічної мережі дослідів на чорноземі типовому вилугуваному ефективними дозами мінеральних добрив під пшеницю озиму в ланці сівозміни з вико-вівсом на зелений корм є $N_{30-40}P_{40-60}K_{40}$, кукурудзою на силос $N_{60}P_{40}K_{40}$; на чорноземах опідзолених – відповідно $N_{40-60}P_{60}K_{60}$ та $N_{80-90}P_{45-60}K_{60-80}$ [374].

Підвищення врожайності та поліпшення якості зерна пшениці озимої помітно залежить від азотного живлення. Високі дози азотних добрив в основне удобрення зумовлюють інтенсивний розвиток пшениці озимої в осінній період, пригнічують синтез цукрів та погіршують її перезимівлю. Тому В. М. Макаренко [276] вважає, що в основне удобрення цієї культури необхідно вносити невелику кількість азотних добрив, переважно на ґрунтах з низьким рівнем родючості та за вирощування її після не бобових попередників. Ефективніше на посівах пшениці озимої застосування азоту весною у 2–3 позакореневі підживлення. Про необхідність зменшення дози азотних добрив за вирощування пшениці озимої після конюшини відзначилося в дослідженнях В. Ф. Ефремова, Н. А. Курмишева, Н. П. Трофімова, [152], В. Ф. Сайко [432].

Азотне живлення має істотний вплив на якість та харчову цінність зерна пшениці озимої, зокрема підвищення в ньому вмісту білка, сирогої клейковини та крохмалю. Дослідження Н. М. Герасимова [97] свідчать, що білковість зерна пшениці залежить, передусім, від оптимального забезпечення її азотом, фізіологічно обґрунтованих доз фосфорних та калійних добрив, післядії органічних добрив та сівозмінного чинника. Вирощування пшениці озимої на чорноземі типовому вилугуваному без внесення добрив забезпечило вміст клейковини в зерні 27,7 %, за дози добрив $N_{30} P_{55} K_{45}$ – 28,3 %; дози $N_{60} P_{110} K_{90}$ – 33,2 %.

Висока врожайність та якість зерна пшениці озимої забезпечується у польовій сівозміні за органо-мінеральної системи удобрення [166].

За даними досліджень Л. А. Барштейна, І. С. Шкаредного, В. М. Якименка [28] внесення органічних добрив під просапні культури супроводжується тривалою післядією, здатною підвищувати продуктивність культур упродовж 6–8 і навіть більше 10 років. Ефективність післядії органічних добрив при цьому значно залежить від фізіологічних особливостей культур, типу ґрунту та умов зволоження.

Основним резервом підвищення врожайності та поліпшення якості зерна слугує максимальне використання біоенергетичного потенціалу ґрунту, агроекологічних умов і генетичних властивостей сортів та гібридів. Найвища продуктивність, як і найвища якість зерна, досягаються за оптимального співвідношення регульованих (сорт, агротехніка, добрива, заходи захисту рослин від бур'янів, шкідників і хвороб, збирання врожаю і т. п.) і нерегульованих (сонячна радіація, температура, опади та ін.) чинників на всіх етапах росту та розвитку рослин.

З урахуванням чинників, які позитивно або негативно впливають на врожай, можна значною мірою зменшити негативний вплив метеорологічних умов і цілеспрямовано використовувати чинники, що може контролювати і якими керувати людина. На кожному етапі свого розвитку рослини потребують відповідних співвідношень умов середовища і чим ближчі ці співвідношення до оптимальних параметрів, тим вірогідніші передумови високої продуктивності та доброї якості зерна [462].

У стаціонарному досліді вивчали якісні показники урожаю пшениці озимої залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту.

Встановлено, що на якість зерна пшениці істотно впливали системи удобрення та меншою мірою варіанти основного обробітку ґрунту (табл. 7.8).

Фізичні показники зерна пшениці озимої (маса 1000 зерен, натура і скловидність) змінювалися більшою мірою залежно від систем удобрення, ніж від варіантів обробітку ґрунту.

Таблиця 7.8

Якість зерна пшениці озимої залежно від системи удобрення і обробітку ґрунту

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Маса 1000 зерен, г	Білок, %	Вміст клейковини, %	Якість клейковинни, од. ІДК	Натурна маса, г/л	Число падіння, с	Скловидність
Без добрив	Диференційований (контроль)	37,2	12,8	24,5	91,7	706	215,8	51,8
	Полицево-безполицевий	37,2	12,7	24,4	90,9	705,8	216,7	50,9
	Мілкий безполицевий	36,3	12,3	23,2	93,7	701,6	209,8	45,0
Органічна	Диференційований (контроль)	38,9	13,3	25,6	95,6	735,6	223,0	54,1
	Полицево-безполицевий	38,8	13,2	25,4	94,8	734,8	223,9	53,3
	Мілкий безполицевий	37,9	12,7	24,2	97,7	731,3	217,6	46,9
Органо-мінеральна	Диференційований (контроль)	40,2	14,4	28,7	95,6	740,9	228,4	59,3
	Полицево-безполицевий	40,4	14,3	28,3	96	741,8	227,8	58
	Мілкий безполицевий	39,4	13,8	26,9	96,9	737,8	220,5	51,7
Мінеральна	Диференційований (контроль)	40,3	14,8	30,6	97,5	744,1	235,5	66,8
	Полицево-безполицевий	40,5	14,6	30,0	98,2	743,8	233,0	66
	Мілкий безполицевий	39,6	14,1	29,8	94,8	740,4	226,9	59,6

<i>Продовження табл. 7.8</i>								
Середнє по системі удобрення	Без добрив	36,9	12,6	24	92,1	704,5	214,1	49,2
	Органічна	38,5	13,1	25,1	96	733,9	221,5	51,4
	Органо-мінеральна	40	14,2	27,9	96,2	740,2	225,5	56,3
	Мінеральна	40,1	14,5	30,1	96,9	742,7	231,8	64,2
Середнє по обробітку	Диференційований (контроль)	39,2	13,8	27,3	95,1	731,6	225,7	58,0
	Полицево-безполіцевий	39,2	13,7	27	95	731,6	225,4	57,1
	Мілкий безполіцевий	38,2	13,2	26,0	98,8	727,8	218,7	50,8
НІР ₀₅ A		0,57	0,58	0,37	0,96	3,84	2,31	1,48
НІР ₀₅ B		0,42	0,69	0,57	1,01	F _φ < F ₀₅	3,24	1,72

Найбільшою маса 1000 насінин була у зерні, вирощеному за мінеральної системи удобрення. Маса 1000 зерен за органо-мінеральної системи удобрення істотно не знижувалася порівняно з мінеральною системою. Гірші показники зафіксували за органічної системи удобрення та на варіанті без застосування добрив.

Варіанти обробітку ґрунту виявили певний вплив на масу 1000 зерен пшениці. Так, застосування полицево-безполицевого обробітку ґрунту істотно не впливало на масу 1000 зерен. Істотно знижувалося масу 1000 зерен на варіанті мілкого безполицевого обробітку ґрунту.

Натурна маса явля собою один із важливих фізичних показників зерна пшениці, що характеризує його якість. Натурна маса залежить від багатьох факторів: вологості, форми зерна, засміченості, пошкодження шкідниками. Високонатурне зерно краще виповнене, має більший вміст ендосперму, менше оболонки. За однакових умов із високонатурного зерна отримують більший вихід борошна.

Натурна маса зерна озимої пшениці вирощена за мінеральної і органо-мінеральної системи удобрення відповідала другому класу якості (згідно з ДСТУ 3768–10 не менше 740 г/л) і становила 740,2–742,7 г/л (див. табл. 7.8, дод. Ж.1 – дод. Ж.3).

Варіанти обробітку ґрунту істотно не впливали на натурну масу зерна пшениці озимої, різниця між варіантами знаходилася в межах похибки дослідів. Істотно натурна маса зерна пшениці знижувалася за органічної системи удобрення.

Скловидність зерна, як показника первинної оцінки якості, змінювався у такій же закономірності як і попередні показники, однак був дещо помітнішим. На варіантах мілкого безполицевого обробітку ґрунту відзначено істотне зменшення цього показника, що пояснюється зниженням агрофізичних та агрохімічних показників родючості ґрунту. На варіанті полицево-безполицевого обробітку ґрунту скловидність зерна пшениці знаходилася на одному рівні із контролем.

Найціннішою частиною зерна є білок, тому його вміст являє собою дуже важливий показник якості. Оцінюючи якість зерна озимої пшениці дуже часто враховують вміст клейковини. Високий її вміст і фізичні властивості зумовлюють добрі хлібопекарські показники борошна.

Високий урожай зерна з підвищеним вмістом білка отримують за переваги фосфору над азотом. У цьому разі відбувається порушення фосфорного обміну і знижується вміст білка в зерні [44]. Досліджування показують, що якість зерна пшениці озимої вища за внесення мінеральних добрив, або за поєднання їх з гноєм порівняно із внесенням тільки органічних добрив [429].

У зерна пшениці озимої, одержаного за застосування мінеральної та органо-мінеральної систем, вміст білка перевищував 1,4–3,5 %, що дало можливість віднести зерно за цим показником до першого класу. У зерна, одержаного за органічної системи, вміст білка становив 13,1 %. Згідно з ДСТУ 3768–2010 таке зерно належить до другого класу. Це пов'язано із низькою забезпеченістю елементами живлення за органічної системи удобрення.

Вміст білка на варіантах полицево-безполицевого та диференційованого обробітку ґрунту знаходився на одному рівні. Застосування мілкового безполицевого обробітку ґрунту зумовило зниження на 4,3 % вмісту білка у зерні пшениці порівняно з контролем. Достатня кількість азоту в ґрунті та поліпшення умов живлення пшениці на варіантах диференційованого і полицево-безполицевого обробітків ґрунту позитивно позначилися на процесах формування білка у зерні.

Визначальним показником якості зерна пшениці слугує кількість і якість сирої клейковини, які забезпечують у процесі приготування хліба добрі його властивості як органолептичні, так і фізико-хімічні.

За мінеральної системи удобрення зерно формувалося з вищим вмістом клейковини порівняно до органо-мінеральної та органічної систем. У зерні

пшениці, вирощеної за органічної системи удобрення, містилося 25,1 %, на варіанті без застосування добрив 24 % клейковини.

За мілкового безполицевого обробітку ґрунту вміст клейковини у зерні пшениці істотно знижувався на 4,7 % порівняно до контролю. Істотно вищий вміст клейковини у зерні пшениці озимої спостерігали за диференційованого та полицево-безполицевого обробітку ґрунту.

Показники числа падіння зерна пшениці озимої за мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення досить високій і знаходилися в межах 225–231с, що дозволяє віднести зерно до першого класу якості. Число падіння було істотно вищим у зерна пшениці за диференціального та полицево-безполицевого обробітків ґрунту.

Проведеними дослідженнями встановлено істотний прямолінійний зв'язок між внесеною дозою мінеральних добрив і якісними показниками пшениці озимої (табл. 7.9).

Таблиця 7.9

Кореляційні зв'язки між якісними показниками зерна озимої пшениці та її технологічними показниками

X	Y	Коефіцієнт кореляції	Рівняння регресії
Маса 1000 зерен	Доза мінеральних добрив	$r=0,85\pm0,16$	$Y=37,7+0,009X$
Білок, %	—//—	$r = 0,92\pm0,12$	$Y=12,8+0,006X$
Вміст клейковини, %	—//—	$r = 0,93\pm0,12$	$Y=24,5+0,017X$
Натура зерна, г/л	—//—	$r = 0,72\pm0,22$	$Y=719,2+0,084X$
Число падіння, с	—//—	$r = 0,77\pm0,20$	$Y=217,6+0,042X$
Скловидність, %	—//—	$r = 0,78\pm0,19$	$Y=50,1+0,039X$

Застосування мінеральних добрив за мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення з урахуванням хімічного складу ґрунту зумовлює значне поліпшення якості і технологічної переваги зерна пшениці озимої.

Технологічна якість *буряків цукрових* визначається комплексом фізіологічних, хімічних і фізичних особливостей, які впливають на хід технологічних процесів цукроваріння, характер та розміри витрат цукру під час його виробництва [498]. Заводський вихід цукру з коренеплодів, доброї

якості, нормально очищеного соку, мелясоутворюючого коефіцієнта, вмісту в коренеплодах кондуктометричної золи, альфа-амінного азоту, калію та натрію [46].

З агротехнічних заходів найефективніше на технологічні якості коренеплодів впливають мінеральні добрива. Застосування високих норм мінеральних добрив призводить до зменшення вмісту цукру, знижує доброякісність нормально очищеного соку, підвищує вміст кондуктометричної золи в коренеплодах, що супроводжується підвищеними витратами цукру в процесі його виробництва [155].

Дослідження Ю. А. Тонкаля, Н. К. Шиманської [486] свідчать, що застосування збалансованих за елементами живлення доз мінеральних добрив сприяє поліпшенню технологічних якостей коренеплодів. Внесення фосфорних і калійних добрив посилює синтез цукрів у листках, сприяє накопиченню їх у коренеплодах, знижує вміст альфа-амінного азоту, підвищує доброякісність нормально очищеного соку [333].

Одержані результати щодо показників якісних коренеплодів буряків цукрових наведена в табл.7.10.

Накопичення сухої речовини в коренеплодах буряків цукрових істотно не відрізнялася на варіантах досліджу.

За внесення мінеральних добрив в нормі $N_{120}P_{120}K_{150}$ кг/га за мінеральної системи удобрення під буряки цукрові цукристість коренеплодів істотно зменшується в середньому на 11,4 % порівняно з органічною системою.

Внесення мінеральних добрив у нормі $N_{40}P_{50}K_{60}$ кг/га за органо-мінеральної системи сприяло підвищенню цукристості коренеплодів буряків цукрових на 7,4 %.

Підвищення норми калію в поживному середовищі значною мірою активізує цукросинтези і спрямовує синтез цукрози, що в кінцевому результаті забезпечує отримання коренеплодів із більшою масою й вищою цукристістю [363].

Показники якості коренеплодів буряків цукрових (2014–2016 рр.)

Система удобрення, А	Варіант обробітку грунту, В	Вміст цукру, %	Вміст сухої речови- ни, %	Техно- логічна якість, %	Добро- якісні- сть соку, %
Без добрив	Диференційований (контроль)	18,4	18,0	16,0	84
	Полицево- безполицевий	18,5	18,1	16,8	85
	Мілкий безполицевий	17,9	16,8	15,0	82
Органічна	Диференційований (контроль)	18,3	20,4	16,3	86
	Полицево- безполицевий	18,6	20,2	17,2	89
	Мілкий безполицевий	17,5	19,3	15,4	85
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	17,7	20,2	14,6	82
	Полицево- безполицевий	17,7	20,4	14,5	81
	Мілкий безполицевий	16,8	20,0	12,4	76
Мінеральна	Диференційований (контроль)	16,2	20,1	12,5	76
	Полицево- безполицевий	16,8	19,4	14,7	85
	Мілкий безполицевий	15,7	19,5	11,4	73
НІР05А		0,42		0,40	0,77
НІР05В		0,53		0,51	0,94

За спільного внесення мінеральних і органічних добрив під буряки цукрові цукристість зростала на 0,6–0,7 % [37].

Таке явище П. А. Власюк і П. З. Лісовал [73] пояснюють відповідною зміною у співвідношенні сполук азоту, фосфору і калію як у ґрунті, так і у рослинах за спільного застосування органічних і мінеральних добрив. Це

пов'язують з усуненням негативного впливу високої концентрації солей, які утворюються за внесення мінеральних добрив у високих нормах [485].

На варіанті органічної системи удобрення, де вносили лише органічні добрива (компост 15 т, сидеральна маса післяжнивних культур + побічна продукція пшениці озимої) цукристість коренеплодів істотно збільшилася порівняно з мінеральною системою.

Аналогічні дані щодо цукристості буряків цукрових одержав В. М. Половені [389], який зазначав, що найвища цукристість коренеплодів була на варіанті з органічною системою удобрення на основі гною.

Варіанти обробітку ґрунту суттєво не позначилися на вмісті цукру в коренеплодах, а застосування мілкового безполицевого обробітку ґрунту під буряки зумовило зниження цукристості в коренеплодах.

Технологічна якість цукрових буряків характеризується комплексом фізіологічних, хімічних і фізичних особливостей, які визначають хід технологічних процесів цукроваріння, характер і розміри витрат цукру, його вихід і якість [513].

Кожний елемент мінерального живлення по-своєму впливає на технологічну якість буряків цукрових – може її або поліпшувати, або погіршувати. На відміну від азоту, для фосфору і калію притаманна здатність підвищувати якість коренеплодів.

Найістотніше зниження технологічної якості соку спостерігали за застосування мінеральної системи удобрення, що становило 19,4 % порівняно з варіантом без застосування добрив. Органічна система удобрення значною мірою підвищувала технологічну якість соку у коренеплодах буряків цукрових (табл. 7.10)

Дослідження показали, що за вирощування коренеплодів буряків цукрових за мінеральної системи удобрення доброякісність нормально очищеного соку знижується.

На варіанті органо-мінеральної системи удобрення доброякісність

очищеного соку підвищувалася порівняно з мінеральною на 1,8 %. Вміст доброякісного соку на варіанті без внесення мінеральних добрив істотно вищий порівняно з варіантами із їх внесенням.

Таблиця 7. 11

Кореляційні зв'язки між якісними показниками коренеплодів буряків цукрових і факторами екологічного середовища

Х	У	Коефіцієнт кореляції	Рівняння регресії
Цукристість, %	Урожайність буряків цукрових	$r = -0,61 \pm 0,25$	$Y = 19,40 - 0,039X$
Доброякісність очищеного соку, %	—//—	$r = -0,42 \pm 0,29$	$Y = 88,5 - 0,133X$
Технологічна якість, %	—//—	$r = -0,56 \pm 0,26$	$Y = 18,07 - 0,068X$
Цукристість, %	Мінеральні добрива	$r = -0,85 \pm 0,16$	$Y = 18,25 - 0,008X$
Доброякісність очищеного соку, %	—//—	$r = -0,70 \pm 0,22$	$Y = 85,13 - 0,035X$
Технологічна якість, %	—//—	$r = -0,81 \pm 0,18$	$Y = 16,18 - 0,015X$
Цукристість, %	Органічні добрива	$r = -0,37 \pm 0,29$	$Y = 18,008 - 0,118X$
Доброякісність очищеного соку, %	—//—	$r = -0,30 \pm 0,30$	$Y = 84,06 - 0,486X$
Технологічна якість, %	—//—	$r = -0,43 \pm 0,28$	$Y = 15,86 - 0,26X$

Застосування мілкового безполицевого обробітку ґрунту призводило до значного зниження вмісту доброякісного соку на 1,2–7 % порівняно з контролем, що зумовлено підвищеним вмістом сполук мінерального азоту ґрунту на цих варіантах.

Застосування полицевого обробітку ґрунту під буряки цукрові підвищувало доброякісність очищеного соку на 3,5 %

У досліді відзначено середній кореляційний зв'язок між урожайністю коренеплодів буряків цукрових та їх якісними показниками (табл. 7.11).

Кореляційними зв'язками доведено, що зниження маси урожаю коренеплодів супроводжується підвищенням вмісту в них цукру. Істотний обернений кореляційний зв'язок відмічено між внесеними мінеральними добривами і якісними показниками коренеплодів. Обернений неістотний кореляційний зв'язок встановлено між внесенням органічних добрив на варіантах дослідів і цукристістю, технологічною якістю, доброю якістю соку у коренеплодах буряків цукрових.

Отже, за застосування під буряки цукрові мінеральних добрив у дозі $N_{120} P_{120} K_{150}$ на фоні 4,5 тон на 1 га сівозмінної площі компосту знижується цукристість, доброякісність нормально очищеного соку та технологічна якість соку.

Висновки до розділу 7

1. Найвищу продуктивність сівозміни забезпечив варіант полицево-безполицевого обробітку ґрунту (на 2,7 %) порівняно з контролем. Використання органо-мінеральної системи удобрення (8,8 т/га) призвело до несуттєвого зниження продуктивності культур сівозміни.
2. Застосування органічної системи удобрення призвело до істотного зниження продуктивності культур чотирирічної сівозміни.
3. Використання на варіанті органічної системи удобрення лише органічних добрив під буряки цукрові сприяє підвищенню цукристості, доброякісності нормально очищеного соку, позитивно впливає на технологічну якість коренеплодів.
4. Полицево-безполицевий обробіток ґрунту в сівозміні поліпшував якісні показники коренеплодів буряків цукрових.

Одержані результати досліджень опубліковані в наступних джерелах:

1. Центилю Л.В. Формування якості зерна пшениці озимої залежно від системи удобрення і обробітку ґрунту. Миронівський вісник. 2019. № 8. С. 152–162.

2. Танчик С. П., **Центи́ло Л. В.**, Цюк О. А. Вплив удобрення і обробітку ґрунту на урожайність культур сівозміни. Вісник аграрної науки. 2019. № 8. С. 11–16.

3. Центи́ло Л.В. Продуктивність сівозміни залежно від удобрення і обробітку ґрунту. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2019. Вип. 3 (103). С. 52–60.

4. Manko Yu. P., Tsyuk O. A., **Tsentulo L. V.**, Shemetun O. The methodology resource suggesrion with environmental criteria for rationality agricultural systems estimation. Ukrainian Journal of Ecology. 2019. Vol. 9. (1). P.121–126.

5. **Центи́ло Л. В.**, Волкогон В. В. Біологічні аспекти удобрення пшениці озимої. Новітні агротехнології: теорія та практика. Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 95–річчю ІБКіЦБ НААН. м. Київ, 11 лип. 2017 р. Київ, 2017. С. 51–52.

6. **Центи́ло Л. В.**, Кулинич Р. М., Сендецький В. М. Виробництво і застосування органо-дефекатних добрив в сучасних агротехнологіях. Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції Подільського ДАТУ. м. Кам'янець-Подільський, 25–26 квіт. 2016 р. Кам'янець-Подільський, 2016. С. 331–334.

7. Танчик С. П., **Центи́ло Л. В.**, Павлов О. С., Бабенко А. І. Екологічні проблеми землеробства України та шляхи їх вирішення. Актуальні проблеми розвитку аграрної освіти і науки та підвищення ефективності агропромислового виробництва: Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції. М. Одеса, 20–21 вересня 2018 р. Одеса, 2018. 19 с.

8. **Центи́ло Л. В.**, Паламарчук М. М., Кулинич Р. М., Колісник Н. М., Сендецький В. М., Гнидюк В. С. Спосіб виробництва органічних добрив «Мікроорганік» шляхом пришвидшеної аеробної ферментації: патент 106094 України. № у 201511541; заявлено 23. 11. 2015. опубліковано 11. 04. 2016. Бюл. № 7. 6 с.

РОЗДІЛ 8

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ОСНОВИ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ

Для України характерні різноманітні ґрунтово-кліматичні умови, що потребує диференційованого підходу до застосування добрив з урахуванням спеціалізації і рівня продуктивності сівозміни, властивостей, родючості ґрунту, особливостей клімату, що дасть змогу перейти до економічно збалансованих систем удобрення та значно підвищити окупність добрив.

Система удобрення, що являє собою комплекс агрохімічних і організаційних заходів, насамперед в сучасних умовах повинна забезпечувати раціональне застосування добрив з метою прогресуючого підвищення родючості ґрунту, урожайності сільськогосподарських культур, поліпшення якості продукції і підвищення продуктивності праці та охорони навколишнього природного середовища від забруднення. Відомо, що застосування добрив лише до певної межі підвищує продуктивність сільськогосподарських культур, оскільки ефективність кожної наступної їх дози зменшується. Водночас на деяких ґрунтах виникає необхідність внесення підвищених доз добрив з метою забезпечення оптимального вмісту в ґрунті того чи іншого елемента живлення. Наукову основу з питань розробки систем удобрення надають тривалі досліді.

Важливим питанням екологізації землеробства виступає спосіб відтворення ґрунтової родючості, навіть вихід на розширене відтворення родючості ґрунтів. Без вирішення цього питання відмова від хімізації може призвести до різкого зниження врожайності сільськогосподарських культур.

Теоретично обґрунтування екологізації землеробства ґрунтується на наступних положеннях:

- визначенні оптимального співвідношення між органічними і мінеральними добривами;
- значному посиленні біологічної активності ґрунту, коефіцієнтів гуміфікації компосту і рослинних залишків;

- визначенні вуглецево-азотного балансу (співвідношенні C:N) для утворення компосту.

Для виходу на розширене відтворення родючості ґрунтів необхідно застосовувати три групи заходів. До першої групи відносимо пошук резервів органічних добрив. Найреальніші з них – нетоварна частка врожаю: солома, стебла грубостебельних культур, гичка посівів сидеральних культур. Встановлено, що 1 т нетоварної частки врожаю може відповідати 3 т напівперепрілого гною.

До другої групи заходів можна віднести ті, що підвищують коефіцієнти гуміфікації органічних добрив. Це створення оптимальної реакції ґрунтового середовища для гуміфікації.

Третя група включає дотримання оптимального співвідношення між органічними та мінеральними добривами.

Дослідженнями доведено, що на інтенсивність гумусоутворення значною мірою впливає співвідношення між органічними та мінеральними добривами. Розширення цього співвідношення на понад як 1:15 тон органічних добрив на 1 кг діючої речовини мінеральних добрив призводить до затухання ґрунотвірного процесу, уповільнення гуміфікації і після досягнення співвідношення 1:20 т/кг – навіть до дегуміфікації ґрунтів. Причина такого впливу полягає в тому, що майже всі мінеральні добрива являють собою солі одновалентних катіонів (K^+ , NH_4^+ , Na^+), які диспергують гумус, приводять його в нерухомість у профілі ґрунту і він прискорено розкладається мікробами. Внесення органічних добрив забезпечує утворення в ґрунті органічних колоїдів, що гасять валентність одновалентних катіонів і закріплюють їх у ґрунті [580].

За мінеральної системи удобрення співвідношення між органічними і мінеральними добривами становить 1:40 т/кг д.р., за органо-мінеральної – 1:15.7 т/кг д.р., за органічної системи – 1:0 т/кг д.р.. Таке співвідношення називається коефіцієнтом екологізації органічного землеробства.

Таким чином, за органо-мінеральної системи удобрення докорінно змінюється ставлення до мінеральних та органічних добрив. Якщо в традиційному землеробстві удобрюються рослини, то за органічної системи удобрюється ґрунт, постачається енергетика для ґрунтотворного процесу в агроценозах, а вже ґрунт забезпечує рослини всіма необхідними факторами росту й розвитку [72, 336].

Між коефіцієнтами екологізації землеробства та гуміфікації органічних добрив існує прямий зв'язок – чим більший перший, тим вищий другий і тим швидше досягається розширене відтворення родючості. І навпаки: чим нижчий коефіцієнт екологізації землеробства, тим менше в ґрунті утворилося гумусу і зникає можливість виходу на його розширене відтворення.

У табл. 2.6 наведено розрахунок ресурсного забезпечення біокліматично обґрунтованої урожайності культур доступними формами елементів мінерального живлення в польовій сівозміні. Враховано всі надходження свіжої органічної речовини в ґрунт як джерела ґрунтотвірного процесу і компенсації азотної нестачі в ґрунті внесенням азотних добрив в аміачній формі.

Щорічно на 1 га землі з опадами потрапляє від 5 до 15 кг діючої речовини азоту, переважно в аміачній формі (NH_4OH), в якій об'єднані молекула аміаку і молекула води. Аміак утворюється внаслідок фізичного синтезу молекул водню й азоту під час грозових розрядів. Принцип такого синтезу молекул молекул водню й азоту в аміак у вольтовій воді (аналог грозового розряду) використовується всіма заводами України, які випускають азотні добрива [572].

Застосовуючи для компенсації азотної нестачі амонійної форми азотних добрив у найбільш напружений за наявністю азоту в ґрунті період, коли на площі всього поля розкладається знижена і розсіяна по полю мертва рослинна маса, дуже швидко перетворюємо амонійний азот в білковий азот мікробів, який після їх автолізу виходить у ґрунт, знову ж таки, в амонійній

формі (процес амоніфікації) і який потім процесом нітрифікації перетворюється в нітратну форму.

Свого часу К.А. Тімірязєв установив, що для рослин рухомий азот у формі нітратів і амонію рівноцінний. Внесенням соломи як добрива і компенсацією азотної нестачі в ґрунті аміачною формою азоту ми відходимо від канцерогенності мінеральних азотних добрив, інгібуємо процеси нітрифікації.

Нами підкреслюється важливість компенсації в ґрунті азотної нестачі. Землеробський закон повернення, сформульований у свій час Ю. Лібіхом, виконується в екологічному землеробстві переважно за рахунок розкладу рослинних залишків, в яких наявний азот, фосфор, калій та інші макро- і мікроелементи. Солома містить до 0,5 % азоту, 0,25 % фосфору, 0,8 % калію, 35–40 % вуглецю, а також мікроелементи. Використання їх при середній врожайності зернових повертає в ґрунт на 1 га 12–15 кг/га азоту, 7–8 фосфору і 20–24 кг/га калію.

Встановлено також, що відношення N до C у соломі становить 1:80–100 для різних зернових культур. У гумусі це співвідношення 1:20. Якщо додатковим внесенням мінерального азоту не знизити в соломі відношення до 1:20, при її перегниванні буде використано мінеральний азот ґрунту, що призведе посіви культур до азотного дефіциту, а також будуть загальмовані процеси гуміфікації з утворенням більшої кількості CO₂.

Із соломкою у ґрунт повертається 80 % винесеного рослинами калію та близько 20 % фосфору. Калій знаходиться в легкодоступній для рослин формі, більше половини фосфору в соломі злакових культур також представлено легкозасвоюваними формами.

Внесення азотної компенсації на залишену на полі соломку слугує пусковим механізмом до швидкого її перегнивання і звільнення поживних елементів. Швидкому перегниванню рослинних залишків за біологічного землеробства сприяє висока біологічна активність ґрунтів. В одному грамі ґрунту тут може бути до 1 млрд і більше мікробів, які дуже швидко

переробляють мертву органічну речовину, чим у 4–5 разів прискорюють малий біологічний кругообіг речовин і потоків енергії. В орному шарі на 1 га ріллі в колообігу задіяно 550–570 кг речовини NPK і мікроелементів, які висока біологічна активність звільняє майже щорічно. Із них до 70 кг д.р. відчужується з товарним урожаєм. За мінеральної системи удобрення згасанням біологічної активності знедіюються макро- і мікроелементи на 4–5 років, що призводить до нестачі рухомих елементів живлення.

За орнано-мінеральної та органічної систем удобрення ставиться питання про залучення в ґрунтотворний процес якомога більше органічної речовини. Результати проведених досліджень у цьому напрямі представлено у табл. 3.9. Внесення 4,5 т компосту на 1 га сівозмінної площі не дозволяє вийти на бездефіцитний баланс гумусу за застосування мінеральної системи удобрення. Внесення 4,5 т компосту та 3,5 т органічних добрив (нетоварна частина врожаю, сидеральна маса культур) за орнано-мінеральної системи, за органічної системи удобрення 4,5 т компосту і 3 т органічних добрив забезпечують вихід на бездефіцитний баланс гумусу у сівозміні (див. табл. 3.10).

Важливий фактор підвищення родючості ґрунту становлять посіви сидеральних культур на полях тоді, коли вони не знаходяться під основною культурою.

Застосування сидератів логічно впливає із виведеної закономірності: «Чим менше часу ґрунту вільний від рослин, тим менше від спрацьовується». Тому в теплий період року (у вегетаційний період) поля не повинні парувати. Вони мають бути зайняті посівами на сидеральні добрива. Ці добрива за своєю ефективністю прицінюються до напівперепрілого гною з коефіцієнтом 1,5.

Найпридатніші для сидерації редька олійна, гірчиця біла, ріпак озимий і ярий, суріпиця. У післяжнивних посівах найвищі врожаї забезпечує редька олійна і гірчиця біла. Урожайність сидеральних культур різко зростає, якщо їх підживити азотними добривами. За внесення аміачної селітри, яку

вважають потенційним канцерогеном, нітратний азот переводиться у неканцерогений біологічний азот.

Унаслідок виконання наукових досліджень з різними наповнювачами встановлено рівноцінність органічної маси будь-якого природного продукту, або антропогенних відходів для виробництва органо-мінеральних біоактивних добрив.

Біотехнологія перероблення органічних відходів гною ВРХ та інших тварин, відходів тваринництва, торфу, сапропелю, мулу ставків і озер, осаду очисних споруд та інших органічних відходів дозволяє одержувати високоефективні мікробіотрансформовані добрива, які успішно пройшли випробовування в польових дослідках.

Теоретичні основи виготовлення компосту. Компостування являє собою складну взаємодію між органічними речовинами, мікроорганізмами, вологою і киснем. Мікробна активність підсилюється за умов забезпечення необхідного рівня вологи і кисню. Крім кисню мікроорганізмам потрібні джерело азоту, фосфору, калію і мікроелементи. Ці речовини містяться в гної, різних відходах [18, 139].

Компостування – це динамічний процес, перебіг якого відбувається завдяки активності асоціації живих організмів різних родів і видів. Бактерії, актиноміцети, гриби, дріжджі, водорості, прості організми, вищі гриби, багатоніжки, черв'яки, терміти, павуки, жуки.

У процесі компостування беруть участь понад 2 тис. видів бактерій і близько 50 видів грибів.

Ці мікроорганізми поділяють на групи за температурними інтервалами:

- 1) Психрофіли (0–18 °C);
- 2) Мезофіли (20–40 °C)
- 3) Термофіли (понад 40 °C – до 80 °C)

У кінцевій стадії компостування, як правило, знаходяться термофіли. Кількість мікроорганізмів у компості становить 1 млн – 1 млрд на 1 грам. Гриби відіграють важливу функцію для деструкції целюлози.

Важливим фактором виступає температурний режим, оскільки гриби руйнуються за температури понад 50 °C [367].

Стадії та фактори компостування. Процес компостування доволі складний і має деякі особливості, що необхідно враховувати фахівцям і їх чітко дотримуватись. Адже невиконання або порушення таких може призвести до небажаних результатів. Технологічно процес компостування включає певні фази:

Фаза 1. Розпочинається після внесення мікроорганізмів. Перед цим необхідно підготувати бурт і через два тижні вносити мікробну масу (тобто розігріти бурт двотижневим витриманням). Розщеплення органічних речовин розпочинається в цю фазу, але загальна кількість мікроорганізмів ще невелика.

Фаза 2. Розпочинається активне розкладання субстрату. Кількість мікрофлори збільшується за рахунок мезофільних організмів. Ці мікроорганізми розщеплюють компоненти (цукри, прості білки), запаси таких речовин зменшується, мікроорганізми розпочинають розщеплювати більш складні молекули органічних речовин.

Фаза 3. Характеризується підвищенням температури, внаслідок мікробного метаболізму термофіли витісняють мезофілів. За умов досягнення 55°C патогенні мікроорганізми людини і рослини гинуть. Завдяки високій температурі відбувається процес пришвидшеного розкладання білків, жирів, складних вуглеводів, температура поступово знижується.

Фаза 4. У компостному бурті температура знижується до 20–25°C, при цьому утворюються органічні комплекси, стійкі до подальших розщеплень, і мають назву – гумінові кислоти, або гумус [407, 450].

Фактори компостування. Процес компостування можна пришвидшити, якщо контролювати рівень рН, вологість, температуру, співвідношення вуглецю і азоту, розміри твердих часток, розміри і форму кожного бурта.

Співвідношення вуглецю і азоту в деяких субстратах. Для утворення компосту важливе значення має вуглецево-азотний баланс (співвідношення C:N). Він являє собою відношення маси вуглецю до маси азоту. Кількість необхідного вуглецю значно перевищує кількість азоту. Контрольне значення цього співвідношення під час компостування становить 30:1 (30 г вуглецю на 1 г азоту). Оптимальним є співвідношення C:N, із показниками 25:1. Чим більше вуглецево-азотний баланс відхиляється від оптимального, тим повільніший перебіг процесу.

Якщо у твердих відходах наявних велика кількість вуглецю у зв'язаній формі, то допустиме вуглецево-азотне співвідношення може перевершувати 25:1. Перевищення цього співвідношення призводить до окиснення надлишкового вуглецю. Якщо цей показник значно перевищує вказане значення, доступність азоту зменшується і мікробний метаболізм поступово згасає. Якщо співвідношення менше за оптимальне значення, яке буває в активному мулі або гної, то азот виділятиметься у вигляді аміаку, часто у великій кількості. Втрата азоту внаслідок вивітрювання аміаку може бути частково зупинена завдяки активності азотфіксуючих бактерій, які з'являються в основному за мезофільних умов на пізніх стадіях біодеградації.

Основним шкідливим ефектом дуже низького співвідношення C:N є втрата азоту внаслідок утворення аміаку і його подальшого вивітрювання. Втрата аміаку стає найвідчутнішою за високоінтенсивних процесів компостування, коли підвищується ступінь аерації, створюються термофільні умови і рН досягає 8 і більше. Таке значення рН сприяє утворенню аміаку, а висока температура пришвидшує його вивітрювання.

Невизначена кількість втрати азоту робить складним визначення потрібного почасткового значення C:N, але на практиці його рекомендують дотримуватися в межах 25:1–30:1. За низького значення цього співвідношення втрата азоту у формі аміаку може бути частково пригнічена додаванням залишків фосфатів (суперфосфату).

У процесі компостування відбувається значне зменшення співвідношення C:N у кінцевому продукті від 30:1 до 20:1. Співвідношення C:N постійно звужується, бо під час використання вуглецю мікробами 2/3 його частини витісняється в атмосферу у вигляді вуглекислого газу. Решта 1/3 частини разом з азотом включається до складу мікробної біомаси [263].

Оскільки під час формування компостного бурта не практикують зважування субстрату, суміш готують у рівних пропорціях «зеленого і коричневого» компонентів. Регулювання співвідношення вуглецю й азоту ґрунтується на якості і кількості того чи іншого виду відходів, які використовуються для закладання бурта. Тому компостування вважають одночасно мистецтвом і наукою.

Існує кілька способів розрахунку співвідношення вуглецю до азоту. Нижче пропонується найпростіший спосіб, в якому за зразок береться гній. В органічних речовинах напівперепрілого і перепрілого гною міститься приблизно 50 % вуглецю. Знаючи це, а також зольність гною і загальну кількість у ньому азоту в перерахунку на суху речовину, можна визначити співвідношення C:N за формулою:

$$C:N = ((100 - A) \times 50) / (100 \times X),$$

де А – зольність гною, %;

(100 - А) – склад органічних речовин, %;

Х – склад загального азоту з розрахунку на абсолютну суху масу гною, %.

Наприклад, якщо зольність А = 30 %, а склад загального азоту в гної становить 2 %, тоді $C:N = ((100 - 30) \times 50) / (100 \times 2)$.

Використання поживних речовин і добавок. Крім указаних вище речовин, необхідних для росту й розмноження мікроорганізмів, – основних деструкторів органічних відходів, для збільшення швидкості компостування застосовують різні хімічні, рослинні й бактеріальні добавки, за винятком необхідної потреби додаткового азоту. Більшість відходів містять усі необхідні поживні речовини і широкий спектр мікроорганізмів, що робить їх

доступним для компостування.

Очевидно, що початок термофільної стадії можна пришвидшити поверненням деякої кількості готового компосту до системи.

Носії (деревна стружка, солома, тирса та ін.) необхідні для підтримання структури і забезпечення процесу аерації під час компостування таких відходів як сирий активний мул і гній [407, 367].

Значення кислотності для процесу компостування. рН середовища – це є найважливіший показник «здоров'я» компостного бурта. Як правило, рН побутових відходів у другій фазі компостування сягає 5,5 - 6,0. Фактично ці значення рН слугують індикатором того, що процес компостування розпочався, тобто вступив у лаг-фазу. Рівень рН вимірюють активністю кислотоутворюючих бактерій, які розщеплюють складні вуглеутворюючі субстрати (полісахариди і целюлозу) до простих органічних кислот.

Значення рН також підтримується ростом грибів та актиноміцетів, які розщеплюють лігнін в анаеробному середовищі. Бактерії та інші мікроорганізми (гриби й актиноміцети) неоднаково розщеплюють геміцелюлозу і целюлозу. Мікроорганізми, які продукують кислоти, можуть також утилізувати їх єдине джерело харчування. Кінцевим результатом є зростання рН до 7,5 - 9,0. Проби контролю рН сполук сірки неефективні й нецілеспрямовані. Тому важливіше управління аерацією контролю за анаеробних умов, що розпізнають за ферментацією і гнилим запахом.

Значення рН для процесу компостування визначають тим, що більшість мікроорганізмів, як і безхребетні, не можуть виживати в дуже кислому середовищі. Проте, рН, як правило, контролюють природним шляхом (карбонатна буферна система). При цьому потрібно мати на увазі, якщо коригувати рН шляхом нейтралізації кислот лугом, то це призведе до утворення солі, що може викликати негативну дію на «здоров'я» бурта. Компостування легко відбувається за значення рН = 5,5 – 9,0, але найефективніше – за рН 6,5 – 9,0.

Важливою вимогою щодо усіх компонентів, залучених до компосту-

вання, є низька кислотність або низька лужність на початковій стадії. Разом із тим зрілий компост повинен мати значення рН, близьке до нейтрального (рН 6,8 – 7,0). У випадку, якщо фаза компостування переходить в анаеробну, нагромадження кислоти може призвести до стрімкого зменшення рН – до 4,5 і значного пригнічення мікробної активності. За таких умов аерація стає тим рятівним колом, яке поверне рН до доступних значень.

Аерація субстрату. Компостування за нормальних умов являє собою аеробний процес. Це означає, що для метаболізму і дихання мікробів необхідний кисень. У перекладі з грецького *aero* – означає повітря, а *bios* – життя. Мікроби використовують кисень частіше за інших окиснюючих агентів, оскільки за його участю перебіг реакції у 19 разів енергійніший. Ідеальною вважається концентрація кисню в порах становить 15–20 %, що рівноцінно його вмісту в атмосфері повітря. Концентрація вуглекислого газу варіює у діапазоні 0,5–5,0 %.

У процесі компостування концентрація кисню зменшується, тоді як вуглекислого газу – зростає.

Якщо концентрація кисню зменшується нижче 5 %, настають анаеробні умови. Контроль вмісту кисню на виході корисний для регулювання режиму компостування. Найпростіший спосіб такого контролю – запах, оскільки саме він під час розкладання свідчить про початок анаеробного процесу. Оскільки анаеробна активність характеризується неприємним запахом, то припускають невелику концентрацію речовин з поганим запахом. Компостна купа діє як біофільтр, що уловлює та знешкоджує компоненти з неприємним запахом.

Деякі компостні системи здатні пасивно підтримувати адекватну концентрацію кисню через природну дифузію і конвекцію. Інші системи потребують активної аерації, яка забезпечує продукування повітря або перевертання і змішування компостного субстрату. Під час компостування таких, відходів, як сирий активний мул та гній, для підтримання структури, що забезпечує аерацію, зазвичай використовують носії (деревна стружка, солома, тирса та ін.).

Аерацію можна здійснювати природною дифузією кисню в компостну масу перемішуванням компосту вручну або за допомогою механізмів штучної аерації. Аерація має й інші функції в процесі компостування. Потік повітря видаляє діоксин вуглецю і воду, що утворюються в процесі життєдіяльності мікроорганізмів, а також відводить тепло завдяки його перенесенню під час випаровування. Потреба у кисні змінюється впродовж перебігу процесу: вона низька на мезофільній стадії, зростає до максимуму на термофільній і спадає до нуля під час стадії охолодження і дозрівання.

Під час природної аерації центральні ділянки компостної маси можуть виявитися в умовах анаеробіозу, оскільки швидкість дифузії занадто низька для перебігу метаболічних процесів. Якщо матеріал, який утворює компост, має анаеробні зони, то може виникнути масляна, оцтова і пропіонова кислоти. Однак кислоти в найближчий час використовують бактерії як субстрат, з утворенням аміаку починає підвищуватися рівень рН. У таких випадках перемішування вручну або за допомогою механізмів сприяє проникненню повітря до анаеробної поверхні, необхідної для біодеградації. Управління процесом перемішування забезпечує перероблення більшої частини сировини за термофільних умов. Надмірне перемішування призводить до охолодження і висихання компостної маси, до розривів міцелію актиноміцетів і грибів. Перемішування компосту в купах може бути занадто витратним з точки зору використання машин і ручної праці. Саме тому частота перемішування являє собою компроміс між економічністю і потребою процесу. При застосуванні установок для компостування рекомендують чергувати періоди активного перемішування з періодами без перемішування.

Вологість компосту. Для життєдіяльності мікроорганізми в компості мають бути забезпечені водою. Розкладання компостної маси відбувається набагато швидше в тонких рідких плівках, утворених на поверхні органічних частин. Так, 50–60 % вологи вважається оптимальною для втілення процесу компостування, але за використання носіїв можливі й великі значення.

Оптимальне значення вологи варіює і залежить від природи та розміру частинок. За вмісту вологи менше 30 % процеси життєдіяльності пригнічуються, а за вологості 20 % вони можуть зовсім припинитися. Вологість понад 50–60 % перешкоджає дифузії повітря в купу, що значно зменшує деградацію і супроводжується неприємним запахом. За умов значного перезволоження порожнини в структурі компосту заповнені водою, котра обмежує доступ кисню до мікроорганізмів.

Вода утворюється в процесі компостування за рахунок мікроорганізмів і втрачається під час випаровування. У випадку застосування примусової аерації втрата води може бути значною і виникає необхідність додаткового внесення води до компосту. Цього можна досягти поливанням водою або додаванням активного мулу та інших рідких відходів.

Температура субстрату. Температура слугує показником нормального перебігу процесу компостування. Температура в компостному бурті починає підніматися через кілька годин з моменту закладання субстрату і змінюється залежно від стадії компостування: мезофільна, термофільна, охолодження, дозрівання. На початку процесу відходи перебувають за температури навколишнього середовища, рН у них слабо кисле. На початковій мезофільній стадії мікроорганізми, наявні у відходах, починають швидко розмножуватись, температура підвищується до 42°C і середовище підкислюється за рахунок органічних кислот. Зі збільшенням температури понад 40°C гинуть початкові мезофіли, на зміну яким приходять термофіли. Це супроводжується зростанням температури до 60°C, за якої гриби втрачають свою активність. За температури понад 62°C процес продовжують спороутворюючі бактерії та актиноміцети, рН стає лужним за рахунок виділення аміаку під час розкладання білків. На стадії термофільної фази легкокорозивні органічні речовини — цукор, крохмаль, жири, білки швидко засвоюються і швидкість реакції починає спадати після того, як до неї потрапляють більш стійкі субстрати. При цьому швидкість виділення тепла дорівнює швидкості втрати тепла, що відповідає досягненню температурного

максимуму. Після цього компост вступає на стадію охолодження. У деяких випадках (частина старих відходів) може бути кілька температурних максимумів. У цій точці купи компосту настає стабільна відповідність. Легкодоступні сполуки уже розклались, основна потреба кисню забезпечена, компостний матеріал перестає приваблювати мух, паразитів і неприємно пахнути, оскільки легкодоступні азот та сірка зв'язані новими мікроорганізмами.

На стадії охолодження, яка настає після температурного максимуму, рН повільно спадає, але середовище лужне. Термофільні гриби із більш холодних зон знову охоплюють увесь об'єм і разом з актиноміцетами поглинають полісахариди, геміцелюлозу і целюлозу, розкладаючи їх до моносахаридів, які пізніше можуть бути утилізовані широким спектром мікроорганізмів. Швидкість виділення тепла дуже слабка і температура спадає до температури навколишнього природного середовища.

На перших трьох стадіях компостування відбувається доволі швидко (за дні або тижні), залежно від використання технології компостування. Завершальна стадія компостування – дозрівання, упродовж якої втрата маси і виділення тепла незначні, тривають декілька місяців. На цій стадії відбуваються складні реакції між залишками лігніну з відходів і білків відмерлих мікроорганізмів, що призводять до утворення гумінових кислот. Компост не зігрівається, в ньому перебігають анаеробні процеси під час зберігання, він не поглинає азот із ґрунту за його внесення (процес іммобілізації азоту мікроорганізмами). Кінцеве значення рН – слабо лужне.

Високу температуру часто вважають необхідною умовою успішного компостування. Реально за дуже високої температури процес біодеградації пригнічується унаслідок сповільнення росту мікроорганізмів. Деякі з видів зберігають активність за температури понад 70°C. Порогом настання пригнічення слугує температура близько 60°C, тому висока температура впродовж довгого періоду повинна бути виключно за швидкого компостування. Але температура 60°C корисна для боротьби з

термочутливими патогенними мікроорганізмами. Звідси необхідно підтримувати умови, за яких, з одного боку, гинутиме патогенна мікрофлора, тоді як з іншого – розвиватимуться мікроорганізми, відповідальні за деградацію. З цією метою рекомендують оптимальну температуру – 55°C. Регулювання температури можна досягти за допомоги примусової вентиляції в процесі компостування. Вихід тепла здійснюють за допомогою системи випарювального охолодження.

Основними факторами під час розкладання патогенних організмів у процесі компостування виступають тепло і антибіотики, які продукують мікроорганізми-деструктори. Висока температура утримується упродовж часу, достатнього для загибелі патогенів.

Найсприятливіші умови для утворення компосту – мезофільні і термофільні значення температури. Завдяки багатьом групам організмів, які беруть участь у процесі утворення компосту, діапазон оптимальних температур дуже широкий – 35–55°C.

Висновки до розділу 8

1. Під час заходів екологізації землеробства норму внесення органічних добрив на бездефіцитний баланс гумусу можна перевершити в 2 рази. Це є шляхом виходу на розширене відтворення родючості ґрунтів і на дотримання землеробського закону повернення елементів живлення за рахунок органічних добрив.

2. Традиційно в органічному землеробстві застосовують підстилковий напівперепрілий гній, компости в дозах 15–20 т/га, що не відрізняються від рівнів, прийнятих в інтенсивному землеробстві.

Одержані результати досліджень опубліковані в наступних джерелах:

1. Виробництво та використання органічних добрив : монографія / [[Шувар, О.М. Бунчак, В.М. Сендецький, О.Б. Тимофійчук, В.С. Гнидюк, Л.В. Центилю, О. М. Бахмат, та ін.]; за заг. ред. І.А. Шуvara. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2015. 596 с.

2. Наукові основи системи землеробства : монографія / С.П. Танчик, О.А. Цюк, Л.В. Центило. Вінниця : ТОВ «Ніла-ЛТД», 2015. 314 с.
3. Дошові черв'яки: наукові аспекти вирощування і практичне застосування / І.П. Мельник, Н.М. Колісник, І.А. Шувар, В.М. Сендецький, Л.В. Центило та ін. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2015. 444 с.
4. Центило Л. В. Органічні добрива для сучасних систем землеробства. Монографія. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2017. 260 с.
5. Екологічна система землеробства в Лісостепу України / С. П. Тан-чик, О. А. Демідов, Ю. П. Манько, О. А. Цюк, М. Ф. Іванюк, **Л. В. Центило**, А. І. Бабенко, А. А. Петришина; Міністерство аграрної політики і продовольст-ва України. Київ, 2011. 39 с.
6. **Центило Л. В.**, Паламарчук М. М., Кулинич Р. М., Колісник Н. М., Сендецький В. М., Гнидюк В. С. Спосіб виробництва регуляторів росту і розвитку рослин «Мікробіофіт»: патент 109948 України. № а 201601147; заявлено 10. 02. 2016. опубліковано 26. 09. 2016. Бюл. № 18. 6 с.
7. Сендецький В. М., Колісник Н. М., Бунчак О. М., **Центило Л. В.**, Паламарчук М. М., Кулинич Р. М. Спосіб виробництва біокомпостних і вермикомпостних «Чаїв»: патент 106026 України. № и 2015210715; заявлено 03. 11. 2015. опубліковано 11. 04. 2016. Бюл. № 7. 6 с.
8. Іванишин В. В., Сендецький В. М., Колісник Н. М., Бунчак О. М., Шувар І. А., **Центило Л. В.**, Гаврилянчик Р. Ю. Спосіб вирощування гречки в проміжних посівах: патент 111898 України. № и 201605269; заявлено 16. 05. 2016. опубліковано 25. 11. 2016. Бюл. № 22. 5 с.
9. **Центило Л. В.**, Паламарчук М. М., Кулинич Р. М., Колісник Н. М., Сендецький В. М., Гнидюк В. С. Спосіб виробництва орга-дефекатних добрив: патент 106027 України. № и 201510718; заявлено 03. 11. 2015. опубліковано 11. 04. 2016. Бюл. № 7. 6 с.
10. **Центило Л. В.**, Кулинич Р. М., Волкогон В. В. Біоорганомінеральне добриво «Біофос»: патент 116179 Україна. № а 201700624; заявлено 23. 01. 2017; опубліковано 26. 12. 2017. Бюл. № 24. 6 с.

РОЗДІЛ 9

ЕНЕРГЕТИЧНА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

9.1. Енергетична ефективність вирощування культур за різних систем удобрення та обробітку ґрунту

У сучасному землеробстві досить актуальними стають питання пов'язані з мінімалізацією енергетичних витрат на вирощування сільськогосподарської продукції [187, 522].

На думку В. М. Польового [398], Ю. О. Тараріко [477], формування сталих засад аграрного виробництва сьогодні неможливе без запровадження енергоощадних і екологічно сформованих систем удобрення. Ряд дослідників вважає, що сучасні агротехнології повинні забезпечувати енергетичну стабільність ґрунтів, тим самим зберігаючи їх енергетичний потенціал для майбутніх поколінь, і досягти за цих умов мінімальних енергетичних витрат на отримання одиниці продукції [421, 446, 477].

Вибір системи удобрення дозволяє регулювати потоки енергії в системі ґрунт-рослина, впливає на інтенсивність процесів фотосинтезу, нормує обсяги надходження сонячної енергії в ґрунт, визначає характер її перерозподілу та зберігання [61, 191].

Ефективними агрохімічними заходами на шляху зменшення технологічних витрат та підвищення продуктивності землеробства, вважають В. В. Іваніна [189], Ю. О. Тараріко, О. А. Андрійченко [480], є введення елементів біологізації в системі удобрення. Використання на добриво побічної продукції сприяє швидкому відновленню енергетичних запасів органічної речовини ґрунту, мінімізує енергетичне біогенне навантаження за рахунок рециркуляції та зменшення обсягів виносу біогенних елементів з ґрунту [477]. В умовах достатнього зволоження, на думку Я. П. Цвея [537], ефективним агрохімічним заходом, що веде до підвищення продуктивності культур на фоні незначних енергетичних витрат, може бути поєднане застосування післяжнивних сидеральних культур та нетоварної частини

врожаю.

Введення енергетичного еквіваленту дає змогу всі види праці та матеріально-технічні засоби привести до спільного показника і за його допомогою визначити частку кожного фактора в технологічному процесі, його питому вагу у формуванні урожайності. Якщо коефіцієнт енергетичної ефективності, тобто відношення кількості відновлювальної енергії, накопиченої у вирощеній продукції, до кількості не відновлювальної, витраченої на формування урожайності, більше 2, то така технологія наближається до енергозберігаючої [314].

У комплексі заходів, направлених на зменшення сукупних витрат енергії важлива роль відводиться обробітку ґрунту. За даними І. М. Макарова [278], на обробіток ґрунту припадає 30–40 % всіх трудових витрат при вирощуванні сільськогосподарських культур. На нашу думку, такі високі витрати пояснюються тим, що автор оцінює не один агроприйом, а всю систему основного, передпосівного обробітку та догляду за посівами.

При цьому А. М. Малієнко та ін. [281] відзначають, що енергомісткість оранки, плоскорізного обробітку та дискування в структурі прямих експлуатаційних витрат становить відповідно 19,3; 17,1 і 15,3 %, тоді як у структурі сукупних витрат лише 8,4; 7,0; і 6,1 %. За даними В. А. Ушкаренко та ін. [500], витрати на обробіток ґрунту залежно від глибини та способу зменшуються при різноглибинній оранці від 3,6–3,7 % до 0,8–1,9 % за поверхневого обробітку.

Розрахунки вчених А. Я. Буки, А. В. Дружченко [61] показали, що енергія, яка надходить до системи (у даному випадку – ґрунті) та енергія, яка використана у процесі виробництва сільськогосподарської продукції певної культури, має різні цілі. Виходячи з цього, проблема енергетичної ефективності землеробства повинна бути розподілена на дві частини: оцінка ефективності виробництва продукції та оцінка ефективності функціонування системи «ґрунт-рослина».

Встановлено, що вже в останні десятиріччя зростання врожайності у

2–3 рази супроводжувалося збільшенням витрат на одиницю продукції енергії не поновлюваних ресурсів у 10–15 разів.

У зв'язку з тим, що потреба населення в продуктах харчування залишається і тільки зростає, а продуктивність посівів і зв'язування енергії дуже відстають від реально досяжного рівня (1 % $K_{\text{фар}}$ від 2,5–4 %), стає очевидною необхідність або в подальшому підвищенні антропогенних енерговитрат, або в раціональнішому їхньому використанні під час створення оптимальних умов для посівів, підвищення їхньої продуктивності й енергетичної ефективності виробництва.

За даними О. О. Жученка [161], витрати не поновлюваної енергії 15 ГДж на 1 га є граничними. За цим бар'єром витрат не поновлюваної енергії починається реальне забруднення довкілля.

Вивчення впливу систем удобрення й обробітку ґрунту на енергетичну ефективність проводилося в умовах зерно-просапних сівозмін. За основу енергетичної оцінки було обрано коефіцієнт енергетичної продуктивності ($K_{\text{еє}}$), який виступає узагальнюючим показником і відображає співвідношення енергоємності врожаю до витрат техногенної енергії на його отримання.

Проведені розрахунки витрат енергії на вирощування сільськогосподарських культур у десятипільній сівозміні показали значну залежність від культур, системи удобрення, основної обробітку ґрунту. В цих дослідках із загальної кількості енергії – 151 ГДж/га, витраченої на формування врожаю польових культур у сівозміні, найбільша її кількість припала на органічні, мінеральні добрива та насіння – 87 ГДж/га, пально-мастильні матеріали – 38,6 ГДж/га. Передостання стаття витрат є стабільною і регулюванню не підлягає, оскільки являє собою обов'язкову складову технології, їхньою основою. Найенергоємнішими виявилися просапні культури – буряки цукрові, кукурудза на силос. Від загальної кількості витрат енергії на формування врожаю у сівозміні їхня частка становила відповідно 6,5 і 13,0 % (табл. 9.1, дод.3.1 – 3.11).

Таблиця 9.1

**Структура витрат енергоресурсів на вирощування основної та побічної продукції культур сівозміни, ГДж/га
(2011–2017 рр.)**

Структура витрат енергії	Культури сівозміни, ГДж/га											
	Люцерна першого року використання	Люцерна другого року використання	Пшениця озима	Буяки цукрові	Ячмінь	Соя	Пшениця озима	Кукурудза на силос	Пшениця озима	Соняшник	Усього	%
Без добрив												
Основні засоби	1,9	1,9	2,4	2,0	1,6	1,8	2,5	1,7	1,9	1,1	18,8	20,7
Пальне	3,7	3,4	3,5	8,0	2,2	2,53	2,2	4,75	3,73	2,6	33,60	37
Насіння, агрохімікати	0,7	0,74	7,1	0,1	6,3	3,6	6,6	0,8	6,9	0,4	33,2	36,5
Затрати праці	0,3	0,33	0,46	1,2	0,30	0,49	0,44	0,7	0,45	0,5	5,2	5,8
Всього	6,2	6,2	13,5	11,3	10,6	8,5	11,7	8,0	13,07	4,5	90,8	100
Органічна система удобрення												
Основні засоби	1,9	1,9	2,4	2,0	1,7	1,8	2,5	1,7	2,0	1,1	19,0	15,6
Пальне	3,4	3,4	3,5	8,0	2,20	2,5	2,20	4,7	3,8	2,6	36,3	29,9
Насіння, агрохімікати	0,7	0,74	8,2	12	6,4	3,8	6,7	7,1	8,8	6,7	61,1	50,3

Продовження табл. 9.1

Затрати праці	0,3	0,33	0,46	1,0	0,30	0,5	0,40	0,7	0,5	0,5	5,0	4,2
Всього	6,2	6,37	14,5	23	10,6	11,2	11,8	14,3	15,0	10,8	121,4	100
Органо-мінеральна система удобрення												
Основні засоби	1,9	1,9	2,4	2,0	1,4	1,8	2,6	2,0	1,9	1,5	19,4	10,9
Пальне	3,8	3,6	3,5	9,0	2,3	2,8	3,8	6,5	3,9	3,3	42,5	24,0
Насіння, агрохімікати	2,3	2,33	9,3	20	8,7	5,9	13,4	14,3	18,5	14,7	109,4	61,9
Затрати праці	0,3	0,34	0,46	1,0	0,4	0,5	0,5	0,9	0,5	0,4	5,3	3,7
Всього	8,3	8,2	15,6	32	12,8	11,2	20,4	23,8	24,8	19,9	176,6	100
Мінеральна система удобрення												
Основні засоби	1,8	1,8	2,4	2,0	1,3	2,5	2,5	1,8	1,5	1,3	18,9	8,9
Пальне	4,7	4,7	3,5	8,0	2,5	3,2	2,6	6,8	2,7	3,4	42,1	20
Насіння, агрохімікати	3,0	1,52	10,3	22	14,6	6,9	19,3	23,6	20,2	22,8	144,2	68,2
Затрати праці	0,5	0,49	0,46	1,2	0,5	0,6	0,5	1,0	0,6	0,6	6,3	2,9
Всього	9,9	8,5	16,7	34	18,8	13,3	25	33,2	25,0	28,2	211,5	100
В серед-ньому за сівозмінюю	7,8	7,3	15,0	25	13,2	11,0	17,2	19,8	19,4	15,8	151,0	
%	5,2	4,8	9,9	16,5	8,7	7,2	11,4	13,0	12,8	10,5		100

Вирощування буряків цукрових і кукурудзи на силос зумовлені, насамперед, внесенням під просапні культури сівозміни органічних добрив і великою енергоємністю насіння цих культур. Найменш енергоємним було вирощування люцерни першого і другого років використання за загальних витрат енергії 7,8 (5,2 %), і 7,3 (4,8 %) відповідно від загальної її кількості, витраченої у сівозміні (154 ГДж/га).

За застосування органо-мінеральної системи удобрення, де передбачені мінеральні добрива, заробка побічної продукції, сівба сидератів енергоємність вирощування культур у середньому становила 176,6 ГДж/га, або на 16,9 % більше від мінеральної системи удобрення. За застосування органічної системи удобрення енерговитрати скоротилися до 121,4 ГДж/га, або на 31 % менше, ніж за органо-мінеральної. Варто зазначити, що енерговитратність вирощування пшениці озимої на мінеральній системі удобрення становила 15,0, 17,2 і 19,4 ГДж/га, тоді як за органо-мінеральної системи удобрення зростала до 15,6, 20,4 і 24,8 ГДж/га. Це пояснюється збільшенням витрат на удобрення та обробіток ґрунту додатково отриманого врожаю.

У структурі енерговитрат на органічні, мінеральні добрива та насіння за мінеральної системи удобрення припадає 68,2 %, енергоносіїв – 20 %, на техніку – 8,9 %, затрати праці – 2,9 %.

Застосування у сівозміні органо-мінеральної системи зумовило, порівняно з мінеральною системою, зниження витрат на мінеральні добрива – 6,3 %, збільшилися витрати енергоносіїв на 4,0 %. За органічної системи удобрення енерговитрати на застосування лише органічних добрив і насіння зумовило зниження порівняно до мінеральної системи на 17,9 %, енергоносії зросли до 9,9 %.

Система удобрення, яка заснована на застосуванні 142 кг мінеральних добрив, органічних добрив (компост, побічна продукція, сидеральна маса післяжнивних культур) за енергоємністю виявилася приблизно такого самого

рівня, як і за застосування 284 кг мінеральних добрив і 4,5 т компосту у сівозміні.

Енерговитрати більшою мірою у вигляді технічних засобів і пального пов'язані з мінеральними і органічними добривами, що вказує на досить високу енергетичну ціну.

За своїми біологічними особливостями для різних видів рослин притаманна неоднакову здатність засвоювати кінетичну енергію сонця. Звідси можна припустити, що вони мають різну енергетичну цінність і для визначення виходу енергії з урожаєм необхідно знати енерговміст усіх частин сільськогосподарської продукції (табл. 9.2).

Застосування у сівозміні 284 кг мінеральних добрив і 4,5 т компосту на 1 га сівозмінної площі дало змогу збільшити вихід енергії урожаю, що становить 134,6 ГДж/га.

Використання 142 кг мінеральних добрив і 4,5 т компосту призводило до неістотного зниження виходу енергії врожаю в сівозміні. Застосування органічної системи, що передбачала використання лише органічних добрив істотно знижувала на 35,8 % витрати енергії на формування врожаю порівняно до контролю.

Одним з основних напрямів збереження енергетичних ресурсів у землеробстві виступає розробка і впровадження технологій, які забезпечують зменшення питомих витрат сукупної енергії на одиницю продукції

Важливим показником водночас слугує порівняння кількості енергії, акумульованої в урожаї культури, з її сукупною енергією, витраченою на вирощування і збирання врожаю. Встановлено, що K_{ee} кожної окремої культури щорічно змінювався. Різним він був у сівозміні впродовж ротації. У сівозміні серед систем удобрення за економністю енерговитрат найефективнішим виявився варіант без застосування добрив. Коефіцієнт енергетичної ефективності (K_{ee}) становив 7,3, що на 19,6 % більше від мінеральної системи удобрення.

Енергетична оцінка десятипільної сівозміни (основна та побічна продукція), (2011–2017 рр.)

Система удобрення, А	Варіант обробітку, В	ГДж/га		Коефіцієнт	
		енергія в урожаї	витра- ти, всього	енерге- тичної ефектив- ності, К _{се}	енергетичної доцільності, ГДж/га
Без добрив	Диференційова- ний (контроль)	67,8	9,6	7,1	58,2
	Полицево- безполицевий	67,1	10,4	7,5	56,7
	Мілкий безполицевий	60,3	9,6	7,2	50,7
Органічна	Диференційова- ний (контроль)	88,7	12,7	6,8	76,0
	Полицево- безполицевий	90,2	12,6	7,0	77,6
	Мілкий безполицевий	80,4	11,7	6,7	68,7
Органо- мінеральна	Диференційова- ний (контроль)	131,3	19,4	6,8	111,9
	Полицево- безполицевий	134,7	18,9	7,2	115,8
	Мілкий безполицевий	121,0	18,6	6,6	102,4
Мінеральна	Диференційова- ний (контроль)	137,1	22,1	6,3	115
	Полицево- безполицевий	141,1	22,2	6,4	118,9
	Мілкий безполицевий	125,7	22,1	5,7	103,6
Середнє за системами удобрення	Без добрив	65,0	9,9	7,3	55,1
	Органічна	86,4	12,3	6,8	74,1
	Органо-мінеральна	129,0	19,0	6,9	110
	Мінеральна	134,6	22,1	6,1	112,5
Середнє за обробітком грунту	Диференційова ний (контроль)	106,2	16,0	6,8	90,2
	Полицево- безполицевий	108,3	16,0	7,0	92,3
	Мілкий безполицевий	96,8	15,5	6,5	81,3

За орґано-мiнеральної системи удобрення коефiцiєнт енерґетичної ефективности 6,9 на 13,1 % перевершував мiнеральну систему. Остання була менш енерґоощадною.

До найважливиших елементiв технологiї вирощування вiднесено обробiток ґрунту, як один iз найдiєвiших засобiв впливу на змiну умов вирощування сiльськогосподарських культур. Питання обробiтку ґрунту та його вдосконалення у конкретнiй клiматичнiй зонi в напрямi мiнiмiзацiї ресурсоощадження не втрачає своєї актуальностi. Найбiльш енерґетично ефектвним виявилися варiанти полицево-безполицевого ($K_{ee} = 7,0$) та диференцiйованого ($K_{ee} = 6,8$) обробiткiв (див. табл. 9.2). Енерґетично менш ефектвним визначено мiлкий безполицевий ($K_{ee} = 6,5$), що зумовлено нижчою уроґайнiстю культур сiвозмiни на цьому варiантi.

Вiдповiдно до класифiкацiї Ю. О.Тарарiко [481], за $K_{ee} < 2$ – виробництво неефектвне; 2–4 – ефектвнiсть низька; 4–6 – середня; 6–8 – висока; > 8 – дуже висока.

Вирощування сiльськогосподарських культур за всiх систем удобрення характеризується як високоефектвне.

Отже, коефiцiєнт енерґетичної ефективности (K_{ee}) на варiантах систем удобрення iз зростанням енерґовитрат зменшується.

Це означає, що кожна одиниця додаткових техноґенних витрат окупається все меншою вiддачею у виглядi енерґiї врожаю. Маловитратнi системи удобрення (компост, побiчна продукцiя, сидерати) завжди енерґетично вигiднiшi, нiж бiльш енерґоємнi iз застосуванням мiнеральних добрив, засобiв захисту.

Енерґетичну ефектвнiсть ґрунтозахисної чотирипiльної сiвозмiни наведено на рис.9.1. За мiнеральної системи удобрення енерґоємнiсть врожаю культур сiвозмiни порiвняно з орґанiчною системою удобрення в середньому пiдвищувалася на 15,5 ГДж/га. Прирiст енерґоємностi врожаю на 1 ГДж енерґовитрат на внесення мiнеральних добрив у середньому по сiвозмiни становив 2,2 ГДж. При цьому коефiцiєнт енерґетичної ефектв-

ності за мінеральної системи удобрення порівняно з органічною підвищився на 0,9.

За внесення органічних добрив енерговитрати порівняно з мінеральною системою удобрення не зростали. Енерговіддача від внесення органічних добрив залишилася низькою. Це зменшило коефіцієнт енергетичної ефективності агротехнологій порівняно з мінеральною системою удобрення.

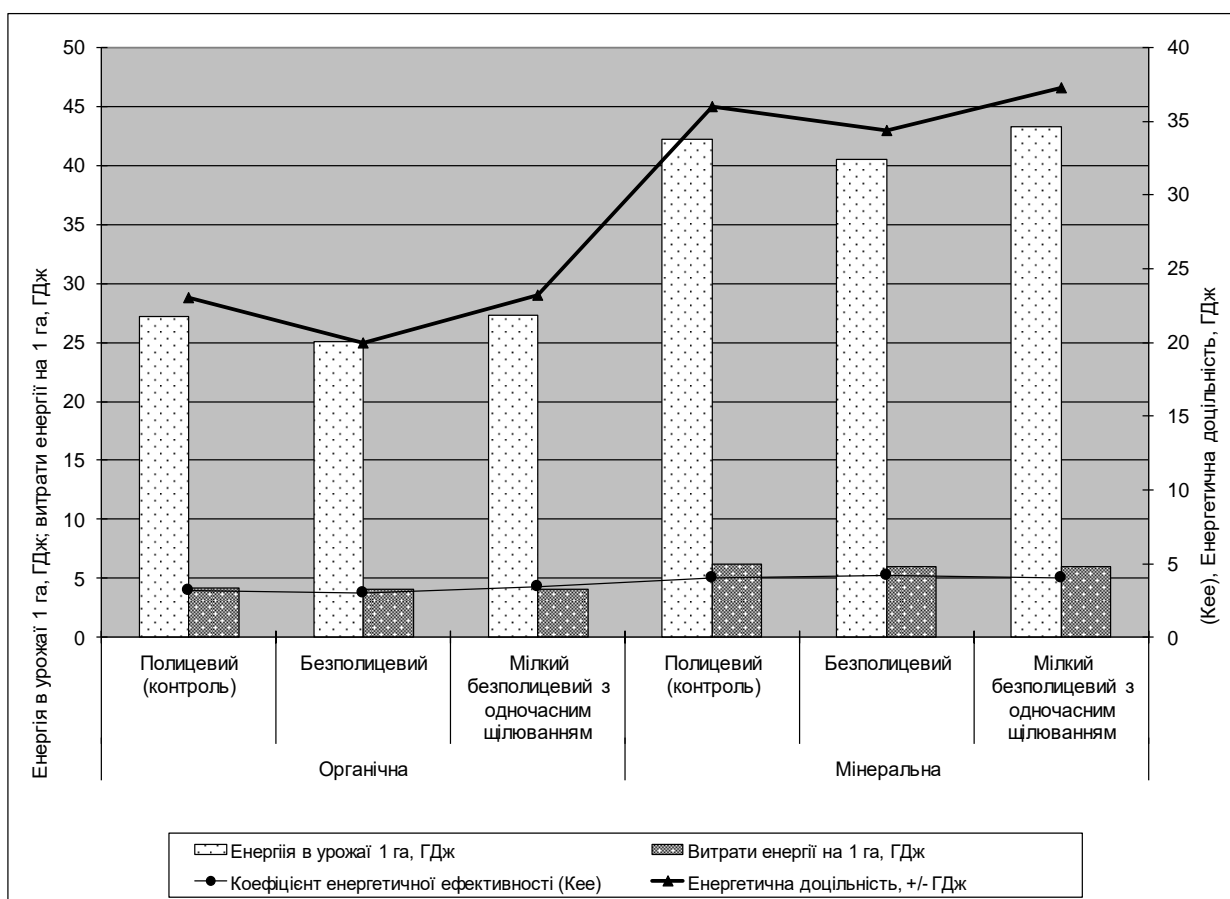


Рис. 9.1 Енергетична ефективність короткоротаційної сівозміни

Коефіцієнт енергетичної ефективності за основного обробітку ґрунту в середньому по сівозміні знаходився на рівні на полицевому – 3,6, безполицевому – 3,6 і мілкому безполицевому з одночасним щільюванням – 3,7.

Найзначнішою енергетичною доцільністю характеризувався варіант мілкового безполицевого обробітку з одночасним щільюванням, що становив 30,2 ГДж. Менш енергетично доцільним виявився безполицевий варіант

обробітку – 27,2 ГДж.

Отже, енергетично найефективнішою за порівнянням зростання коефіцієнта енергетичної ефективності та енергоємності врожаю визначено мінеральну систему удобрення, що робить таку систему удобрення енергетично витратною. Застосування лише органічних добрив знижувало енергоємність врожаю на 5,5 ГДж/га. Варіант мілкий безполицевий обробіток з одночасним щільюванням мав найвищий 3,7 коефіцієнт енергетичної ефективності.

9.2. Еколого-енергетична ефективність агротехнологій

Енергетична ефективність агротехнологій значно залежить від направленості і збалансованості енергетичних потоків у ґрунті [188]. Формування позитивного балансу енергії ґрунту забезпечує стабільність енергетичного балансу в агроєкосистемах і сприяє підвищенню енергетичної ефективності агротехнологій [446].

В умовах сучасного виробництва ефективним заходом впливу на енергетичний потенціал ґрунту виступає система удобрення. Застосування добрив нормує обсяги надходження енергії в ґрунт, впливає на її розподіл та зберігання. За даними В. В. Іваніни [190], С. В. Рогальського [421], внесення органічних добрив у систему удобрення культур сприяє збереженню енергетичного потенціалу ґрунту, а за високих обсягів надходження органічної речовини забезпечує розширення його відтворення. Стабільність енергетичного потенціалу чорнозему типового вилугуваного за органо-мінеральної системи удобрення відзначалася в дослідженнях Я. П. Цвея [537].

На думку Ю. О. Тараріко [477], підвищення енергетичного потенціалу ґрунтів у сучасному виробництві можна досягти шляхом біологізації системи удобрення – застосування побічної продукції та зеленої маси післяжнивних сидеральних культур.

На варіанті вирощування культур без застосування добрив встановлено низьку енергетичну ефективність за диференційованого обробітку ґрунту – 2,5, за полицево-безполицевого – 2,7.

Порівняно із загальноприйнятими показниками $K_{\text{сг}}$, який не враховував змін енергій ґрунту, енергетична ефективність агротехнологій за показником $K_{\text{сгг}}$, була нижчою в середньому на 4,5, що свідчить про значні втрати енергії ґрунту в процесі вирощування культур (рис. 9.2).

Середній рівень енергетичної ефективності агротехнологій визначено за мінеральної системи удобрення $K_{\text{сгг}}=4,2$. Формування енергії врожаю за цієї системи відбувається за незначних втрат енергії ґрунту.

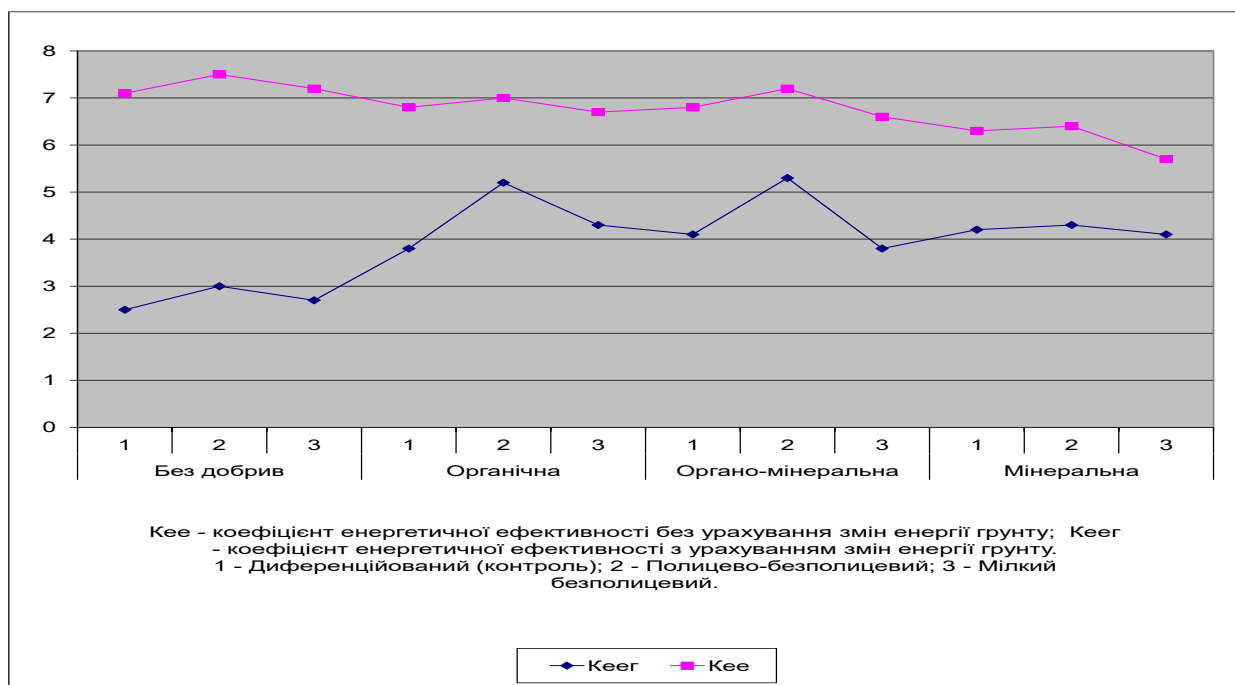


Рис. 9.2 Енергетична ефективність агротехнологій за різних систем удобрення та обробітку ґрунту, (2011–2017 рр.)

Енергетично ефективнішою виявилась органо-мінеральна система удобрення. Внесення на 1 га сівозмінної площі 4,5 т компосту та 3,5 т нетоварної частини врожаю, маси післяжнивних сидератів і 142 кг (N_{40} P_{48} K_{54}) мінеральних добрив, забезпечило середній рівень енергетичної ефективності агротехнологій за показником $K_{\text{сгг}}=4,4$, що на 0,2 було вищим, ніж за мінеральної системи удобрення. Підвищенню енергетичної

ефективності систем удобрення сприяло істотне зниження енергетичних витрат, пов'язаних із застосуванням органічних добрив, маса сидеральних культур порівняно з мінеральною системою.

Найвищою енергетичною ефективністю незалежно від системи удобрення відзначився варіант полицево-безполицевого основного обробітку ґрунту. Так, застосування згаданого обробітку за органічної системи коефіцієнт енергетичної ефективності змін енергії ґрунту становив 5,2, за орґано-мінеральної – 5,3.

Енергетично найефективнішою визначено систему удобрення, яка поєднувала внесення мінеральних і органічних добрив. Коефіцієнт енергетичної ефективності ($K_{\text{еер}}$) за орґано-мінеральної системи становив 4,4 органічної – 4,43, що порівняно з мінеральною системою удобрення виявилось вищим відповідно на 0,2 та 0,23. Підвищення енергетичної ефективності відбувалося переважно за зменшення енерговитрат на органічні добрива.

Дослідження свідчать, що орґано-мінеральна і органічна системи удобрення на фоні полицево-безполицевого обробітку, як правило, сприяють накопиченню ґрунтової органічної речовини і відповідно забезпечують підвищення енергоємності ґрунту й сталості агроєкосистеми. За тривалого використання тільки природної родючості в більшості випадків спостерігається зменшення ґрунтового енергопотенціалу. Внаслідок використання запасів ґрунтової енергії без її поновлення відбувається деградація ґрунтів, їхнього енергетичного потенціалу, а відтак різке зниження продуктивності ріллі. За мінімального допустимого рівня $K_{\text{еер}}=2$ усі системи удобрення на фоні полицево-безполицевого обробітку ґрунту можна вважати енергетично прибутковими. Однак найбільш перспективна орґано-мінеральна система удобрення ($K_{\text{еер}}=5,3$).

Отже, високий рівень енергетичної ефективності агротехнологій на чорноземі типовому глибокому середньо суглинковому на фоні полицево-безполицевого обробітку ґрунту визначено за органічної і орґано-

мінеральної системи удобрення.

9.3. Економічна ефективність

З переходом до ринкової економіки питання економічної та екологічної доцільної набувають значимості і стають підґрунтям бізнес-планування діяльності підприємств. Система удобрення слугує основою підвищення рентабельності аграрного виробництва, проте через високі ціни на мінеральні добрива та високу собівартість застосування органічних добрив, які склалися в аграрному секторі останніми роками, потребує нових екологічно збалансованих та економічно ефективних підходів [117].

Проведення економічного аналізу дає можливість встановити, які культури і за яких систем удобрення забезпечують найвищу окупність витрат на їх застосування, що дозволить оптимізувати удобрення окремих культур і сівозміни в цілому [398].

Аналіз і синтез економічних явищ і процесів проводиться за допомогою цілого набору статистичних і математичних засобів, а саме економіко-статистичних, математично-статистичних, математичного програмування.

На основі технологічних карт наводяться дані грошових витрат на 1 га посіву культур сівозміни основного і проміжного вирощування. Розрахунки виконано за цінами, з якими Агрофірма «Колос» працювала у 2018 році.

Як засвідчила проведені розрахунки, показники економічної ефективності залежать від урожайності культур, виробничих витрат на їх вирощування та ринкові ціни на продукцію, від якої у свою чергу залежить структура посівних площ та спеціалізація підприємств (табл. 9.3, дод. К 1–К10).

На варіанті мінеральної системи удобрення виробничі витрати на вирощування культур сівозміни в середньому становили 12951 грн/га, за собівартості 1 тонни продукції 1789 грн. Це дозволило отримати прибутку за цієї системи удобрення 14094 грн/га та досягти рентабельності 99,9 %,

Таблиця 9.3

Економічна ефективність вирощування сільськогосподарських культур у десятипільній сівозміні, (2011–2017 рр.)

Фактор		Вартість продукції, грн/га	Виробничі витрати, грн/га	Затрати праці люд.– год/га	Витрати пального, т/га	Собівартість 1т урожаю, грн	Окупність 1т пального урожаєм	Умовно чистий дохід, грн/га	Рівень рентабе- льності
А	В								
Б	1	14000	10174	92,3	0,2	2693	0,043	3826	37,5
	2	13806	10088	92,3	0,2	2759	0,044	3718	36,5
	3	12421	9246	92,8	0,2	2741	0,049	3175	34,4
О	1	18859	13532	92	0,2	2573	0,038	5327	39,7
	2	19066	12894	91	0,2	2472	0,040	6172	48,4
	3	16901	12428	90,4	0,2	2702	0,035	4474	35,0
ОМ	1	27456	13859	58,3	0,2	1827	0,029	13597	98,8
	2	27977	13635	57,3	0,2	1788	0,029	14343	103,9
	3	25086	13705	56,6	0,2	1873	0,028	11381	82,7
М	1	28641	14122	58,3	0,2	1771	0,026	14519	102,8
	2	29386	14039	57,3	0,2	1719	0,026	15347	108,4
	3	26396	13979	56,6	0,2	1879	0,025	12417	88,6

Примітки: 1) Фактор А – система удобрення; Б – без добрив; О – органічна ; ОМ – органо-мінеральна; М – мінеральна; 2) Фактор В – система основного обробітку ґрунту: 1 – диференційований (контроль); 2 – полицево-безполіцевий; 3 – мілкий безполіцевий.

що перевершило варіант без застосування добрив на 63,8 %.

За орґано-мінеральної системи удобрення виробничі витрати на вирощування культур сівозміни зменшилися на 2,2 % відносно мінеральної системи удобрення. Собівартість 1 т врожаю знизилася на 3,9 % порівняно з мінеральним удобренням.

Чистий дохід із 1 га в середньому у сівозміні одержано найвищий за мінеральної системи удобрення – 14094 грн/га.

Найвищі витрати на вирощування культур сівозміни відзначено за мінеральної системи удобрення – 14046 грн/га. Разом із тим і рівень рентабельності за цієї системи був найвищим – 99,9 %. За орґано-мінеральної системи рентабельність вирощування культур сівозміни становила 95,1 %

Серед системи основного обробітку ґрунту найвища рентабельність культур сівозміни спостерігалася на тлі полицево-безполицевого варіанта – 74,3 %. Істотно йому поступився мілкий безполицевий обробіток – 60,1 %.

Отже, серед досліджених варіантів систем удобрення економічно ефективним за рентабельністю вирощування культур сівозміни виявилися орґано-мінеральна і мінеральна системи, які за цим показником переважали орґанічну систему і варіант без застосування добрив (табл. 9.4).

За застосування орґанічної системи удобрення виробничі витрати на вирощування культур сівозміни в середньому становили 11649 грн, собівартість 1 т продукції 2442 грн, що дало можливість отримати прибуток від системи удобрення 6797 грн/га, за рентабельності 56,5 %.

За мінеральної системи удобрення виробничі витрати були на рівні – 13219 грн, що перевищує орґанічну на 13,4 %.

Собівартість 1 т врожаю за мінеральної системи удобрення становила 1865 грн, що на 23,6 % менше порівняно з орґанічною системою удобрення. Чистий дохід з 1 га в середньому у сівозміні за мінеральної системи одержано 13265 грн/га.

Таблиця 9.4

Економічна ефективність вирощування сільськогосподарських культур ґрунтозахисної сівозміни, (2011–2017 рр.)

Фактор		Вартість продукції, грн/га	Виробничі витрати, грн/га	Витрати праці люд.– год/га	Витрати пального, т/га	Собівартість 1т урожаю, грн	Окупність 1т пального урожаєм	Умовно чистий дохід, грн/га	Рівень рен- табельності
А	В								
М	1	19863	12145	58,3	0,21	2423	0,039	7717	61,5
	2	16773	11453	57,3	0,21	2616	0,046	5319	46,2
	3	18705	11350	56,6	0,18	2288	0,035	7355	61,8
О	1	28798	13531	58,3	0,22	1794	0,028	15267	109,5
	2	23883	13163	57,3	0,23	2042	0,033	10720	82,1
	3	26775	12965	56,6	0,20	1761	0,026	13810	104,0

Примітки: 1) Фактор А – система удобрення; О – органічна; М – мінеральна; 2) Фактор В – система основного обробітку ґрунту: 1 – полицевий обробіток ґрунту; 2 – безполицевий обробіток ґрунту; 3 – мілкий безполицевий обробіток з одночасним щільюванням.

Найвищий рівень рентабельності спостерігали за мінеральної системи удобрення – 98,5 %.

Серед варіантів обробітку ґрунту найвищий рівень рентабельності виявився за полицевого обробітку – 109,5 %, за мілкою безполицевого обробітку з одночасним щілюванням він становив 104 %.

Висновки до розділу 9

1. За умов застосування органо-мінеральної системи удобрення енергоємність культур десятипільної сівозміни становила 176,6 ГДж/га. Найбільш енергетично ефективними визначено варіанти полицево-безполицевого та диференційованого обробітків, тоді як енергетично менш ефективним виявився мілкий безполицевий.

2. Рівень рентабельності культур десятипільної сівозміни був найвищим за мінеральної системи удобрення – 99,9 %, серед систем основного обробітку ґрунту в сівозміні – полицево-безполицевий – 74,3 %.

Одержані результати досліджень опубліковані в наступних джерелах:

1. **Центи́ло Л. В., Цюк О. А., Мельник В. І.** Енергетична ефективність систем удобрення і обробітку ґрунту. Біоресурси і природокористування. 2019. Т.11. № 3–4. <http://dx.doi.org/10.31548/bio2019.03.010>

2. Екологічна система землеробства / С. П. Танчик, **Л. В. Центи́ло**, Ю. П. Манько, О. А. Цюк, А. І. Бабенко, О. С. Павлов, І. П. Яцук, В. В. Сінченко, В. М. Сендецький; Міністерство аграрної політики і продовольства України. Київ, 2017. 30 с.

3. Новітня модель енергоощадного екологічного землеробства в Лісостепу України (науково-методичні рекомендації) / О. А. Цюк, С. П. Танчик, Ю. П. Манько, Д. В. Літвінов, А. І. Бабенко, О. С. Павлов, **Л. В. Центи́ло**; Київ, 2019. 47 с.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення та представлено нове вирішення наукової проблеми, яка виявляється в експериментальному розробленні систем удобрення й основного обробітку ґрунту в агроєкосистемах та їх впливу на ґрунтовідновлювальні процеси і формування умов росту зернових, технічних культур у сівоzmінах для нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України. Результати дослідження з оцінювання технологічної, господарської, енергетичної та економічної ефективності систем удобрення надають підстави для таких висновків:

1. Збереження і розширене відтворення гумусу в чорноземах типових за використання їх у польових сівоzmінах досягається за рахунок надходження органічних речовин у ґрунт у вигляді кореневих і надземних рослинних залишків культурних рослин, органічних добрив, регулюванням системою обробітку інтенсивності процесів мінералізації та гуміфікації.

Застосування полицево-безполицевої системи основного обробітку ґрунту створює умови для локалізації рослинних залишків, органічних і мінеральних добрив у верхньому оброблюваному шарі, зрушує систему «гуміфікація-мінералізація» в бік посилення гуміфікації. Їх довготривале застосування спільно з компостом, соломою, сидеральною масою і помірними нормами мінеральних добрив, істотно не змінюючи груповий склад, сприяє підвищенню вмісту і запасів загального гумусу, а також енергії, що забезпечує розширене відтворення чорнозему типового. Підвищення вмісту гумусу зумовлене зростанням фракцій нерозчинного органічного залишку за орґано-мінеральної системи удобрення із співвідношення Сг.р.:Сф.р. – 1,82, що на 1,1 % вище, ніж за мінеральної системи.

2. Полицево-безполицевий обробіток, на фоні орґано-мінеральної системи удобрення, активізує біологічні процеси ґрунту, виділення ґрунтом вуглекислоти й асиміляції останньої мікроорґанізмами, зростання целюлозолітичної, нітрифікаційної, ферментативної активності. Встановлено,

що за диференційованого обробітку на 5–11 % переважають нітрифікуючі, а за мілкого безполицевого на 12–37 % – амоніфікуючі бактерії. Максимальна чисельність мікроорганізмів відзначається у шарі 0–10 см за поступового зниження з глибиною. Систематичне застосування полицево-безполицевого обробітку, порівняно з диференційованим на фоні загальної інгібуючої дії, сприяє збільшенню нітрифікаційної здатності в 1,8 раза у верхній частині оброблюваного шару. За систематичного застосування компосту нітрифікаційна здатність зростає на 22–53 %, тоді як за їх спільного внесення з помірними нормами мінеральних добрив – на 31–39 %.

Мінеральна система удобрення інгібує ферментативну активність ґрунту. Активність протеази за органо-мінеральної системи удобрення посилюється на 13–25 %, уреази – 9–17 %, фосфотази – 11–13 %, каталази – 190 % , порівняно з варіантом без застосування добрив. За застосування полицево-безполицевого обробітку ґрунту активність ферментів порівняно з контролем зростає.

3. Застосування полицево-безполицевого обробітку ґрунту за рахунок стабілізації мінералізаційних процесів у ґрунті забезпечує збереження, а за спільного з органо-мінеральним удобренням додаткове накопичення загального азоту. Це призводить до більш вираженої диференціації оброблюваного шару ґрунту за вмістом мінеральних, легкогідролітичних його сполук; збільшується вміст амонійного азоту і неістотно знижується кількість нітратів, проте властивий чорноземам типовим нітратно-амонійний режим зберігається.

Вплив мінеральних добрив на вміст амонійного азоту виявлявся більшою мірою, ніж систем обробітку ґрунту. За полицевого обробітку відбувалося збільшення згаданої форми азоту на 29–38 %, за безполицевого – на 36–43 %.

Під впливом систематичного застосування безполицевого обробітку порівняно з полицевим, змінився вміст нітратного й амонійного азоту. Органічна система удобрення, глибокий та мілкий безполицевий обробіток

знизили вміст нітратів на 11,2–5,8 %, а за мінеральної системи – на 9,5–4,7 % відповідно. Вміст амонійного азоту, навпаки, збільшився. За органічної системи і глибокого безполицевого обробітку підвищення становило 0,6 %, за мілкового безполицевого обробітку із щільюванням – 9,0 %. За мінеральної системи удобрення різниця досягала 3,5 і 8,8 %.

Локалізація сполук азоту, що легко гідролізуються у верхній частині оброблюваного шару за полицево-безполицевого та мілкового безполицевого обробітку ґрунту, не погіршує умови живлення рослин цим елементом і не призводить до зниження урожайності вирощуваних культур. Застосування орґано-мінеральної і мінеральної системи удобрення сприяє істотному підвищенню вмісту у ґрунті сполук азоту, що легко гідролізуються.

4. У чорноземах типових вміст рухомих фосфатів, здатність і швидкість їх переходу у ґрунтовий розчин значною мірою залежить від обробітку ґрунту і системи удобрення. Безполицеві обробітки ґрунту знижують інтенсивність мінералізації органічної речовини, істотно впливають на рухомі фосфати. Вміст і ступінь рухомості збільшуються у верхній частині оброблюваного шару.

Позитивний вплив на рівень мінеральних фосфатів виявляють добрива. Так, фосфорні добрива акумулюються у чорноземі типовому в основному у вигляді фосфатів кальцію першої і другої груп. Застосування різноглибинного й мілкового безполицевого обробітку із щільюванням у сівозміні підвищило вміст рухомих фосфатів у середньому на 3,2–12,0 % порівняно з полицевим обробітком. Варіант полицево-безполицевого обробітку сприяв істотному підвищенню вмісту рухомих фосфатів у шарі ґрунту 0–10 см. У нижніх шарах орного шару значну перевагу за вмістом рухомих фосфатів мав диференційований обробіток.

Орґано-мінеральна система удобрення суттєво знижує інтенсивність мінералізації органічної речовини, сприяє збагаченню ґрунту загальним, органічним та мінеральним фосфором, проте значно впливає на рухомі фосфати.

5. Калійний стан чорноземів типових визначається системою удобрення та обробітком ґрунту. Найбільшою мірою на всі форми калію впливають мінеральні добрива, дещо менше – органічні і найменше – обробіток ґрунту. Полицево-безполицеві обробітки сприяють локалізації обмінного калію у верхній частині оброблюваного шару і збільшують його вміст у шарі 0–30 см на фоні органо-мінеральних добрив.

Органо-мінеральна система удобрення за вмістом обмінного калію істотно не перевищувала мінеральну систему удобрення. За органічної системи удобрення вміст обмінного калію знижувався у шарі 0–10 см на 20–32 %, 10–20 см – на 15–22 %, у шарі 20–30 см – на 13–21 % порівняно з мінеральною.

6. Зміни у вмісті поживних речовин за застосування полицево-безполицевого обробітку відзначають у верхній частині ґрунтового профілю – в оброблюваному шарі виявляються у вигляді диференціації останнього за елементами живлення. Диференційований обробіток сприяє підвищенню вмісту рухомих поживних речовин у нижній частині орного шару, полицево-безполицевий – у верхній. Серед основних причин диференціації розрізняють: спеціальну заробку добрив і рослинних залишків; кращий розвиток кореневої системи рослин; біогенну акумуляцію поживних речовин; зростання життєдіяльності мікроорганізмів і представників ґрунтової фауни.

7. Системи основного обробітку ґрунту суттєво впливають на формування різних за розміром агрегатів ґрунту. Так, найбільше агрономічно-цінних агрегатів міститься за варіанта полицево-безполицевого обробітку ґрунту 71,3 %. Вміст структурної фракції розміром менше 0,25 мм на цьому варіанті зменшився до 9,3 %. За диференційованого обробітку ґрунту на структурну фракцію розміром понад 10 мм припадає 15,4 і 20,7 % на фоні органо-мінеральної та мінеральної систем удобрення відповідно. За мілкового безполицевого обробітку структурна фракція розміром більше 10 мм у шарі 0–10 см становить 20,0–24,0 %.

За орґано-мiнеральної системи удобрення зменшується щiльнiсть ґрунту у верхньому i глибших шарах ґрунту порiвняно з мiнеральною. Варiант мiнеральної системи удобрення призводив до збiльшення щiльностi ґрунту у верхньому 0–10 см шарi на 2,5 % та у шарi 10–20 см – на 3,3 % порiвняно з варiантом без застосування добрив.

За мiлкого безполицеого обробiтку вiдбувалося iстотне пiдвищення щiльностi ґрунту (в середньому на 0,02–0,04 г/см³) порiвняно з контролем.

Полицевий обробiток ґрунту не змiнює дiапазону твердостi у чорнозему типовому. Систематичне застосування мiлкого безполицевого обробiтку iз щiлюванням викликає збiльшення твердостi в нижнiй частинi орного шару. Вiдмiнностi за твердiстю найбiльшою мiрою вираженi восени, вiдразу пiсля проведення основного обробiтку, тодi як у весняно-лiтнiй перiод вони згладжуються i, як правило, не досягають критичних значень для вирощування культур.

8. Максимальна вологонакопичувальна ефективнiсть досягається за мiлкого безполицевого обробiтку ґрунту, проведеного з одночасним щiлюванням. У цьому варiантi, залежно вiд вирощуваної культури, запаси доступної вологи були на 5,6–17,6 %, або на 6,5–21 мм вищi, нiж за полицевого обробiтку. Вологонакопичувальна ефективнiсть полицевого обробiтку нижча i становить 2–10 %.

На час весняного вiдновлення вегетацiї пшеницi озимої в шарi 0–30 см запаси доступної вологи знаходилися в межах 28–44,8 мм за рiзних систем основного обробiтку ґрунту. Найменша кiлькiсть вологи накопичувалася на варiантi без застосування добрив. Iстотної рiзницi на дослiджуваних варiантах обробiтку ґрунту не вiдзначено. Кiлькiсть вологи на варiантах обробiтку в шарi 0–30 см становила 32–37 мм.

На початку вегетацiї пшеницi озимої в шарi 0–100 см вмiст доступної вологи за мiлкого безполицевого обробiтку мав iстотну перевагу на 15,7 %, полицево-безполицевий – на 8,3 %, порiвняно з диференцiйованим

обробітком. За органо-мінеральної системи удобрення вміст доступної вологи в метровій товщі перевершував контроль на 22,3 %.

Найсприятливіші умови для водоспоживання культур створює мінеральна і органо-мінеральна системи удобрення за полицево-безполицевого основного обробітку ґрунту.

9. Застосування мінеральних добрив за органо-мінеральної та мінеральної систем удобрення з урахування хімічного складу ґрунту призводить до значного поліпшення якості і технічної переваги зерна пшениці озимої. За органочної системи і у варіанті без застосування добрив ці показники були істотно гіршими, як наслідок дефіциту азоту. Застосування безполицевого обробітку ґрунту теж суттєво знижувало показники якості зерна пшениці озимої.

За застосування під буряки цукрові мінеральних добрив $N_{120}P_{120}K_{150}$ на фоні 4,5 тон на 1 га сівозмінної площі компосту знижується цукристість, доброякісність нормально очищеного соку та технологічна якість соку. Використання на варіанті органічної системи удобрення лише органічних добрив під буряки цукрові сприяє підвищенню цих показників. При цьому мілкий безполицевий обробіток ґрунту зумовлює значне зниження вмісту доброякісного соку на 1,2–7 % порівняно з контролем.

10. Найбільший збір кормових одиниць з 1 га (9,3 т/га) у десятипільній сівозміні отримано за застосування мінеральної системи удобрення. Використання органо-мінеральної системи удобрення (8,8 т/га) призвело до несуттєвого зниження продуктивності культур сівозміни за $NiP_{05}=0,74$. Органічна система удобрення зумовила істотне зниження (6,0 т/га) на 35 %.

Найвищу продуктивність сівозміни забезпечив варіант полицево-безполицевого обробітку ґрунту (на 2,7 %) порівняно з контролем. На варіанті мілкого безполицевого обробітку спостерігалася тенденція до зниження продуктивності відповідно на 9,5 % порівняно з контролем.

11. Застосування органічної системи удобрення призвело до істотного зниження продуктивності культур чотиріпільної сівозміни. За органічної

системи удобрення продуктивність сівозміни становила 7,4 т/га к. од., за мінеральної – 10,2 т/га к.од. На варіанті за полицевого обробітку продуктивність була на рівні 9,8 т/га к.од., за безполицевого обробітку із одночасним щілюванням – 8,8 т/га к.од. Безполицевий обробіток зумовив зниження продуктивності сівозміни на 1,1 т/га порівняно з мілким безполицевим обробітком з одночасним щілюванням.

За умов застосування органо-мінеральної системи удобрення енергоємність культур десятипільної сівозміни становила 176,6 ГДж/га, що менше на 16,9 % від мінеральної системи удобрення. За застосування органічної системи удобрення відбулося скорочення енерговитрат до 121,4 ГДж/га, що на 31 % менше, ніж за органо-мінеральної системи. За ефективністю енерговитрат найраціональнішою виявилася органо-мінеральна система удобрення ($K_{ee}=6,9$), за мінеральною ($K_{ee}=6,1$). Найбільш енергетично ефективними визначено варіанти полицево-безполицевого ($K_{ee}=7,0$) та диференційованого ($K_{ee}=6,8$) обробітків, тоді як енергетично менш ефективним виявився мілкий безполицевий ($K_{ee}=6,5$), що зумовлено нижчою врожайністю культур сівозміни на цьому варіанті.

12. За мінеральної системи удобрення енергоємність врожаю чотирипільної сівозміни порівняно з органічною підвищувалася на 15,5 ГДж/га. Коефіцієнт енергетичної ефективності за основного обробітку ґрунту в сівозміні становив: на полицевому – 3,6, безполицевому – 3,6 і мілкому безполицевому з одночасним щілюванням – 3,7.

13. Рівень рентабельності культур десятипільної сівозміни був найвищим за мінеральної системи удобрення – 99,9 %, за органо-мінеральної – 95,1 %, серед систем основного обробітку ґрунту в сівозміні – полицево-безполицевий – 74,3 %.

Найвищий рівень рентабельності чотирипільної сівозміни спостерігали за мінеральної системи удобрення – 98,5 %, серед систем основного обробітку ґрунту в сівозміні за полицевого обробітку – 108,5 %, за мілкого безполицевого обробітку з одночасним щілюванням – 104 %.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

У Правобережному Лісостепу України на чорноземах типових малогумусних для забезпечення продуктивності ріллі на рівні 10 т/га кормових одиниць, збереження та відтворення родючості ґрунту рекомендовано:

- запроваджувати польові зерно-просапні сівозміни з часткою зернових культур – 50 %, просапних – 30 %, кормових – 20 %;

- вносити 9 т/га сівозмінної площі (в сухій речовині) органічних добрив: 4,5 т/га гноєкомпостів (по 15 т/га у трьох полях сівозміни – буряки цукрові, соняшник, кукурудза на зерно), 3,5 т/га побічної продукції рослинництва (солома злакових культур, стебла кукурудзи та соняшнику) і 1,0 т/га сидератів (у двох полях після пшениці озимої – 6,8 т/га і ячменю ярого – 3,2 т/га);

- застосовувати систему полицево-безполицевого основного обробітку ґрунту в сівозміні, що передбачає проведення за ротацією сівозміни глибокої оранки під буряки цукрові і соняшник, мілкого безполицевого під пшеницю озиму після сої і кукурудзи на силос, різноглибинного чизельного розпушування під решту культур;

- використовувати у короткоротаційних сівозмінах мілкий безполицевий обробіток із щільуванням на глибину 35–40 см, що поліпше водно-фізичні властивості та поживний режим ґрунту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агеев В. В. Интенсивное использование пашни. Москва : Россельхозиздат. 1984. 200 с.
2. Агрохимия / [Б. А. Ягодин, П. М. Смирнов, А. В. Петербургский и др.]; под ред. Б. А. Ягодина. 2-е изд. Москва : Агропромиздат, 1989. 639 с.
3. Адамень Ф. Ф. Азотфіксація та основні напрямки поліпшення азотного балансу ґрунтів. Вісник аграрної науки. 1999. № 2. С. 9–16.
4. Агробіологические особенности возделывания сои в Украине. / Адамень Ф. Ф., Вергунов В. А., Лазер П. Н., Вергунова И. Н. Київ : Аграрна наука. 2006. 456 с.
5. Адамень Ф. Ф., Радченко Л. А., Женченко К. Г. Продуктивність зернопросапної сівозміни залежно від рівня мінерального живлення. Вісник аграрної науки. 2008. № 11. С. 11–13.
6. Азаров В. Б. Биологические свойства чернозема типичного в зависимости от интенсивности сельскохозяйственного использования. Бюл. Всерос. 60 лет географической сети опытов с удобрениями. Москва : 2001. № 115. С. 100–111.
7. Акентьева Л. И., Чижива М. С. Изменение гумусообразования в черноземах при длительном применении плоскорезной обработки. Почвоведение. 1986. № 2. С. 69–74.
8. Акентьева Л. І. До питання про баланс гумусу в орних землях Ворошиловградської області. Агрохімія і ґрунтознавство. 1982. № 44. С. 11–13.
9. Александрова Л. Н. О номенклатуре гумусовых веществ почвы. Научные доклады высшей школы. Биологические науки. 1970. № 9. С. 91–99.
10. Александрова Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его превращения. Ленинград : Наука. 1980. 287 с.
11. Алексеева Е. К, Влияние длительного применения разных доз удобрений на плодородие средневыщелоченного тяжелосуглинистого чернозема. Почвоведение. 1970. №3. С. 127–131.

12. Алешин С. Н., Шевцова Л. К., Черников В. А. К вопросу об изменении органического вещества почвы при длительном применении удобрений. *Агрохимия*. 1971. № 6. С. 49–54.

13. Алиев А. М., Калинушкина Л. Ф. Влияющие систематического внесения гербицидов на состав сорных растений в кормовых севооборотах. *Бюл. ВИУА*. 1976. № 32. С. 71–74.

14. Алметов Н. С. Влияние способов обработки почвы на урожайность зерновых и картофеля. *Земледелие*. 1997. №2. С.25–26.

15. Функціонування мікробних ценозів ґрунту в умовах антропогенного навантаження. / Андреюк К. І., Іутинська Г. О., Антипчук А. Ф., Валагурова О. В., Козирицька В. Е., Пономаренко С. П. Київ : Обереги, 2001. 240 с.

16. Аристовская Т. В. Микробиологические аспекты плодородия почв. *Почвоведение*. 1988. № 9. С. 53–63.

17. Аркуша В. Е., Буджерак А. И., Першак В. Г. Влияние замены навоза минеральными удобрениями на урожай культур зерносвекловичного севооборота. *Агрохимия*. 1983. № 7. С. 43–48.

18. Архипенко И. А. Микробные биоудобрения из отходов промышленного животноводства. Биоконверсия отходов народного хозяйства и охрана окружающей среды: Междунар. конгресс: тезисы док. Ивано-Франковск, 1992. С. 79–80.

19. Бабарина Э. А. Формирование фосфорных соединений в почвах разного типа при длительном применении суперфосфата и фосфоритной муки. *Агрохимия*. 1968. №4. С.33–41.

20. Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв. Микробиоценозы зональных типов почв СССР. Москва : Изд-во МГУ, 1989. 20 с.

21. Бакума А .В. Вплив довготривалого застосування різних систем основного обробітку ґрунту на врожайність соняшників в зерно-просапній сівозміні на півдні України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: спец. 06.01.01 «Загальне землеробство». Умань, 1996. 19 с.

22. Балаєв А. Д. Органічна речовина та шляхи її відновлення в чорноземах Лісостепу і Степу України: автореф. дис. на здобуття наук.

ступеня д-ра с.-г. наук: спец. 06.01.13 «Агрогрунтознавство і агрофізика». – Київ. : НАУ, 1997. 46 с.

23. Балаєв А. Д., Гаврилюк М. В., Стопа В. П. Родючість чорноземів Лісостепу за використання мінімалізації обробітку ґрунту і елементів біологізації землеробства. Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія: Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство. 2013. № 1. С. 8–11.

24. Балаєв А. Д., Тонха О. Л. Відновлення родючості чорноземів Лісостепу в сучасному землеробстві. Науковий вісник НУБіП. Серія: Агрономія. 2014. № 195. С. 21–26.

25. Балаєв А. Д., Тонха О. Л. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства і відтворення родючості ґрунтів. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2013. Вип. 3 (63). С. 3–13.

26. Бараев А. И. О научных основах земледелия в степных районах. Вестник с.-х. науки, 1976. №4. С. 22–35.

27. Бараев А. И. Избранные труды. Москва : Агропромиздат, 1988. 383 с.

28. Барштейн Л. А., Шкаредний І. С., Якименко В. М. Сівозміни, обробіток ґрунту та удобрення в зонах бурякосіяння. Наукові праці ІЦБ. Київ : ІЦБ, 2002. 480 с.

29. Бахтин П. У. Исследование физико-механических и технологических свойств почв СССР. Москва : Колос, 1969. 271 с.

30. Бахтин П. У. Физико-механические и технологические свойства почв. Москва : Знание, 1971. 64 с.

31.. Органические удобрения. / Бацула А. А., Дегодюк Э. Г., Гамалей В. И. и др Київ : Урожай, 1988. 184 с.

32. Бацула А. А., Кравец Ф. Т. Трансформация гумусовых кислот черноземов Левобережной Лесостепи УССР при применении различных форм удобрений. Почвоведение. 1992. № 1. С. 133–138.

33. Бацула О. О., Скрильник Є. В., Кравець Т. Ф. Вплив добрив і рослинних решток на гумусовий стан ґрунтів. Агрохімія і ґрунтознавство. Київ : 2002. № 59. С. 115–121.
34. Бенедичук Н. Ф. Минимизация основной обработки почвы в Степи Украины. Земледелие. 1984. №33. С. 28–31.
35. Берестецкий О. А. Биологические факторы повышения плодородия почв. Вестник сельскохозяйственной науки. 1986. № 3. С. 29–38.
36. Биологизация земледелия: удобрения и обработка почвы. / Н. И. Картамышев и др.]. Земледелие. 2002. № 3. С. 6–7.
37. Бисовецкий Т. Я. Навоз и минеральное питание в свекловичном севообороте. Вестник с.-х. науки. 1964. №4. С.6–11.
38. Битюков К. К., Михайлов М. Н., Попова В. Я. Накопление и сохранение влаги в почве. Москва : Сельхозгиз, 1956. 153 с.
39. Вплив тривалого застосування способів обробітку на мікробний ценоз і гумусний стан дерново-підзолистого ґрунту. / Битюкова Л. Б., Драч Ю. О., Малієнко А. М., Личук Г. І. / Вісник аграрної науки. 1999. № 9. С. 12–17.
40. Біляєва С. О. Землеробство. Село Київської Русі (за матеріалами південно-руських земель). Київ : Шлях, 2003. С. 70–76.
41. Біологізація землеробства в Україні: реалії та перспективи / [В. В. Іванишин, М. В. Роїк, І. А. Шувар, Л. В. Центи́ло, В. М. Сендецький, О. М. Бунчак, Н. М. Колі́сник та ін.] ; заг. ред. В.В. Іванишина та І.А. Шувара. – Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2016. 284 с.
42. Бісовецький Т. Я. Раціональне використання добрив у зернобуряковій сівозміні в Лісостепу УРСР. Вісник аграрної науки. 1973. № 1. С. 38–44.
43. Благовещенская З. К. и др. Земледелие без химизации. / Химизация сельского хозяйства. 1990. № 9. С. 48–54.
44. Блохин Н. И., Жемела Г. Г. Повышение качества зерна. Київ : Урожай, 1997. С. 220–239.

45. Блюм В. Использование сельскохозяйственными культурами азота различных форм удобрений меченых ^{15}N в полеводческом севообороте. Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. 1978. Вып. 10. С. 3–9.

46. Бойко І. І. Технологічні якості цукрових буряків залежно від різноякісності насіння. Цукрові буряки. №4. (2012). С.20–21.

47. Бойко П. І. Стан і перспективи досліджень з впровадження сівозмін у сільськогосподарське виробництво. Вісник аграрної науки. 1994. №10. С. 43–51.

48. Бойко П. І., Шиліна Л. І., Гаврилюк М. С. Основні чинники землеробства та продуктивність рослин і стан родючості чорноземів на лівобережжі Лісостепу України. Вісник аграрної науки. 1994. № 4. С. 35–43.

49. Болокан Н. И. Воздействие сельскохозяйственных культур и агротехнических приемов на водопроницаемость почвы. Кишинев : Штиинца. 1986. 234 с.

50. Бондарев А. Г., Медведев В. В. Некоторые пути определения оптимальных параметров агрофизических свойств почв. Науч. тр. Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств почв. Москва, 1980. С. 84–99.

51. Борівський А. Ф., Шиманська Н. К., Савчук К. А. Продуктивність культур зерно-бурякової сівозміни в залежності від добрив. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2013. Вип.18. С. 110–114.

52. Борова В. П., Задорожний В. С., Карасевич В. В. Контролювання бур'янів у Лісостепу. Захист рослин. 2002. № 10. С. 8–10.

53. Боронин Н. К., Носко Б. С., Филон И. И. Влияние длительного применения минеральных и органических удобрений на фосфатный режим типичного чернозёма и продуктивность культур в условиях различной влагообеспеченности. Агрохимия. 1994. № 7. С. 3–13.

54. Боронин Н. К., Филон И. И. Валовое содержание гумуса, азота и фосфора в черноземе типичном мощном и урожай сельскохозяйственных

культур при длительном применении удобрений и орошении. Агрохимия и почвоведение. 1984. Вып. 48. С. 90–94.

55. Бостудаев А. П., Уланов А. К. Изменение гумусного состояния легкосуглинистой каштановой почвы при сельскохозяйственном использовании. Агрохимия. 2005. № 2. С. 21–26.

56. Буджерак А. І. Реакція ячменю на післядію удобрення. Вісник аграрної науки. 2001. № 1. С. 21–24.

57. Буджерак А. І., Кривда Ю. І. Азотний фонд і гумусний стан чорноземів реградованих при різних рівнях застосування добрив. Вісник аграрної науки. 2005. № 9. С. 15–19.

58. Будиговский А. И. Испарение почвенной влаги. Москва : Наука, 1964. 243 с.

59. Будьонний Ю. В., Заяц О. М. Ефективність застосування безполицевого ґрунтозахисного обробітку у сівоzmіні на важкосуглинкових чорноземах Харківщини. Земельні ресурси України: зб. тез. Дніпропетровськ, 1996. С. 157–158.

60. Будьонний Ю. В., Каютіна Л. С., Ємельянов В. І. Результати досліджень способів обробітку ґрунту під озиму пшеницю після кукурудзи на силос. Землеробство. 1982. № 55. С. 15–19.

61. Бука А. Я, Дружченко А. В. Енергетична оцінка застосування добрив у Лівобережному Лісостепу. Вісник аграрної наук. 2002. №3. С.13–15.

62. Булаткин Г. А. Эколого-энергетические проблемы оптимизации продуктивности агроэкосистем. Пущино, 1991. 43 с.

63. Булигін С. Ю., Дегтяров В. В., Крохін С. В. Гумусний стан чорноземів України. Вісник аграрної науки. 2007. № 2. С. 13–16.

64. Бульо В. С., Сорочинський В. В. Напрями трансформації органічної речовини у сірому лісовому ґрунті під впливом різних систем удобрення. Передгірне і гірське землеробство і тваринництво. 2004. Вип. 46. С. 3–9.

65. Веремеєнко С. І., Троцюк В. С., Івашенюта Т. М. Баланс гумусу дерново-карбонатних ґрунтів в умовах застосування різних систем удобрення. Вісник ІДУВГП. 2000. Вип. 5 (18). Ч. 2. С. 12–20.

66. Вериге С. А., Разумова Л. А. Почвенная влага. Ленинград. : Гидрометеиздат, 1973. 328 с.

67. Верниченко Л. Ю. Трансформация соединений азота при внесении в почву соломы. Использование соломы как органического удобрения. Москва : Наука, 1980. С. 33–48.

68. Вильямс В. Р. Основы травопольной системы земледелия. Советская агрономия. 1940. № 1. С. 11–14.

69. Виробництво та використання органічних добрив: монографія / [І. А. Шувар, О. М. Бунчак, В. М. Сендецький, О. Б. Тимофійчук, Л. В. Центило та ін.]; за заг. ред. І. А. Шувара. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2015. 596 с.

70. Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва. / [Дегодюк Е. Г., Сайка В. Ф., Корнійчук М. С. та ін.], за ред. Е. Г. Дегодюка. Київ : Урожай, 1992. 320 с.

71. Витер А. Ф., Новичихин А. М. Изменение плодородия обыкновенного чернозёма ИЧЗ под влиянием приемов основной обработки. Вестн. с.-х. наук. 1984. № 1. С. 77–84.

72. Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві. Наукова монографія / під. ред. М. К. Шикולי. Київ : ПФ «Оранта», 1998. 680 с.

73. Власюк П. А., Лисовал П. З., Влияние органических и минеральных удобрений на повышение основных культур севооборота. Агробиология. 1965. № 1. С. 10–17.

74. Влияние ежегодного внесения удобрений на продуктивность севооборота и баланс питательных веществ / В. А. Еськов, А. П. Кузьмина, А. Ф. Стулин, М. С. Савина. Агрохимия. 1984. № 8. С. 23–30.

75. Войнова-Райкова Н., Ранков В., Аленова П. Микроорганизмы и плодородие. Москва : Агропромиздат, 1986. 119 с.

76. Войтенко С. И., Иванова В.И., Андрейченко Е. А. Эффективность удобрений в зерносвекловичном севообороте. Агрохимия. 1990. № 7. С. 53–62.

77. Войтюк П., Кремсал В. Вплив основної обробки ґрунту на врожайність цукрових буряків. Цукрові буряки. 2010. № 1. С. 8–11.

78. Волкогон В. В., Дімова С. Б., Волкогон К. І. [та ін.]. Вплив мікробних препаратів на засвоєння культурними рослинами поживних речовин. Вісник аграрної науки. 2010. № 5. С. 25–28.

79. Волобуев В. Р. Введение в энергетику почвообразования. Москва : Наука, 1974. 128 с.

80. Володарский Н. И. Биологические основы возделывания кукурузы. Москва : Агропромиздат, 1986. 189 с.

81. Ворона Л. І., Місечко Є. М., Ратошнюк І. Ю. Вплив прийомів обробки ґрунту в поєднанні з добривами залежно від попередника на врожайність озимої пшениці в умовах Полісся. Землеробство. 1983. № 68. С. 20–24.

82. Воронкова Н. А. Влияние приемов биологизации на запасы продуктивной влаги в почве. Земледелие. 2009. № 1. С. 11–12.

83. Воспроизводство плодородия почвы в зерносвекловичном севообороте / Л. В. Александрова, В. И. Кураков, О. А. Минакова и др. Севооборот в современной земледелии. Москва : Из-да МСХА, 2004. С. 137–140.

84. Востров И. С., Петрова А. Н. Определение биологической активности почвы различными методами. Микробиология. 1961. Вып. 4. С. 23–46.

85. Вплив добрив на родючість ґрунту і продуктивність сівозміни. / А. С. Заришняк, В. В. Іваніна, Н. К. Шиманська та ін. Збірник наукових праць УБКЦБ. 2012. Вип.13. С. 299–300.

86. Галстян А. Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван : Атастан, 1974. 174 с.

87. Гамзаков Г. П., Кочегарова Н. Ф., Холмов В. Г. Азотный режим чернозёмов при почвозащитной системе обработки. Агрохимия. 1987. № 4. С. 3–8.

88. Гамзиков Г. П. Азот в земледелии в Западной Сибири. Москва : Наука, 1981. 267 с.

89. Гамзиков Г. П., Кострик Г. И., Емельянов В. Н. Баланс и превращение азота в удобрение. Новосибирск : Наука. 1985. 160 с.

90. Гамзиков Г. П. Азот в земледелии Западной Сибири. Москва : Наука, 1981. 267 с.

91. Гамзиков Г. П., Кулагина М. Н. Влияние длительного применения удобрений на органическое вещество почв. Почвоведение. 1990. №11. С. 57–67.

92. Ганенко В. П. Гумус почв Молдовы и его трансформация под влиянием удобрений. Кишинев : Штиица, 1991. 129 с.

93. Ганжара Н. Ф. Оценка состояния органического вещества в почвах для агрономических целей. Мелиорация и химизация земледелия Молдавии. Труды респ. конф. Кишинев, 1988. Ч. 1. С. 40–41.

94. Гарифуллин Ф. Ш. Физические свойства почв и их изменение в процессе окультуривания. Москва : Наука, 1979. 155 с.

95. Гепенко О. В. Целюлозолітична активність ґрунту в різних короткоротаційних сівозмінах. Вісник ХНАУ. 2013. № 1. С. 176–180.

96. Гера О. М. Продуктивність сільськогосподарських культур залежно від рівня удобрення. Зб. наук. пр. ННЦ «Інститут землеробства НААН». 2014. Вип. 3. С. 17–24.

97. Герасимов Н. М. Влияние удобрений на урожай и качество зерна озимой пшеницы. Научные труды Курской сельскохозяйственной станции. 1969. Т.4. С.17–24.

98. Геркіял О. М. Зміни запасів гумусу в ґрунті протягом тривалого використання його без удобрення та на фоні різних видів і норм добрив. Зб.

наук. пр. Уман. держ. аграрного університету. 2007. Вип. 64, Ч. 1: Агрономія. С. 48–53.

99. Гетьманець А. Я. Азот в земледелии черноземной зоны. Агрохимия. 1977. № 7. С. 3–10.

100. Гинсбург К. Е. Фосфор основных типов почв СССР. Москва : Наука, 1981. 244 с.

101. Гинзбург К. Е., Артамонова Л. Ф., Краснова Н. А., Мацкевич В. Б. Формы фосфора в основных типах почв Союз по почвенно-агрохимическим районам. В кн.: Агрохимическая характеристика почв СССР. Москва : Наука, 1976. 234 с.

102. Глазовская М. А. Роль и функция педосферы в геохимических циклах углерода. Почвоведение. 1996. № 2. С. 174–186.

103. Гнатенко А. Ф. Оценка плодородия типичных черноземов Лесостепи Украины. Принципы оценки плодородия почв: Сб. науч. тр. – Новосибирск : Наука, Сиб. от-ние. 1990. С. 58–65.

104. Гнатенко А. Ф., Пономаренко Е. Б. Изменение некоторых физико-химических параметров чернозёма типичного в зависимости от системы обработки почвы. Экологические аспекты исследования и охраны почвенных ресурсов Молдавии. 1990. № 11. С. 18–20.

105. Годлин Н. Н. Об углублении пахотного слоя и коренной переделке профиля подзолистых почв различного механического состава. Почвоведение. 1960. №3. С. 19–20.

106. Голоха В. В. Пероксидазна та поліфенолоксидазна активність ґрунту при систематичному внесенні добрив у сівоzmіні. Агрохімія і ґрунтознавство. 1977. № 33. С. 60–63.

107. Гомонова Н. Ф., Овчинникова М. Ф. Влияние длительного применения минерального удобрения и известкования на химические свойства, групповой и фракционный состав гумуса. Агрохимия. 1986. № 1. С. 85–90.

108. Горбачева А. Е. Воздействие систематического применения безотвальной обработки и удобрений на калийный режим черноземов Степи СССР. Агрохимия и почвоведение. 1984. Вып. 47. С. 31–34.

109. Гордієнко В. П. Ґрунтова волога. Саки : ПП «Підприємство Фенікс», 2008. 362 с.

110. Гордієнко В. П., Бодня В. І. Вплив тривалого застосування різних систем удобрення й обробітку ґрунту в сівозмінах на урожайність ярого ячменю. Наукові праці Полтавської державної аграрної академії. 2005. Вип. 4 (23). С. 94–100.

111. Гордієнко В. П., Малієнко А. М., Грабак Н. Х. Прогресивні системи обробітку ґрунту. Сімферополь, 1998. 279 с.

112. Горобець А. Г., Циліурик О. І. Вологозабезпеченість та урожайність польових культур за різних систем обробітку ґрунту в сівозміні. Бюл. Інституту зернового господарства степової зони НААН України. 2011. № 1. С. 20–25.

113. Городний Н. М., Сердюк А. Г., Каленський В. П. Влияние длительного применения удобрений в севообороте Лесостепи Украины на воспроизводство плодородия почв и продуктивность сельскохозяйственных культур. Натуралист. 1996. №2. С. 6–8.

114. Городній М. М., Мельник С. І., Маліновський А. С., Бондар О. І., Бикін А. В., Сердюк А. Г., Каленський В. П., Волкодав В. В., Гончар О. М., Мовчан М. М. Агрохимия. Київ : ТОВ «Алефа», 2003. 778 с.

115. Горохов П. В. Некоторые аспекты понятия «твердость почвы» применительно к исследованию процесса рыхления. Почвоведение. 1990. № 2. С. 56–57.

116. Господаренко Г. М. Розробка та обґрунтування інтегрованої системи удобрення в польовій сівозміні на чорноземі опідзоленому правобережного Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра. с. г. наук: спец: 06.01.14 «Агрохімія». Київ, 2001. 39 с.

117. Господаренко Г. М. Основи інтегрованого застосування добрив (монографія). Київ : Нічлава, 2002. 344 с.
118. Грабак Н. Х., Топіха І. Н., Давиденко В. М., В'юн В. Г., Чмирь С. М. Основи ведення сільського господарства та охорона земель. Київ, 2005. 796 с.
119. Грейбл А. Аэрация почвы и развитие сельскохозяйственных растений. Сельское хозяйство за рубежом. 1968. № 4. С. 1–11.
120. Гринченко А. М., Чесняк Г. Я., Чесняк О. А. Влияние сельскохозяйственных культур на агрохимические свойства чернозема мощного. Агрохимическая характеристика почв СССР: Украинская ССР. Москва : Наука, 1973. С. 60–71.
121. Гринченко Т. А. Закономерности развития почвенных режимов и свойств почв Нечерноземья УССР в условиях интенсивного земледелия: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: спец. 06.01.03. Харьков, 1986. 34 с.
122. Грицай А. Д., Коломиец В. М., Драга Н. И. Основная обработка почвы в Северной Лесостепи УССР. Сахарная свекла. 1985. № 8. С. 32–33.
123. Грицай А. Д., Коломиец Н. В. Дифференциация пахотного слоя в зависимости от обработки. Земледелие. 1981. № 8. С. 15–17.
124. Гриценко В. В. Обработка и углубление пахотного слоя почвы. Москва : Московский рабочий, 1971. 127 с.
125. Гудзь В. П., Юник А. В., Рожко В. М. Питання теорії обробітку ґрунту під озиму пшеницю в умовах Лісостепу України. Аграрний вісник Причорномор'я. Одеса, 2004. Вип. 26. С. 30–35.
126. Гулый М. Ф., Мельничук Д. А. Роль углекислоты в регуляции обмена веществ у гетеротрофных организмов. Київ : Наук. думка, 1978. 243 с.
127. Гуляев Б. И. Фотосинтез и продуктивность растений: проблемы, достижения, перспективы исследований. Физиология и биохимия культурных растений. 1996. № 1/2. С. 15–35.

128. Гуревич С. М., Скороход В. И. Влияние длительного применения минеральных удобрений на агрохимические свойства и плодородие мощного чернозема. Агрохимия. 1975. № 9. С. 77–82.

129. Дегодюк Е. Г., Бобер Л. В., Штукин Н. В., Чернищенко І. І., Веселовська Л. П. Вплив системи удобрення на відтворення родючості ґрунту в польових сівозмінах Лісостепу і Полісся. Землеробство: міжвідом. тематич. науковий збірник. 1998. Вип. 72. С. 11–19.

130. Дегодюк Е. Екологічні альтернативи. The Ukrainian farmer. 2016. № 6. С. 70–72.

131. Дегодюк Е. Г., Никифорова Л. І., Гамалей В. Г. Регулювання фосфатного режиму ґрунтів. Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва. Київ : Урожай, 1992. С. 100–113.

132. Дегодюк Е. Г., Бацула О. О. Органічна речовина ґрунтів і її регулювання. Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва. Київ : Урожай, 1992. С. 42–44.

133. Дегодюк С. Е., Бобер Л. В., Літвінова О. А. Вплив тривалого внесення добрив на вміст і якість гумусу сірого лісового ґрунту. Вісник аграрної науки. 2009. № 1. С. 57–60.

134. Дегодюк С. Є., Бобер Л. В., Вержбицька О. А. Вплив тривалого застосування добрив на відтворення органічної речовини сірого лісового ґрунту. Зб. наукових праць Ін-ту землеробства УААН. 2001. Вип. 3. С. 18–21.

135. Дегодюк Э. Г. Роль системы удобрения в стабилизации урожая сельскохозяйственных культур. Устойчив. земледелия: проблемы и пути решения. Київ : Урожай, 1993. С. 113–114.

136. Дегтярьов В. В. Характеристика гумусу цілинних і орних чорноземів Лівобережного Лісостепу і Степу України. Вісник ХНАУ. Сер. «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство». 2008. № 1. С. 85–102.

137. Демиденко О. В. Оцінка агрофізичних умов родючості за складом ґрунтового повітря при застосуванні технологій біологічного землеробства.

Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні: монографія. / за ред. М.К. Шикули. Київ : Оранта, 2000. С. 270–276.

138. Демиденко О. В. Післяжнивні рештки в ґрунтозахисному землеробстві як енергетика ґрунтоутворення в агроценозах Лівобережного Лісостепу України. Вісник Черкаського інституту агропромислового виробництва: Міжвід. темат. зб. наук. пр. 2005. Вип. 5. С. 13–26.

139. Деревягин В. А. Методические рекомендации по классификации и оценке эффективности органических удобрений. Владимир : ВНИПТИОУ, 1987. 12 с.

140. Деревягин В. А., Попов П. В. Органические удобрения в биологизации земледелия. Химизация сельского хозяйства. 1989. №10. С. 33–35.

141. Деревянко Р., Бацула А., Чесняк Г. К вопросу динамики потерь гумуса в черноземах Украины и мерах по его стабилизации. Проблемы повышения продуктивности черноземных почв. Харьков, 1983. С. 21–22 .

142. Дмитренко В. П. Плоскорізний обробіток ґрунту під кукурудзу. Вісник с.-г. науки. 1985. № 1. С. 26–28.

143. Дмитренко П. А. Фосфатный режим почв Украинской ССР и приемы его улучшения. Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. Москва : Изд-во АН СССР, 1957. Т.1. С. 152–274.

144. Дмитриев Е. А., Макаров И. Б. О понятии «равновесная плотность почв» 1993. № 8. С. 94–98.

145. Дмитрук Ю. М., Демид І. Е., Іванеску Ж. М. Фракційно-груповий склад гумусу окремих похованих ґрунтів. Біологічні системи. 2012. Т. 4. Вип. 1. С. 35–40.

146. Довбан К. И. Зеленое удобрение. Москва : Агропромиздат, 1990. 208 с.

147. Дояренко А. Г. Факторы жизни растений. Москва : Колос, 1966. С. 30–38.

148. Драчук Д. Д. Вплив строків і способів основного обробітку ґрунту на врожай озимої пшениці в умовах Хмельницької області. Землеробство. 1982. Вип. 56. С. 69–70.

149. Думитрашко М. И. Агрофизические свойства черноземов при применении различных систем удобрения. Система применения удобрений в севообороте для получения урожаев сельскохозяйственных культур. Кишинев, 1988. С. 76–84.

150. Ермохин Ю. И., Шевелев В. В. Влияние длительного применения удобрений на содержание макро- и микроэлементов в лугово-черноземной почве Омской области. Агрохимия. 2001. № 2. С. 20–26.

151. Еськов В. А., Кузьмина А. П., Стулин А. Ф., Савина М. С. Влияние ежегодного внесения удобрений на продуктивность севооборота и баланс питательных веществ. Агрохимия. 1984. № 8. С. 23–30.

152. Ефремов В. Ф., Курмишева Н. А., Трофимова Н. П., Влияние системы удобрения и севооборотов на динамику минерального азота в почве, урожай и качество зерна озимой пшеницы. Агрохимия. 1992. №7. С. 63–67.

153. Єщенко В. О. Характер зміни структури ґрунту у польових зерно-бурякових сівозмінах різної спеціалізації. Землеробство. Київ : Урожай, 1988. Вип. 63. С. 23–25.

154. Єщенко В. О., Калієвський М. В., Накльока Ю. І. [та ін.]. Особливості формування весняних запасів ґрунтової вологи в умовах гострозасушливого сільськогосподарського року. Зб. наук. пр. Уманського ДАУ. Умань : Вид-во «Основа», 2008. С. 571–522.

155. Жеряков Е. В., Бредучева Е. С., Котлов С. А., Рожков С. С. Технологические качества корнеплодов сахарной свеклы в условиях Лесостепи среднего Поволжья. Сельскохозяйственные науки. 2016. Вып. № 12. (54). Ч.1. С.130–132.

156. Живилко В. А., Цибак В. Л., Глушук М. М. Вплив добрив на продуктивність культур сівозміни та вміст гумусу і азоту в ґрунті. Вісник сільськогосподарської науки. 1976. №3. С.19–24.

157. Жуков А. И. Гумус почвы и потребность в органических удобрениях. Органические удобрения. Москва : Агропромиздат, 1988. С. 9–23.

158. Жуков А. И., Попов П. Д. Регулирование баланса гумуса в почве. Москва : Агропромиздат, 1988. 40 с.

159. Жуков М. С., Грабовский Н. П. Изменение основных свойств почвы под влиянием тридцатилетнего применения удобрений. Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. Москва : Колос, 1968. Вып. 3. С. 140–163.

160. Жукова Л. М., Панкова Н. К. Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. Сб. научных трудов в НИУА. Москва : Агропромиздат, 1985. Вып. 8 С. 5–10.

161. Жученко А. А., Казанцев Э. Ф., Афанасьев В. Н. Энергетический анализ в сельском хозяйстве. Кишинев : Штиинца, 1983. 77 с.

162. Забезпечення бездефіцитного балансу гумусу в ґрунті / [О. О. Бацула, Е. А. Головачов, Р. Г. Дерев'янка та ін.]; за ред. О. О. Бацули. Київ : Урожай, 1987. 128 с.

163. Загорча К. Л. Оптимизация системы удобрений в полевых севооборотах. Кишинев : Шпица, 1990. 287 с.

164. Запасы органического вещества и продуктивность чернозема типичного при различном его использовании / Н. К. Шикула, А. Д. Балаев, М. Ф. Бережнюк, Л. Г. Шеремет. Плодородие черноземов в связи с интенсификацией их использования. Москва, 1991. С. 234–237.

165. 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.

166. Заришняк А. С., Іваніна В. В., Колібабчук Т. В. Оптимізація удобрення зернових культур в зерно буряковій сівозміні. Вісник аграрної науки. 2012. № 12. С. 15–18.

167. Заришняк А. С., Руцкая С. И., Калибабчук Т. В. Влияние систематического внесения удобрений и вида зерносвекловичного

севооборота на продуктивность культур в зоне Центральной Лесостепи Правобережья Украины. Агрохимия. 2003. № 6. С.30–36.

168. Заришняк А. С., Рущка С. І. Шиманська Н. А., [та інші] Добрива, сівозміни і продуктивність. Цукрові буряки. 2004. № 5. С. 8–9.

169. Заришняк А. С. Способы внесения основного удобрения. Сахарная свекла. 2005. № 6. С. 19–21.

170. Заришняк А. С., Иванина В. В., Колибабчук Т. В. Фосфатный режим чернозема оподзоленного при длительном применении удобрений. Агрохимия. 2014. № 4. С. 20–26.

171. Заришняк А. С., Іваніна В. В., Колібабчук Т. В. Трансформація вуглецю в чорноземі. Вісник аграрної науки. 2012. № 8. С. 12–16.

172. Захаров В. П., Ефремов В. Ф., Коваленко А. А. Эффективность систем удобрения на дерново-подзолистой почве (агроэкологический и экономический аспекты). Почвоведение. 1992. № 9. С. 108–119.

173. Захарченко И. Г., Медведь Г. К. Баланс азота, фосфора и калия в зерносвекловичном севообороте. Агрохимия. 1968. № 5. С. 73–81.

174. Захарченко И. Г., Пироженко Г.С. О фиксации азота бобовыми. Агрохимия. 1970. № 5. С. 28–34.

175. Захарченко І. Г., Пироженко І. С., Шиліна Л. Н. Баланс поживних речовин в землеробстві України. Земледелие. 1977. № 1. С. 35–40.

176. Захарченко І. Г. Медмідь Г. К., Шиліна Л. І. та ін. Баланс поживних речовин у польовій сівозміні на чорноземах Лісостепу УРСР. Землеробство. Київ : Урожай, 1975. Вип. 40. С. 20–28.

177. Звягинцев Д. Г. Почва и микроорганизмы. Москва : Изд-во МГУ, 1987. 256 с.

178. Зезюков Н. И., Дедов А. В. Влияние удобрений на содержание органического вещества в черноземе. Агрохимия. 1997. № 12. С. 17–22.

179. Зубенко В. Ф., Шиян П. Н. Использование сахарной свеклой азота удобрений в зависимости от условий их применения. Агрохимия. 1979. № 6. С. 3–12.

180. Зубенко В. Ф., Оноприенко В. Г., Барштейн Л. А. Накопление почвенной влаги после предшественников сахарной свеклы. Вестник с.-х. науки. 1979. № 5. С. 27–29.

181. Зубенко В. Ф., Шаповал М. П., Нориця Е. І. Цукрові буряки. Київ. : Урожай, 1983. 144 с.

182. Зубенко В. Ф., Якименко В. М., Петрова О. Г. Вплив прийомів агротехніки на кількість органічних решток сільськогосподарських культур. Вісник с.-г. науки. 1981. № 1. С. 6–10.

183. Иванов Н. Н., Бойко В. П., Витер А. Ф. Обработка почвы и применение удобрений. Москва : Россельхозиздат, 1971. 126 с.

184. Ильина Л. В. Оценка различных систем основной обработки серой лесной почвы. Ресурсосберегающие системы обработки почвы. Москва : Агропромиздат, 1989. С. 145–153.

185. Іваніна В. В., Колібабчук Т. В., Кулема П. О. Резерви підвищення продуктивності цукрових буряків і стабілізації родючості ґрунту. Збірник наук праць ІБКЦБ. 2012. Вип. 14. С. 61–64.

186. Іваніна В. В. Баланс елементів живлення залежно від системи удобрення у різноротаційних сівоzmінах. Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства». 2012. Вип. 3–4. С. 26–33.

187. Іваніна В. В. Енергетична ефективність агротехнологій за різних систем удобрення зернобурякової сівоzmіни. Цукрові буряки. 2017. № 6 (90). С. 17–19.

188. Іваніна В. В. Енергетичний баланс чорнозему типового вилугуваного та ефективність агротехнологій залежно від системи удобрення. Збірник наукових праць ІБКЦБ. 2013. Вип. 18. С. 99–101.

189. Іваніна В. В. Заходи біологізації в підвищенні енергетичної ефективності агротехнологій. Збірник наукових праць ІБКЦБ. 2012. Вип. 17. Т. 2. К., С. 106–110.

190. Іваніна В. В. Зміна енергопотенціалу чорнозему опідзоленого за різних систем удобрення зерно-бурякової сівозміни. Агроекологічний журнал. 2012. № 3. С.37–40.
191. Іваніна В. В. Роль добрив в підвищенні енергетичної ефективності агротехнологій. Вісник аграрної науки. 2013. № 3. С.20–24.
192. Іванюк В. Я. Вплив способів обробітку ґрунту та системи удобрення на продуктивність сівозмін в Східному Лісостепу. Зб. наукових праць Інституту землеробства. Київ, 2005. С. 14–17.
193. Інтенсифікація сівозмін проміжними культурами: Рекомендації для ФПК / П. М. Сегін, С. В. Бегей, І. А. Шувар. Львів : СГІ, 1990. 37 с.
194. Казаков Г. И. Плотность почвы как один из критериев глубины ее обработки. Прогрессивные системы обработки почвы. Куйбышев, 1988. С. 12–15.
195. Камінська В. В., Клименко І. І. Продуктивність культур ланки зерно просапної сівозміни залежно від удобрення. Вісник аграрної науки. 2014. № 8. С. 10–13.
196. Карасюк І. М. Система удобрення і продуктивність культур сівозміни. Фактори родючості ґрунту та їх ефективність. Умань, 1998. С. 23–24.
197. Каричковський Д. Л. Ефективність різних систем до- і післяпосівного обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи в умовах півдня правобережного Лісостепу України : автореф. дис. На здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.01 «Загальне землеробство». Умань, 2000. 19 с.
198. Картамышев Н. И. Закон земледелия, диплом на открытие. Плодородие почвы: настоящее и будущее нашего земледелия. 2000. № 150. 234 с.
199. Картамышев Н. И., Бардукова И. Т., Доронченко Н. В., Веседин Н. В. Механическая обработка как средство регулирования агрофизических свойств почвы. Земледелие. 1989. № 9. С. 47–49.

200. Картамышев Н. И., Шумаков В. А., Зеленин А. В., Тимонов В. Ю. Роль обработки культурных растений и почвенной фауны в гумусообразовании. Вестник Курской ГСХА. 2008. № 1. С. 8–16.
201. Качинский Н. А. Почва, её свойства и жизнь. Москва : Наука, 1975. 295 с.
202. Качинский Н. А. Физика почвы. Москва : Высш. шк., 1970. Ч. 2. 360 с.
203. Клименко М. О., Веремеєнко С. І., Мороз О., Польовий В. М. Оцінка рівня біологічної активності ґрунтів Західного Полісся України. Таврійський науковий вісник. Херсон, 2001. Вип. 20. С. 38–43.
204. Коваленко В. П. Летописный Листвен (к вопросу о локализации). Советская археология. 1984. № 4. С. 62–74.
205. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова. Москва : Наука, 1985. 260 с.
206. Ковда В. А. Основы учения о почвах. Москва. : Наука, Кн. Т.2. 1973. 467 с.
207. Ковда В. А. Советское почвоведение на службе сельского хозяйства СССР. Пущино, 1981. С. 46.
208. Когут Б. М. Влияние длительного сельскохозяйственного использования на гумусное состояние чернозема типичного. Органическое вещество пахотных почв: (сб. науч. тр. Почвенного института. Москва, 1987. С. 118–126.
209. Козак Н. В., Козак Н. И. Влияние длительного применения минеральных удобрений на фракционно-групповой состав гумуса темно-серой лесной почвы и контроль за его состоянием. Агрохимия. 1996. № 1. С. 10–18.
210. Козаков А. А., Зализовский В. С. Степень влияния азота, фосфора и калия удобрений на озимую пшеницу в условиях мощных черноземов УССР. Агрохимия. 1976. №32. С. 63–67.

211. Козлов М. В., Плішко А. А. Агрохімічне забезпечення високопродуктивних технологій вирощування зернових культур. Київ : Урожай, 1991. 232 с.

212. Козлов М. В., Мельник А. І., Москальов Є. Л. Оптимізація сучасних систем землекористування на прикладі Чернігівської області. Методичні рекомендації. Київ, 2004. 19 с.

213. Коломиец Н. В. Минимализация обработки почвы в севообороте. Земледелие. 1993. № 2. С. 13–14.

214. Коломиец Н. В., Драган Н. И. Агрономические аспекты уплотнения почв Украины. Земледелие. 1999. № 5. С. 29–31.

215. Коломиец Н. В., Драган Н. И. Реакция полевых культур на дифференциацию обрабатываемого слоя почвы по плодородию в условиях интенсификации земледелия. Земледелие. 1989. Вып. 64. С. 26–30.

216. Кононова М. М. Органическое вещество почвы. Москва : Изд-во АН СССР, 1963. 314 с.

217. Кореньков Д. А. Продуктивное использование минеральных удобрений. Москва : Россельхозиздат, 1985. 209 с.

218. Кореньков Д. А., Борисова Н. И. Успехи и перспективы использования стабильных изотопов в агрохимии. Вестник сельскохозяйственной науки. 1980. №9. С. 22–28.

219. Коржов С. И., Трофимова Г. А. Плодородие чернозема обыкновенного при длительном применении обработки почвы. Почвоведение. 2009. №2. С. 44–45.

220. Костогриз П. В. Способи обробітку ґрунту під озиму пшеницю після ярої бобово-злакової суміші в умовах правобережного Лісостепу України : автореф. дис. На здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.01 «Загальне землеробство». Умань, 1996. 25 с.

221. Котоврасов И. П., Павловский В. В., Ващук В. Ф. Эффективность энергосберегающих приемов обработки почвы в зерносвекловичном

севообороте. Ресурсосберегающие системы обработки почвы. Москва : Агропромиздат, 1990. С. 51–59.

222. Кошицька Н. А., Гуреля В. В., Савчук О. І. Еколого-економічні показники виробництва органічної продукції на різних систем удобрення. Збалансоване природокористування. 2007. № 3. С. 51–54.

223. Кошкин П. Д. Эффективность разных систем основной обработки почвы. Земледелие. 1997. № 2. С. 21–23.

224. Кравець І. С. Зміни в азотному фонді та баланс азоту чорнозему опідзоленого Правобережного Лісостепу України за тривалого застосування добрив у польовій сівоzmіні: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.04 «Агрохімія». Київ, 2001. 20 с.

225. Кротінов О. П., Карпенко О. Ю. Протибур'янова ефективність післяжнивних посівів на зелене добриво. Науковий вісник НАУ. 1997. № 6. С. 27–33.

226. Круть В. М., Медведєв В. В., Грабак Н. Х., Озеранський Л. А. Теоретичні основи обробітку ґрунту. Обробіток ґрунту в системі інтенсивного землеробства. Київ : Урожай, 1986. С. 5–24.

227. Круть В. М., Пабат І. А., Горбаченко А. І. Системи основного обробітку ґрунту і урожайність культур сівоzmіни. Вісник с.-г. науки. 1985. № 5. С. 26–30.

228. Кудеяров А. Ю. Кварацхелия М. З. Влияние фосфорных удобрений на вертикальный перенос фосфора, органического углерода и металлов в серой лесной почве. Почвоведение. 1989. № 1. С. 31–41.

229. Кудеяров А. Ю. Фосфатогенная трансформация почв. Москва : Наука, 1995. 215 с.

230. Кудеяров В. Н. Азотно-углеродный баланс в почве. Почвоведение. 1999. № 1. С. 73–82.

231. Кудеяров В. Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений. Москва : Наука, 1989. 216 с.

232. Кудеярова А. Ю. Минеральные фосфорсодержащие соединения в почвах. Изв. АН СССР. Сер. Биол. 1982. №4. С. 549–558.
233. Кудеярова А. Ю. Фосфотогенная трансформация почв. Москва : Наука, 1995. 288 с.
234. Кудеярова А. Я., Башкин В. Н. Ландшафтно-агрогеохимический баланс фосфора в сельскохозяйственных регионах. Агрохимия. 1982. №9. С. 21–27.
235. Кудзин Ю. К. Условия питания и продуктивность сельскохозяйственных растений при длительном применении удобрений на черноземных почвах Лесостепи УССР : автореф. дис. на соискание учен. степени д-ра с.-х. наук. Воронеж, 1962. 47 с.
236. Кудря С. О. Продуктивність ланок сівозмін на типових чорноземах Лівобережного Лісостепу. Наукові доповіді НУБіП. 2018. №3(73). URL: [index. Php / Dopovidi/article/view dopovidi 2018.03.008/9456](http://index.php/Dopovidi/article/view_dopovidi_2018.03.008/9456).
237. Кузнецов А. И Пути совершенствования современных севооборотов. Севооборот в современной земледелии. Москва : Изд. –во МСХА, 2004. С.70–74.
238. Кузьмичов В. П. Бонітети ґрунтів України. Агрохімія і ґрунтознавство. 1970. Вип. 13. С. 125–148.
239. Кук Д. У. Система применения удобрений для получения максимальных урожаев. Москва : Колос, 1975. 416 с.
240. Кук Дж. У. Регулирование плодородия почвы / пер. с англ. Э. И. Шконде. Москва. : Колос, 1979. 502 с.
241. Кулагина М. Н. Влияние удобрений на мобильные формы органического вещества некоторых сибирских почв. Тезисы докл. 8 Всес. съезда почвоведов. Новосибирск, 1989. Кн. 3. 36 с.
242. Кулаковская Т. Н. Оптимальные параметры плодородия почв. Москва : Колос, 1984. 270 с.
243. Кулаковская Т. Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. Москва : Агропромиздат, 1990. 219 с.

244. Купревич В. Р. Биологическая активность почвы и ее определение. ДАН СССР. 1951. № 3. 79 с.
245. Купревич В. Ф., Щербакова Т. А. Почвенная энзимология. Минск : Наука и техника, 1966. 276 с.
246. Кутова А. М. Активність ферментів у ризосфері озимої пшениці і кукурудзи на силос залежно від умов вирощування. Вісник ХНАУ. 2009. 31. – С. 150–152.
247. Ладонин В. Ф., Леринец Ф. А., Крамарев С. М. Обработка почвы в Северной Степи Украины. Земледелие. 1997. № 3. С. 21–23.
248. Лазурський О. В. Гній і мінеральні добрива у польових сівоzmінах. Київ : Урожай, 1972. 218 с.
249. Лактионов Н. И. Закономерности трансформации органических коллоидов в черноземах при их сельскохозяйственном использовании. : автореф. дис. на соискание науч. степени доктора с.-х. наук: спец. 06.01.13 «Агрогрунтознавство і агрофізика». Киев, 1974. 36 с.
250. Лактионов Н. И., Дегтярев В. В. Влияние распахивания на качественные изменения активного гумуса черноземов Украины. Тезисы докл. съезда почвоведов и агрохимиков УССР. Харьков, 1986. С. 34–35.
251. Лактионова Т. М. Изменение физических свойств чернозема при внесении навоза. Почвоведение. 1990. № 8. С. 73–82.
252. Левенець П. П. Прогнозування і регулювання агрохімічних показників ґрунту при інтенсивній хімізації землеробства. Агрохімія і ґрунтознавство. Київ : Урожай, 1981. Вип. 42. С. 85–91.
253. Левенець П. П., Воробйова А. К. Вміст калію в ґрунтах України, його форми і перерозподіл при внесенні добрив. Агрохімія і ґрунтознавство. Київ : Урожай, 1974. Вип. 25. С.15–21.
254. Левин Ф. И. Количество растительных остатков в посевах полевых культур и их определение по урожаю основной продукции. Агрохимия. 1977. № 8. С. 36–42.

255. Левин Ф. И. Продуктивность культурных ландшафтов Европейской части СССР. Почвы и продуктивность растительных сообществ. Москва : Изд-во МГУ, 1972. Вып. 1. С. 17–62.

256. Лико Д. В., Лико С. М., Портухай О. І., Безверха О. В. Целюлозолітична активність дерново-підзолистого ґрунту різних біотопів. Агроєкологічний журнал. 2017. № 4. С. 53–57.

257. Липкина Г. С. Почвенно-экологические условия и применение удобрений. Москва : ВНИИ ТЭИагропром, 1989. 56 с.

258. Лисовал А. П., Правилон Н. В. Фосфатный режим лугово-чернозёмной карбонатной почвы Лесостепи УССР при высоком уровне химизации. Агрохимия. 1991. № 2. С. 8–14.

259. Лисовал А. П., Жмурко Н. Г., Ярославич В. М. Влияние органических и минеральных удобрений на урожай и качество зерна озимой пшеницы. Удобрения и качество растениеводческой продукции. Научные труды УСХА. Київ, 1976. Вып. 180. С. 96–103.

260. Листопадов И. Н., Шапошникова И. М. Повышать плодородие почв, наращивать производство. Земледелие. 1982. № 10. С. 14–18.

261. Лісовал А. П., Коваленко О. Г. Вплив довготривалого застосування добрив на вміст у ґрунті рухомих фосфатів і баланс фосфору. Науковий вісник НАУ. 2002. № 57. С. 240–244.

262. Лісовал А. П., Сорокотяг Н. П., Коваленко О. Г. Зміна сполук вуглецю, азоту і фосфору чорноземних ґрунтів і продуктивність культур при тривалому застосуванні засобів хімізації. Науковий вісник НАУ. 2000. № 32. С. 129–134.

263. Лозановская И. Н., Орлов Д. С., Попов П. Д. Теория и практика использования органических удобрений. Москва : ВО Агропромиздат, 1987. 94 с.

264. Лошаков В. Г. Севооборот и биологическое окультуривание дерново-подзолистых почв. Окультуривание почв: научные основы, опыт и направления. Москва : Агропромиздат, 1991. С. 9–15.

265. Лукьянчикова З. И. Изменение элементов плодородия почвы под влиянием противоэрозионной агротехники и удобрений. Агрохимия и почвоведение. 1977. Вып. 34. С. 21–29.
266. Лыков А. М. Воспроизводство органического вещества в современных системах земледелия. Земледелие. 1988. № 9. С. 20–22.
267. Лыков А. М. Гумус и плодородие почвы. Москва : Московский рабочий, 1983. 193 с.
268. Лыков А. М., Бойчан Б. П., Вьюгин С. М. Органическое вещество и плодородие почвы в интенсивном земледелии. Обзорная информация. Москва : ВНИИТЭИСХ, 1984. 58 с.
269. Лындина Т. Е. Корневая система как критерий почвенно-физических условий произрастания сельскохозяйственных культур. Тезисы докл. VIII Всесоюзного съезда почвоведов, 14–18 августа 1989 г. Новосибирск, 1989. Кн. 1. 105 с.
270. Любарская Л. С. О некоторых результатах исследований в длительных опытах с удобрениями. Эффективность удобрений по зонам страны. Москва, 1973. Вып. 22. С. 12–39.
271. Ляшков А. П., Назарюк В. М., Ткаченко Г. И. и др. Нитраты и качество продуктов растениеводства. Новосибирск : Наука. Сиб. отделение, 1991. 168 с.
272. Мазур Г. А. Відтворення і регулювання родючості легких ґрунтів. Київ : Аграрна наука. 2008. 308 с.
273. Мазур Г. А. Гумус і родючість ґрунту. Матеріали VI з'їзду УТГА. Умань; Харків, 2002. С. 27–34.
274. Мазур Г. А. Роль гумусу в родючості ґрунтів та відтворення його вмісту. Вісник аграрної науки. 2000. № 9. С. 12–15.
275. Мазур Г. А., Григора Т. І. Групо-фракційний склад і запаси гумусу в сірому лісовому ґрунті у зв'язку з інтенсивністю його використання. Вісник ХНАУ. 2011. № 1. С. 178–181.

276. Макаренко В. М. Влияние условий минерального питания на продуктивность озимой пшеницы в пассивном севообороте Лесостепи Украины. Сб. научных трудов. Київ : Изд-во УСХА, 1994. 44 с.

277. Макаров И. П. Совершенствование ресурсосберегающих технологий обработки почвы в зональных системах земледелия. Сб. науч. трудов. 1989. С. 3–10.

278. Макаров И. П., Захаренко А. В. Основные итоги и задачи исследований по обработке почвы. Достижения науки и техники АПК. 2004. № 5. С. 2–4.

279. Малиенко А. М. Обработка почвы. Научные основы устойчивого ведения зернового хозяйства. Київ : Урожай, 1989. С. 93–108.

280. Малиенко А. М. Социально-экономические предпосылки формирования агротехнологий в земледелии Украины (на примере систем обработки почвы). Київ : Институт аграрной экономики, 2001. 56 с.

281. Малиенко А. М., Борис Н. Е. Влияние способов обработки и побочной продукции предшественника на плотность сложения почвы в севообороте. Зб. наук. праць Уманського національного університету садівництва. Вісник Уманського Національного університету садівництва. 2016. Вип. 88. Ч. 1. Сільськогосподарські науки. С. 113–125.

282. Малиенко А. М., Тарарико Н. Н., Гавриленко В. Н. Влияние способов обработки и удобрений на агрохимические показатели плодородия дерново-подзолистой почвы и продуктивность севооборота. Агрохимия. 1987. № 6. С. 35–40.

283. Малієнко А. М. Щільність дерново-підзолистого супіщаного ґрунту у польовій сівоzmіні залежно від прийомів обробітку. Землеробство. 2014. Вип. 1–2. С. 3–9.

284. Малієнко А. М., Огінський А. М. Концептуально-економічні передумови розвитку землеробства України за ринкових умов. Вісн. аграр. науки. 1995. № 8. С. 10–15.

285. Особливості кореневого живлення рослин кукурудзи за різних способів обробітку ґрунту. / Малієнко А. М., Тараріко Н. М., Городецька С. П., Мазуренко А. В. Зб. наук. праць Ін-ту землеробства УААН. 2003. Вип. 3. С. 36–39.

286. Малієнко А. М., Татаріко Н. М., Фіщенко Г. А. Вплив різних способів обробітку ґрунту та добрив на продуктивність кукурудзи в умовах Полісся УРСР. Землеробство. 1982. Вип. 55. С. 60–64.

287. Мальцев Т. С. Новая система обработки почвы и почва. Москва-Ленинград : Изд-во ВАСХНИЛ, 1937. 48 с.

288. Манеев В. Г. Агрохимия и биосфера. Москва : Колос, 1984. 246 с.

289. Манько Ю. П. Методика оцінки адекватності явищ і технологій у землеробстві. Зб. наук. пр. Інституту цукрових буряків. 2007. Вип.9. С. 26–30.

290. Манько Ю. П., Маліборський І. І. Системи основного обробітку ґрунту в польовій сівозміні Лісостепу та їх вплив на забур'яненість полів і продуктивність ріллі. Землеробство. 1998. Вип. 72. С. 47–54.

291. Манько Ю. П., Максимчук І. П., Руденко І. С. Изменение продуктивности севооборота и плодородия почвы в связи с системами ее основной обработки в условиях Лесостепи Украины. Сборник научных трудов ВНИИЗ и ЗПЭ, 1989. С. 93–101.

292. Манько Ю. П., Максимчук І. П., Юрченко Н. Н. Засоренность и продуктивность посевов озимой пшеницы в зависимости от систем основной обработки почвы в севообороте. Сб. науч. тр. Киев : УСХА, 1991. С. 20–29.

293. Мартынович Л. И., Мартынович Н. Н. Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие чернозёма оподзоленного центральной лесостепи правобережья Украины. Сообщение 4. Влияние систематического применения удобрений на калийный режим почвы в зерносвекловичном севообороте. Агрохимия. 1992. № 6. С. 23–28.

294. Мартынович Л. И., Мартынович Н. Н. Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие

чернозема оподзоленного центральной Лесостепи Правобережной УССР. Сообщение 2. Влияние систематического применения удобрений на азотный режим почвы в зерносвекловичном севообороте. Агрохимия. 1990. № 5. С. 27–40.

295. Мартынович Л. И., Мартынович Н. Н. Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие чернозёма оподзоленного центральной Лесостепи Правобережной УССР. Сообщение 3. Влияние систематического применения удобрений на фосфатный режим почв в зерносвекличном севообороте. Агрохимия. 1990. № 6. С. 25–32.

296. Мартынович Л. И., Мартынович Н. Н. Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие чернозема оподзоленного Центральной Лесостепи Правобережья УССР. Сообщение 4. Влияние систематического применения удобрений на калийный режим почвы в зерносвеличном севообороте. Агрохимия. 1992. № 6. С. 23–28.

297. Мартынович Л. И., Мартынович Н. Н., Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие чернозема оподзоленного центральной Лесостепи Праворежья УССР. Агрохимия. 1990. №6. С. 32–41.

298. Мартынович Н. Н., Мартынович Л. И. Влияние систематического применения удобрений на продуктивность зерносвекловичного севооборота. Агрохимия, 1985. № 8. С. 57–69.

299. Мартынович Н. Н., Мартынович Л. И. Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие чернозема оподзоленного центральной Лесостепи Правобережья Украины. Сообщение 499. Влияние систематического применения удобрений на продуктивность зерносвекловичного севооборота. Агрохимия, 1995. № 8. С. 57–69.

300. Марущак А. М. Особливості обробітку ґрунту під кукурудзу в умовах зональної технології її вирощування. Зб. наук. праць. Кам'янець-Подільський, 2006. С. 163–166.

301. Марчук І. У., Яценко Л. А. Вплив тривалого застосування добрив на вміст і баланс калію в лучно-чорноземному карбонатному ґрунті Лісостепу України. Науковий вісник НАУ. 2005. Вип. 81. С. 92–97.

302. Марчук І. У., Яценко Л. А. Форми азотних сполук у лучно-чорноземному карбонатному ґрунті при довготривалому застосуванні добрив. Вісник ХДАУ. 2001. №7. С. 27–29.

303. Медведев В. В. Изменение агрофизических свойств черноземов в условиях интенсивного земледелия. Проблемы почвоведения. Советские почвоведы к XII Межд. конгр. почвоведов. Москва : Наука, 1982. С. 21–25.

304. Медведев В. В. Лындина Т. Е., Лактионова Т. Н. Плотность сложения почв (генетический, экологический и агрономический аспекты). Харьков : Изд-во «13 типография», 2004. 244 с.

305. Медведев В. В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. Москва : Агропромиздат, 1988. 160 с.

306. Медведев В. В. Плодородие почв – ключевой вопрос концепции развития земледелия. 1990. № 10. С. 30–35.

307. Медведев В. В. Твердость почв. Харьков : Изд-во КП «Городская типография», 2009. 152 с.

308. Медведев В. В. Теоретические и прикладные основы оптимизации физических свойств черноземов : Автореф. дис. на соискание учен. степени д-ра биол. наук. Москва, 1982. 47 с.

309. Медведев В. В., Бука А. Я., Губарева Д. Н. Почвенно-экологические условия возделывания сельскохозяйственных культур. Київ : Урожай, 1991. 176 с.

310. Медведев В. В., Лактионова Т. Н. Гранулометрический состав почв (генетический, экологический и агрономический аспекты). Харьков : Изд-во «Апостроф», 2011. 291 с.

311. Медведев В. В., Ландина Т. Е., Лактионова Т. Н. Плотность сложения почв (генетический, экологический и агрономический аспекты). Харьков : Изд-во «13 типография», 2004. 244 с.

312. Медведєв В. В. Деградація ґрунтів – пріоритетна проблема. Вісник аграрної науки. 2001. № 9. С. 82–84.

313. Медведєв В. В., Лактіонова Т. М., Пліско І. В. Закономірності залучення гранулометричних елементів у мікроагрегати в ґрунтах України. Агрохімія і ґрунтознавство. 2001. Вип. 61. С. 22–31.

314. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ : Урожай, 1988. 206 с.

315. Методические рекомендации по изучению показателей плодородия почв, баланса гумуса и питательных веществ в длительных опытах. Москва, 1987. 78 с.

316. Минакова О. А., Александрова Л. В., Тамбовцева Л. В. Влияние 70-летнего применения удобрений на плодородие чернозема выщелоченного Лесостепи ЦЧР и урожайность культур зерно-свекловичного севооборота. Агрохимия. 2009. № 4. С. 31–37.

317. Минеев В. Г., Дебрецени Б., Мазур Т. Биологическое земледелие и минеральные удобрения. Москва : Колос, 1993. 409 с.

318. Минеев В. Г. Химизация земледелия и природная среда. Москва. : ВО «Агропромиздат», 1990. 287 с.

319. Минеев В. Г., Ремпе Е. Х. Агрохимия, биология и экология почв. Москва : Росагропромиздат, 1990. 206 с.

320. Михновская А. Д., Кириченко Т. П., Сулейманова О. Г. Влияние способов обработки на микробиологические процессы, содержание и качество органического вещества черноземов Лесостепи УССР. Труды. ВНИИ СХМ. 1986. Т. 56. С. 62–73.

321. Михновская А. Д., Миронова Л. М., Кириченко Г. П., Парфенов М. А. Микробиологические процессы трансформации органических веществ в

разноудобренном черноземе южном при различных системах его обработки. Использование достижений микробиологической науки в повышении эффективности земледелия / Михновская А. Д., Миронова Л. М., Кириченко Г. П., Парфенов М. А. Київ : Ин-т земледелия, 1989. С. 16–20.

322. Мишунина М. П. Биологическая активность дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы при внесении возрастающих доз минеральных удобрений отдельно и совместно с навозом. Бюллетень ВНИИ удобрений и почвоведения. 1988. № 85. С. 46–48.

323. Мишустин Е. Н. Ассоциации почвенных микроорганизмов. Москва : Наука, 1975. 107 с.

324. Мишустин Е. Н. Пути улучшения азотного баланса пахотных почв СССР и выполнение продовольственной программы. Москва : Изд-во АН СССР, 1983. № 3. 325 с.

325. Мишустин Е. Н., Востров Н. С. Аппликационные методы в почвенной микробиологии. Микробиологические и биохимические исследования почв. Москва, 1971. С. 3–13.

326. Мишустин Е. П. Азот в природе и плодородие почвы. Изв. АН СССР. Сер. биол. 1972. № 1. С. 5–12.

327. Могилевкина И. А. Оценка резервных запасов искусственного фиксированного аммония в почве. Круговорот и баланс азота в системе почва-удобрение-растениевода. Москва : Наука, 1979. С. 139–140.

328. Молчанов И. Б., Зинченко А. М. Роль удобрений в формировании урожайности корнеплодов. Сахарная свекла. 2005. № 7. 34 с.

329. Моргун Ф. Т., Шикун Н. К., Тарарико А. Г. Почвозащитное бесплужное земледелие. Київ : Колос, 1984. 279 с.

330. Мудрук О. Теоретичні і методологічні аспекти проблеми періодиза-

ції історії ґрунтообробної техніки. Історія української науки на межі тися-

чоліть. зб. наук. пр. Дніпропетровський національний університет : ЦНСГБ УААН. Київ, 2001. Вип. 6. С. 115–120.

331. Мухортов С. Я. Плодородие различных частей пахотного слоя выщелоченного чернозема. Интенсивное земледелие и пути повышения плодородия почв в ЦЧЗ. Каменная степь. Москва, 1982. С. 13–18.

332. Мухортов Я. Н. Регулирование строения пахотного слоя выщелоченного чернозема в системах обработки почвы в севообороте. В. К.: Теоретические вопросы обработки почв. Ленинград : Гидрометеиздат, 1968. С. 98–102.

333. Наконечная З. И. Агрохимическое обоснование системы удобрения в зерносвекловичных севооборотах Молдавии. Кишинева : Штиинца, 1988. 374 с.

334. Насырова З. А., Джуманиязов И. Д. Динамика развития нитрифицирующих бактерий при внесении удобрений. Биодинамика почв. Таллин, 1988. 116 с.

335. Наукові основи систем землеробства / С. П. Танчик, О. А. Цюк, Л. В. Центило. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 314 с.

336. Научные основы экологического земледелия / В. М. Круть, Г. П. Фесенко, Т. С. Алексеенко и др. Київ : Урожай, 1995. 175 с.

337. Недвига М. В. Структура ґрунту. УВПП. 2005. 232 с.

338. Никифоренко Л. И. Влияние удобрений и обработки почв на содержание в них гумуса. Агрохимия. 1985. № 8. С. 105–122.

339. Никифоренко Л. И. Распределение гумуса в пахотном слое эродированного чернозема в зависимости от способов обработки. Земледелие. 1982. Вып. 55. С. 76–81.

340. Николайчук Г. М. Зависимость продуктивности севооборотов и способа удобрения сахарной свеклы. Химизация в сельском хозяйстве. 1971. № 8. С. 14–15.

341. Нікіфоренко Л. І. Розподілення гумусу в орному шарі еродованого чорнозему в залежності від способів обробітку. Землеробство. 1982. Вип. 55. С. 76–81.

342. Нікіфоренко Л. І., Предко О. І. Процеси гумусотворення і гумусовий стан ґрунту залежно від систем удобрення в сівозміні. Землеробство. 1995. Вип. 70. С. 3–11.

343. Новиков А. А. Гумус и азот в обыкновенных мицелярно-карбонатных черноземах и баланс питательных веществ : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. с.-х. наук: спец. 06.01.04 «Агрохимия». Краснодар, 1985. 24 с.

344. Носко Б. В. Шляхи збереження чорноземів України. Вісник аграрної науки. 2003. № 1. С. 24–28.

345. Носко Б. С. Изменение гумусного состояния чернозема типичного под влиянием удобрений. Почвоведение. 1987. № 5. С. 26–32.

346. Носко Б. С. Особливості антропогенної еволюції поживного режиму чорноземів. Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва: зб. наук. пр. 2008. №1. С. 79–84.

347. Носко Б. С. Фосфатний режим ґрунтів і ефективність добрив. Київ : Урожай, 1990. 220 с.

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

349. Носко Б. С. Фосфор у землеробстві України. Вісник аграрної науки. 2004. № 7. С. 14–17.

350. Носко Б. С. Шляхи збереження чорноземів України. Вісник аграрної науки. 2003. №1. С. 14–17.

351. Носко Б. С., Бабынин В. И. Калийный режим чернозема типичного и урожай сахарной свеклы при внесении калийных удобрений. Агрохимия. 1995. № 11. С. 3–15.

352. Носко Б. С., Бацула А. А., Головачев Е. А. Гумусний стан ґрунтів – функція системи землеробства. Київ : Урожай, 1987. Гл. 6. С. 57–77.

353. Носко Б. С., Котвицкий Б. Б., Бердников А. М. Трансформация в почве и поглощение растениями азота. *Агрохимия*. 1997. № 12. С. 3–11.
354. Носко Б. С., Лисовый Н. В., Столяр В. М. Калий в почвах Украины и эффективность калийных удобрений. Харьков : ИПА, 1998. 177 с.
355. Носко Б. С., Медведев В. В., Литвиненко В. В. Эффективность минеральных удобрений при разной степени уплотнения пахотного слоя черноземов. *Агрохимия*. 1979. № 12. С. 49–58.
356. Носко Б. С., Медведев В. В., Чесняк Г. Я., Бацула А. А. Проблема гумуса в земледелии. Тезисы докл. Новосибирск, 1986. С. 12–14.
357. Носко Б. С., Прокошев В. В. Калійні добрива в землеробстві України. Базель : Міжнародний інститут калію, 1999. 55 с.
358. Подвижность остаточных фосфатов и фосфатная буферность чернозема типичного / Носко Б. С., Юнакова Т. А., Бурлакова Л. Н., Копоть Н. П., Шаповалова В. С. *Агрохимия*. 2004. № 6. С. 5–10.
359. Носко Б. С., Юнакова Т. А., Копоть Н. П. Багаторічна та сезонна динаміка вмісту рухомого фосфору та ступеня рухомості за різних рівнів інтенсифікації сільськогосподарського використання. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2003. Вип. 64. С. 5–11.
360. Об эффективности элементов биологизации в зерносвекловичном севообороте. / Я. П. Цвей, В. В. Иванина, Н. Н. Воронюк, Ю. П. Дубовой. *Сахарная свекла*. 2013. № 5. С. 18–20.
361. Обробіток ґрунту в системі інтенсивного землеробства / за ред. В. М. Крутя. Київ : Урожай, 1986. 136 с.
362. Овсинський І. Є. Нова система землеробства. Львів, 2007. 106 с.
363. Оконенко А. С., Берштейн В. И. Калий, фотосинтез и фосфорный метаболизм у свеклы. Київ : Наукова думка, 1969. С. 3–210.
364. Органічне землеробство: з досвіду ПП «Агроекологія» Шишацького району Полтавської області : практичні рекомендації. / [С. С. Антонець, А. С. Антонець, В. М. Писаренко та ін.] ; за ред. В. М. Писаренко. Полтава : РВВ ПДАА, 2010. 200 с.

365. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв. Общая теория гумификации. Москва : Изд-во МГУ, 1990. 326 с.
366. Орлов Д. С. Химия почв. Москва : Изд-во МГУ, 1992. 340 с.
367. Орлов Д. С., Амосова Я. М. Сравнительная характеристика вермикомпостов. Химия в сельском хозяйстве. 1994. № 4. 11 с.
368. Орлов Д. С., Бирюков О. Н., Розанова М. С. Реальные и кажущиеся потери органического вещества почвами Российской Федерации. Почвоведение. 1996. № 2. С. 197–207.
369. Орлов О. Л. Гумусовий стан ґрунтів як відображення біогеоценетичного різноманіття. Наукові записки державного природознавчого музею. Львів, 2005. Т. 1. С. 183–190.
370. Оценка почв по содержанию и качеству гумуса для производственных моделей почвенного плодородия: / [Рекомендации под ред. Л. Л. Шипова, Л. П. Широга. Москва : Агропромиздат, 1990. 28 с.
371. Павлов К. В. Оценка калийного состояния почвы по отношению разных форм калия. Почвоведение. 2007. № 7. С. 881–884.
372. Павловський В. Б. Динаміка гумусу під дією тривалого застосування різних способів обробітку ґрунту. Вісник Білоцерківського ДАУ. 1997. Вип. 3. Ч. 2. С. 68–72.
373. Панасенко О. С., Усата Р. Ю. Мінливість якісного складу органічної частини лучно-чорноземного ґрунту за різних систем удобрення. Вісник УНУС. 2015. № 2. С. 35–39.
374. Панников В. Д., Минеев В. Г. Почва, климат, удобрение и урожай. Москва : Колос, 1977. 412 с.
375. Панников В. Д., Минеев В. Г. Химизация земледелия. Успехи и перспективы. 50 лет ВАСХНИЛ. Москва : Колос, 1979. С. 45–48.
376. Панченко В. Ф., Власенко С. П., Продуктивность зерносвекловичных севооборотов. Сахарная свекла. 2001. № 2. С.15.
377. Парахин Н. В., Наумкин В. Н., Лобков В. Т. Опыт по биологизации земледелия. Достижения науки и техники. 1996. № 1. С. 23–25.

378. Паринкина О. М., Ключева Н. В. Микробиологические аспекты уменьшения естественного плодородия почв при их сельскохозяйственном использовании. Почвоведение. 1995. № 5. С. 573–581.

379. Пати́ка В. П. Мікроорганізми і врожай. Оптимізації структури агроландшафтів і раціональне використання ґрунтових ресурсів. Київ : ДІА, 2000. С. 26–27.

380. Пати́ка В. П., Тарарі́ко О. Г. Агроєкологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель (Методично-нормативне забезпечення). Київ, 2002. 295 с.

381. Пати́ка В. П., Тихоно́вич І. А., Рілі́п'єв І. Д. Мікроорганізми і альтернативне землеробство. Київ : Урожай, 1993. 176 с.

382. Пати́ка М. В., Борко́ Ю. П., Цю́к О. А. Особливості формування різноманіття суббактеріального комплексу ризосфери. Мікробіологічний журнал. 2017. Т. 79. № 2. С. 86–94.

383. Петербургский А. В. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. Москва : Наука, 1979. 168 с.

384. Петренко Л. Р., Андріє́нко В. О., Рі́дей Н. М. Зміна біологічних властивостей ґрунтів під впливом обробітку ґрунту без обертання скиби. Відтворення родючості ґрунтів у захисному землеробстві. / під ред. М. К. Шикули. Київ : ПФ «Оранта», 1998. С. 122–144.

385. Петриченко В. Ф., Колі́сник С. І., Панасю́к О. Я., Єрмолає́в М. М. Продуктивність кукурудзи залежно від глибини оранки на різних системах удобрення в Лісостепу України. зб. наук. пр. ВНАУ. Землеробство. 2012. Вип. 4. № 63. С. 3–8.

386. Петрова О. Т. Вміст гумусу в ґрунті на початку і в кінці ротації сівозмін багатofакторного стаціонару. Цукрові буряки. 2004. № 6. С. 6–7.

387. Плато́нов А. М. Влияние промежуточных культур на плодородие почвы и продуктивность плодосменного севооборота : автореф. дис. На здобуття наук. ступення канд. с.-х. наук: 06.01.01 / ТСХА. Москва, 1974. 14 с.

388. Плишко М. К., Битюкова Л. Б., Коломиец Н. В. Гумусное состояние и микробиологическая активность серой лесной почвы при различных системах ее обработки. Почвоведение. 1992. № 12. С. 35–49.

389. Половені В. М. Вплив тривалого застосування різних систем удобрення на продуктивність цукрових буряків. Передгір. та гірське землеробство і тваринництво: Міжвід. темат. наук. зб. 2004. Вип. 46. Ч.1. С. 77–85.

390. Полупан М. І. Теоретичні основи нагромадження гумусу в природних умовах, його еволюція та управління ним в агроценозах. Вісник аграрної науки. 1997. № 9. С. 21–26.

391. Полупан М. І., Ковальов В. Г. Теоретичні основи нагромадження гумусу в природних умовах, його еволюція та управління ним в агроценозах. Вісник аграрної науки. 1997. № 9. С. 21–26.

392. До питання теоретичних і практичних основ бонітування ґрунтів / Полупан М. І., Соловей В. Б., Ковальов В. Г., Величко В. А., Полупан В. І., Францевський О. А. Вісник аграрної науки. 2001. № 6. С. 17–26.

393. Полупан Н. И. Приоритетные фундаментальные направления развития почвоведения в Украине. Вісник аграрної науки. 1995. № 3. С. 29–38.

394. Полупан Н. И., Чесняк Г. Я. Динамика содержания гумуса и его состав. Почвы Украины и повышение их плодородия. Київ : Урожай, 1988. С. 94–103.

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

396. Польовий В., Веремеєнко С., Івашинюта Т. Трансформація якісних показників гумусу дерново-підзолистого ґрунту під впливом тривалого удобрення і вапнування. Вісник Львівського державного аграрного університету. 2007. № 11. Серія Агрономія. С. 484–491.

397. Польовий В. М. Зміна гумусового стану і поживного режиму темно-сірого опідзоленого ґрунту за різних систем удобрення. Матеріали міжнародної наукової конференції. Житомир, 2005. С. 66–69.
398. Польовий В. М. Оптимізація систем удобрення у сучасному землеробстві. Монографія. Рівне : Волинські обереги, 2007. 320 с.
399. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование. Ленинград : Наука, 1980. 220 с.
400. Попов П. Д. Обеспечить бездефицитный баланс гумуса. Земледелие. 1987. №8. С. 38–40.
401. Почвозащитная обработка эродированного чернозёма. / В. П. Веретельников, В. А. Рядовой, А. П. Покуленку и др. Вестн. с.-х. науки. 1991. № 8. С. 87–90.
402. Прижукова В. Г., Тюхова М. В. Оценка калийного состояния почв. Плодородие. 2000. №3. С. 5–7.
403. Примак І. Д. Продуктивність плодозмінних сівозмін залежно від систем зяблевого обробітку ґрунту в центральному Лісостепу України. Вісник Білоцерківського ДАУ. 2003. Вип. 26. С. 94–103.
404. Примак І. Д., Боканча А. П. Мікробіологічна активність чорнозему типового і продуктивність плодозмінної сівозміни за різних систем механічного обробітку ґрунту в центральному Лісостепу України. Науковий вісник Ужгородського університету. 2009. Вип. 26. Сер. Біологія. С. 220–224.
405. Продуктивность культур зерносвекловичных севооборотов при различных нормах удобрений в центральной лесостепи УССР. В. Н. Якименко, В. Л. Теселько, Н. Н. Кожуховский и др. Агрохимия. 1984. № 6. С. 22–31.
406. Прокошев В. В., Дерюгин И. П. Калий и калийные удобрения. Москва : Ледум, 2000. 185 с.
407. Протопопов Н. Ф. Ускоренные способы подготовки субстрата у вермипроизводстве. Химия в сельском хозяйстве. 1994. № 4. 10 с.

408. Прянишников Д. Н. Избранные сочинения в трех томах. Т.1. Агрохимия. Москва : Сельхозизд, 1952. 691 с.
409. Прянишников Д. Н. Избранные сочинения в трех томах. Москва : Изд. АН СССР, 1951. Т. 1. 1953. 691 с.
410. Пупонин А. И. Действие минимальной обработки на плодородие дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы и урожай полевых культур. Вестник с.-х. науки. 1984. № 2. С. 56–63.
411. Пупонин А. И. Обработка почвы в интенсивном земледелии Нечерноземной зоны. Москва : Колос, 1984. 184 с.
412. Пчелкин В. У. Почвенный калий и калийные удобрения. Москва : Колос, 1966. 335 с.
413. Пшебельский В. В., Рудиченко Е. П. Навоз в зерносвекловичном севообороте на мощных черноземах. Агрохимия. 1975. № 8. С. 54–59.
414. Пыхтин И. Г. Обработка почвы: действительность и мифы. Земледелие. 2017. № 1. С. 33–36.
415. Разнокачественность пахотного слоя по элементам плодородия при безотвальной обработке. / А. Е. Горбачева, Г. Г. Лапко, Н. Ф. Дзюбинский и др. Вестн. с.-х. науки. 1988. № 2. С. 95–102.
416. Рассел Э. Почвенные условия и рост растений пер. с англ. И. М. Спичкина. Москва : Изд-во иностранной лит-ры. 1955. 623 с.
417. Ревут И. Б. Новое в науке о механической обработке почвы. Теоретические вопросы обработки почв. Ленинград : Гидрометеиздат, 1972. Вып. 3. С. 5–10.
418. Ревут И. Б. Физика почв. Ленинград : Колос, 1964. 320 с.
419. Ревут И. Б., Соколовская Н. А., Васильев А. М. Структура и плотность почвы – основные параметры кондиционирующие почвенные условия жизни растений. Ленинград : Гидрометеиздат, 1971. 209 с.
420. Ремезов Н. П., Макаров В. Т. Почвоведение с основами земледелия. Москва : Изд-во Москов. ун-та, 1963. 476 с.

421. Рогальський С. В. Відтворення енергетичного потенціалу ґрунту у Лісостепу. Вісник аграрної науки. 2001. № 4. С. 75–76.
422. Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге. Ленинград : Гидрометеиздат, 1965. Т. 1. 664 с.
423. Родючість ґрунтів: моніторинг та управління / за ред. В. В. Медведєва. Київ : Урожай, 1992. 248 с.
424. Роззіцька Г. В. Основний обробіток ґрунту як фактор впливу на забур'яненість посіві цукрових буряків та їхню продуктивність. Цукрові буряки. 2010. №. 4. С. 8–10.
425. Рощина Г. Д., Пестряков А. М. Изменение агрохимических свойств темно-серой почвы при различных системах применения удобрений в полевом севообороте. Агрохимия. 1983. №9. С. 90–94.
426. Русакова И. В., Кулинский Н. А. Воспроизводство плодородия серой лесной почвы при использовании биоресурсов агроценоза. Плодородие. 2009. № 5. С. 29–30.
427. Руцкая С. И., Тонкаль Е. А., Правилова В. П. Роль биологического азота в зерносвекличном севообороте. Экологические проблемы интенсивного земледелия в работах свеклосеяния. 1991. Вып. 23. С. 71–81.
428. Рябов Е. И., Белозёров А. М., Бурькин С. И. Почвозащитная система земледелия на основе минимальной обработки. Земледелие. 1992. № 8. С. 31–35.
429. Рябчук Д. И. Влияние основных элементов питания на урожай и качество зерна озимой пшеницы на выщелоченном черноземе. Агрохимия. 1978. № 6. С. 39–42.
430. Сабинин Д. А. Физиологические основы питания растений. Москва : Академиздат, 1955. 512 с.
431. Сайко В. Ф. Використання на удобрення побічної продукції рослинництва в Україні. Землеробство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. 2009. Вип.81. С. 3–9.

432. Сайко В. Ф. Проблема і шляхи нагромадження і використання біологічного азоту в сучасному землеробстві України. Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства УААН». 2006. Спецвипуск. 240 с.
433. Сайко В. Ф. Системи обробітку ґрунту в Україні. Київ, 2007. 42 с.
434. Сайко В. Ф., Бойко П. І. Сівозміни у землеробстві. Київ : Аграрна наука, 2002. 146 с.
435. Сайко В. Ф., Яшовський М. В., Малиєнко А. М. Научные основы ведения зернового хозяйства. Київ : Урожай, 1989. 312 с.
436. Сдобников О. В. Фосфорные удобрения и урожай. Москва : Агропромиздат, 1985. 111 с.
437. Сдобников С. С. Навоз в современном сельском хозяйстве. Земледелие. 1991. № 6. С. 53–55.
438. Сдобников С. С. Обработка почвы и питание растений. Земледелие. 1980. № 8. С. 18–21.
439. Сеньків Г. Й., Дуда Л. В., Мацишин М. М. Формування балансу гумусу в різних типах сівозмін Західного Лісостепу України. Агрохімія і ґрунтознавство. 1998. Ч. 2. С. 58–59.
440. Сеньків Г. Й., Петрунів І. І. Вапнування – шлях підвищення продуктивності ґрунтів. Поради сільському господарю. Львів-Оброшино, 1999. С. 10–11.
441. Серєда Н. А., Лукьянов С. А., Богданов Ф. М. Изменение фонда обменного калия в черноземах Южного Урала при их длительном сельскохозяйственном использовании. Агрохимия. 2000. № 1. С. 13–22.
442. Серєда Н. А., Хелилулин К. З., Трапезников В. К. Сезонная и многолетняя динамика фосфора в черноземе выщелоченном под влиянием доз и способов внесения удобрений. Агрохимия. 1998. №6. С. 5–11.
443. Силаков С. Н., Турсина Т. В. Изменение строения серых лесных почв при интенсивном окультуривании. Почвоведение. 1993. № 8. С. 87–93.
444. Сичев В. Г. Динамика баланса питательных веществ. Агрохимический вестник. 2000. №3. С. 33–36.

445. Сичук Л. В., Кицюк В. В., Черевко Т. В. Вплив основного обробітку ґрунту сівби та догляду за посівами на продуктивність цукрових буряків. Цукрові буряки. 2011. №. 4. С.17–19.

446. Сінченко В.М. Ефективність сучасного землеробства на основі його енергетичного базису. Вісник аграрної науки. 2004. № 11. С.14–17.

447. Скорманис А. Плодородие почв и использование навоза. Рига : Авотс, 1989. 243 с.

448. Скорняков С. М. Плуг: Крушение традиций? Москва : Агропромиздат, 1989. 176 с.

449. Скрильник Є. В. Трансформація гумусного стану ґрунтів та їх енергоємність під впливом різних систем удобрення. Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. 2010. Вип. 7. С. 184–194.

450. Слободян В. А., Слободян Н. С. Влияние биогумуса на микробиологические процессы в почве. Химия в сельском хозяйстве. 1994. № 4. С.8–9.

451. Слободян С. М. Ріст і формування продуктивності культур та якості продукції зерно-бурякової сівоzmіни при застосуванні розрахункових норм добрив у південно-західній частині Лісостепу України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра. с.-г. наук: спец: 06.01.14 «Агрохімія». Київ, 1995. 48 с.

452. Слободян С. М., Гончарук О. В. Розрахункові дози добрив під сільськогосподарські культури в умовах Південно-Західного Лісостепу України. Чернівці : Прут, 1994. 240 с.

453. Смагин В. П., Заздравний А. Н. Агрономическое значение твердости почв. Почвоведение. 1981. № 2. С. 138–141.

454. Смирнов А. П. Накопление основных элементов в почвах и потребление их культурами при систематическом применении удобрений в севооборотах. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. Пущино : НЦБИ АН СССР, 1979. С. 141–146.

455. Смирнов П. И. Вопросы агрохимии в исследованиях с ^{15}N . Москва : ТСХА, 1982. 74 с.
456. Смирнов П. М., Кудин В. В., Иванникова Л. А. Влияние окультуренности почв на баланс меченого ^{15}N азота удобрений в длительном опыте. Агрохимия. 1980. №8. С. 3–13.
457. Собко О. О. Родючість ґрунтів – в основу землеробства. Київ : Т-во «Знання», 1984. 48 с.
458. Соколов А. В. Гладкова К. Ф. Накопление в почве остаточных фосфатов удобрений. Агрохимия. 1979. № 9. С. 18–24.
459. Соловинко В. Д., Тютюнов С. И., Уваров Г. И. Воспроизводство плодородия почв и рост продуктивности сельскохозяйственных культур Центрального Черноземного региона. Белгород: «Отчий край». 2012. 256 с.
460. Сологуб Ю. І. Продуктивність сівозмін за умов альтернативного землеробства. Вісник аграрної науки. 1999. № 8. С. 81–82.
461. Використання сидератів і соломи на добриво-реальний шлях підвищення родючості ґрунтів західного регіону: Наук.-метод. рек. / Сорочинський В. В., Бульо В. С., Габриєль Г. Й., Польовий В. М. Львів : Оброшине, 2005. 20 с.
462. Справочник по качеству зерна. / под ред. Г. Г. Жемелы. Київ : Урожай, 1988. 216 с.
463. Стан родючості ґрунтів України та прогноз його змін за умов сучасного землеробства. / за ред. В. В. Медведєва, М. В. Лісового. Харків : Штрих, 2001. 98 с.
464. Станков Н. З. Корневая система полевых культур. Москва : Колос, 1964. 267 с.
465. Суков А. А. Баланс азота удобрений при систематическом их внесении. Агрохимия. 1982. №1. С. 3–8.
466. Сурков А. И. Структурный и агрегатный состав серых лесных суглинистых почв Горьковской области. Сб. науч. тр. ГСХИ: генезис и регулирование плодородия почв. Горький, 1984. С. 29–37.

467. Танчик С. П. Ефективність систем землеробства в Україні. Вісник аграрної науки. 2019. 12. С. 5–11.
468. Танчик С. П. Основний обробіток ґрунту під кукурудзу. Вісник аграрної науки. 2003. № 1. С. 28–33.
469. Танчик С. П. Ямковий В. Ю. Вплив агротехнічних заходів на біологічну активність ґрунту та продуктивність пшениці озимої в Лісостепу України. Науковий вісник НУБіП України. 2010. Т. 145. С. 45–49.
470. Танчик С. П., Миколенко Я. О. Вплив систем основного обробітку ґрунту на вміст доступної вологи та продуктивність кукурудзи в Правобередному Лісостепу. Вісник аграрної науки. 2017. №4. С. 12–16.
471. Танчик С. П., Павлов О. С. Відтворення родючості ґрунту за різних систем землеробства. Науковий вісник НУБіП України. Серія Агрономія. 2013. 183 (2). С. 135–143.
472. Танчик С. П., Сальніков С. М. Вплив систем землеробства на динаміку показників родючості ґрунту агрофітоценозу буряків цукрових. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2014. №3. С. 46–49.
473. Танчик С. П., Цюк А. А. Обработка почвы и засоренность посевов. Защита и карантин растений. 2013. №10. С. 13 с.
474. Танчик С. П., Цюк О. А., В'ялий С. О. Розвиток органічного землеробства в Україні. Вісник аграрної науки. 2009. №1. С. 11–15.
475. Тарарико А. Г. Агроэкологические основы почвозащитного земледелия. Київ : Урожай, 1990. 184 с.
476. Тарарико Н. Н., Гордецкая С. П., Олейник Е. М. Особенности корневого питания озимой пшеницы в связи с удобрением и разными способами обработки дерново-подзолистой почвы. Агрохимия. 1986. № 7. С. 47–49.
477. Тарарико Ю. А. Формування устойчивых агроэкосистем. Киев : ДИА. 2007. 560 с.

478. Тарарико Ю. О. Формирование стабильных агроэкосистем: теория и практика. Київ : Аграрна наука, 2005. 508 с.
479. Тараріко О.Г., Макаренко В. В. Про методичне забезпечення досліджень з питань землеробства: стан і перспективи. Вісник аграрної науки. 1995. № 6. С. 24–29.
480. Тараріко Ю. О., Андрійченко О. А. Біоенергетична оцінка ефективності застосування добрив в зерно просапних сівозмінах. Агроєкологічний журнал. 2001. № 2. с.14–17.
481. Тараріко Ю. О., Несмашна О. Ю., Бердніков О. М., Глущенко Л. Д., Личук Г. І. та ін. Біоенергетична оцінка сільськогосподарського виробництва. Київ : Аграрна наука, 2005. 200 с.
482. Тараріко Ю. А., Бердніков О. М. Формування біоенергетичних агроєкоосистем в зоні Полісся України:[рекомендації. /Науково-технічне забезпечення аграрного виробництва. Київ, 2012. 46 с.
483. Технологія відтворення родючості ґрунтів у сучасних умовах. Під ред. С. М. Рижуча, В. В. Медведєва. Київ, 2003. 213 с.
484. Тихонов А. Г. Економіко-екологічні аспекти інтенсифікації у землеробстві. Київ : Урожай, 1990. 152 с.
485. Тонкаль Е. А., Горная В. А., Охмакевич В. С. Влияние навоза и минеральных удобрений на продуктивность культур свекловичных севооборотов в разных зонах СССР. Киев : ВНИС. 1969. С. 5–24.
486. Тонкаль Е. А., Шиманская Н. К. Удобрения улучшают качество сахарной свеклы. Сахарная свекла. 1981. №10. С. 35–36.
487. Тонха О. Л., Евпак І. В. Гумусний стан цілинних і освоєних чорноземів Лісостепу і Степу України. Науковий вісник НУБіП. Серія: Агрономія. 2016. № 235. С. 166–178.
488. Трансформація гумусу при різних системах землеробства / І. С. Шкаредний, І. В. Глущенко, М. О. Кісілевська та ін. / Система землеробства у буряківництві. Київ : Аграрна наука, 1997. С. 171–178.

489. Трансформація органічної речовини ґрунтів Полісся і Лісостепу при застосуванні добрив. Є. Г. Дегодюк, Л. І. Нікіфоренко, С. Є. Дегодюк та ін. Землеробство. 2003. № 75. С. 3–9.
490. Трепачев Е. П. О методике исследований азотного баланса почвы в длительных опытах. Почвоведение. 1976. №3. С. 137–139.
491. Трепачев Е. П. О некоторых аспектах симбиотической фиксации азота бобовыми культурами. Агрохимия. 1976. № 1. С. 138–147.
492. Трепачев Е. П., Атрашкова Н. А., Хабарова А. И. Размеры фиксации атмосферного азота бобовыми растениями и методы их определения. Агрохимия. 1967. № 8. С. 10–18.
493. Трускавецький Р. С. Буферна здатність ґрунтів та їх основні функції. Харків : Нове слово. 2003. 224 с.
494. Туев Н. А. Микробиологические процессы гумусообразования. Москва : Агропромиздат, 1989. 239 с.
495. Туев Н. А. Органическое вещество почвы и его биологическая трансформация. Биологические основы плодородия почвы. Москва : Колос, 1984. С. 7–53.
496. Турусов В. И., Новичихин А. М., Гармашов В. М., Гаврилова С. А. Изменения потенциального плодородия чернозема при различных способах основной обработки почвы. Земледелие. 2013. № 7. С. 12–14.
497. Тюрин И. В. Почвообразовательный процесс, плодородие почвы и проблема азота в почвоведении и земледелии. Почвоведение. 1965. №3. С. 1–17.
498. Тютюнов С. И., Никитин В. В., Соловиченко В. Д. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность и качество сахарной свеклы. Сельскохозяйственные науки. 2016. Вип. № 6 (48). Ч. 5. С. 198–203.
499. Унгурян В. Лимитирующие факторы и пути воспроизводства плодородия черноземов Молдавии. Проблемы повышения продуктивности черноземных почв. Харьков, 1983. С. 10–11.

500. Ушкаренко В. А., Ушкаренко Т. П., Петрова К. В. Сбережение энергетических затрат в условиях интенсивного использования орошаемых земель Юга Украины. Сб. науч. трудов. Херсон, 1989. С. 57–63.

501. Фантух О. О. Агротехнічна і енергетична ефективність технологій обробітку в зерно-буряковій сівозміні на чорноземах реградованих: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.01 «Загальне землеробство». Київ, 1996. 16 с.

502. Филон И. И., Гриб Н. И., Краснюк И. М. Влияние длительного применения удобрений на состояние фосфатного фонда чернозема типичного южной Лесостепи Левобережной Украины. Агрохимия. 1994. № 3. С. 19–24.

503. Филон И. И., Шелард И. А. Содержание калия в черноземе типичном и темно-серой лесной почве при их сельскохозяйственном освоении. Агрохимия. 1999. №1. С. 21–27.

504. Филон И. И., Шипарь И. А. Изменение содержания азота и его различных форм в черноземе типичном и темно-серой лесной почве Лесостепи Украины. Агрохимия. 1996. № 7. С. 3–9.

505. Філон І. І. Агроекологічний стан чорнозему типового при окультуренні та продуктивність і якість урожаю рослин. Харків, 2000. 88 с.

506. Фокин А. Д. О роли органического вещества почв в функционировании природных и сельскохозяйственных экосистем. Почвоведение. 1994. № 4. С. 40–45.

507. Фолкнер Э. Безумие пахаря. Москва : Изд-во с.-х. литературы, 1959. 302 с.

508. Хазиев Ф. Х. Роль ферментативной активности в осуществлении почвой экологических функций. Тезисы докладов международной научной конференции «Экология и биология почв». Ростов-на-Дону. 2005. С. 514–515

509. Хазиев Ф. Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. Москва : Наука, 1982. 190 с.

510. Хазцев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. Москва : Наука, 2005. 252 с.

511. Хан Д. В. Органо-минеральные соединения и структура почвы. Москва : Наука, 1969. 142 с.
512. Харченко В. Я. Причини деградації дерново-підзолистих ґрунтів Чернігівського Полісся і заходи щодо їх подолання. Агрохімія і ґрунтознавство. Харків, 2003. Вип. 64. С. 20–24.
513. Хелешский М. З., Варшавський Б. Я. Что такие технологические качества сахарной свеклы. Сахарная свекла. 1971. № 1. С. 31–33.
514. Хлыстовский А. Д. Плодородие почвы при длительном применении удобрений и извести. Москва : Наука, 1992. 192 с.
515. Ходаковский П. П., Шиманская Н. К., Бендерская Е. И. Основная обработка почвы и продуктивность озимой пшеницы. Вестник с.-х. науки. 1984. № 12. С. 17–19.
516. Хрулев А. В. Двухъярусная плоскорезная обработка почвы. Зерновые культуры. 2000. № 5. С. 23–24.
517. Цапко Ю. Л., Иванова В. І., Андрійченко О. А. Зміни якісного складу гумусу чорнозему опідзоленого Правобережного Лісостепу під впливом різних систем добрив. Агрохімія і ґрунтознавство. 1992. Вип. 54. С. 12–15.
518. Цвей Я. П. Горобець А. М. Продуктивність короткоротаційних сівозмін в Лісостепу України. Цукрові буряки. 2006. № 6. С. 10–11.
519. Цвей Я. П. Продуктивність зерно бурякової сівозміни. Збірник наукових праць Інституту землеробства УААН. 2004. Вип. 2–3. С. 19–23.
520. Цвей Я. П., Недашківський О. І., Кісілевська М. О. Залежність родючості чорноземних ґрунтів від системи удобрення і чергування культур у сівозміні. Вісник аграрної науки. 2007. № 11. 5 с.
521. Цвей Я. П., Петрова О. Т., Климчик С. М. Баланс елементів живлення в сівозмінах Лісостепу. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2008. Вип. 129. С. 239–244.
522. Цвей Я. П. Біоенергетична оцінка продуктивності різноротаційних сівозмін. Збірник наукових праць ІБКЦБ. 2011. Вип. 12. С. 46–55.

523. Цвей Я. П. Бондарь С. А. Агрохимическое состояние чернозема в зависимости от системы удобрений сахарной свеклы. Збалансоване природокористування. 2017. № 2. С. 37–42.

524. Цвей Я. П. Недашківський О. І., Кіселевська М. О. Родючість ґрунту в короткоротаційних сівозмінах Лісостепу. Вісник аграрної науки. 2003. № 10. С. 11–15.

525. Цвей Я. П. Родючість ґрунтів і продуктивність сівозмін: монографія. Київ : ЦП «Компринт», 2014. 415 с.

526. Цвей Я. П. Уміст мінерального азоту і його міграція у чорноземних ґрунтах залежно від системи удобрення цукрових буряків. Вісник аграрної науки. 2005. № 2. С. 14–17.

527. Цвей Я. П., Иванина В. В., Петрова Е. Т., Дубовы Ю. П. Влияние севооборота и системы удобрения на фосфатный режим чернозема выщелоченного. Земледелие. 2014. № 2. С. 17–20.

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

529. Цвей Я. П., Іваніна В. В., Ременюк Ю. О. [та ін.] Зміна агрохімічних показників чорнозему типового залежно від довготривалого застосування добрив у Лісостепу. Вісник аграрної науки. 2012. №7. С. 11–15.

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

531. Цвей Я. П., Кіселевська М. О., Торліна О. М. Вміст гумусу в чорноземних ґрунтах залежно від сіво-змін та систем удобрення. Зб. наук. пр. Ін-т біоенерг. культур і цукр. Буряків. 2014. Вип. 22. С. 107–110.

532. Цвей Я. П., Мазур Г. А., Шишанська Н. К., Іваніна В. В. Вплив системи удобрення цукрових буряків на вміст мінерального азоту в чорноземі вилугуваному. Вісн. Білоцерківського ДАУ. 2001. Вип. 15. С. 158–162.

533. Цвей Я. П., Мазур Г. М. Особливості впливу системи удобрення цукрових буряків на фонд обмінного калію чорнозему вилугуваного. Агроєкологічний журнал. 2001. № 1. С. 55–57.

534. Цвей Я. П., Недашківський О. І., Кісілевська М. О. Формування поживного режиму чорнозему при удобренні цукрових буряків у коротко ротаційних сівозмінах. Вісник аграрної науки. 2004. № 2. С. 11–14.

535. Цвей Я. П., Шиманська Н. К. Агроєкологічна оцінка балансу системи удобрення зерно-бурякової сівозміни Лісостепу України. Агроєкологія і біотехнологія. Зб. наук. праць інституту агроєкології та біотехнології УААН. 2000. Вип. 4. С. 92–98.

536. Цвей Я. П., Шиманська Н. К. Гумусовий стан чорнозему в процесі довготривалого застосування добрив. Агроєкологічний журнал. 2002. № 3. С. 73–75.

537. Цвей Я. П. Біоенергетична оцінка продуктивності різноротаційних сівозмін. Збірник наукових праць ІБКЦБ. 2001. Вип. 12. С. 45–55.

538. Циков В. С. Состояние и перспективы развития системы обработки почвы. Днепропетровск : ЭНЭМ, 2008. 168 с.

539. Циков В. С., Логачев Н. И. Гидротермические условия и урожайность кукурузы. Вестн. с.-х. науки. 1995. № 1. С. 103–108.

540. Цилюрик О. І. Вплив способів основного обробітку на фізичні властивості і водний режим ґрунту. Агрохімія і ґрунтознавство: Міжвід. темат. наук. зб. Харків : ІГА, 2009. С. 31–36.

541. Цилюрик О. І., Судак В. М., Шапка В. П. Продуктивність короткоротаційної сівозміни залежно від системи обробітку ґрунту на фоні суцільного мульчування післяжнивними рештками. Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони. 2015. № 8. С. 66–72.

542. Цилюрик О. І., Шапка В. П. Ефективність безполицевого обробітку ґрунту за вирощування ячменю ярого в північному Степу. Вісник Полтавської ДАА. 2014. № 1. С. 25–29.

543. Цуркан М. А. Агрохимические основы применения органических удобрений. Кишинев : Штиинца, 1985. 228 с.

544. Цюк О. А. Продуктивність ріллі зерно-просапної сівозміни Лісостепу під впливом екологізації землеробства. Вісник ХНАУ. 2008. № 4. С. 75–78.

545. Цюк О. А. Агрофізичні властивості ґрунту в посівах буряків цукрових за екологізації землеробства. Цукрові буряки. 2006. № 3. С 7–9.

546. Цюк О. А. Вплив систем землеробства на вміст гумусу та чисельність мікроорганізмів у чорноземі типовому. Агрохімія і ґрунтознавство. 2009. Вип. 72. С. 97–101.

547. Цюк О. А. Вплив систем землеробства на вміст гумусу та чисельність мікроорганізмів у чорноземі типовому. Агрохімія і ґрунтознавство. 2009. Вип. 72. С. 97–101.

548. Цюк О. А. Зміни агрофізичних властивостей ґрунту в агрофітоценозі пшениці озимої залежно від систем його основного обробітку. Наукові доповіді НУБіП України. 2016. № 1 (58). URL: nd.nubip.edu.ua.

549. Цюк О. А., Кирилюк В. І., Ющенко Л. П. Біохімічна активність чорнозему типового за різних систем землеробства. Мікробіологічний журнал. 2017. Т. 49. № 3. С. 65–71.

550. Цюк О. А., Манько Ю. П., Ямковий В. Ю. Зміна агрофізичних властивостей ґрунту залежно від систем землеробства. Таврійський науковий вісник: Збірник наукових праць ХДАУ. 2007. Вип. 52. С. 102–108.

551. Чевердин Ю. И. Изменение свойств почв юго-востока Центрального Черноземья под влиянием антропогенного воздействия. Воронеж : Истоки, 2013. 335 с.

552. Чекар О. Ю. Якісні зміни гумусу чорноземів типових під впливом антропогенного фактора. Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва: зб. наук. пр. 2009. № 3. С. 64–68.

553. Черепанов В. П., Якименко В. Н. Баланс элементов питания в свекловичном севообороте при разных дозах удобрений. *Агрохимия*. 1980. № 8. С. 49–56.
554. Чернилевский Н. С. Изучение способов обработки почвы в Полесье Украины. *Земледелие*. 1986. № 12. С. 35–36.
555. Чернышов В. А., Вальдгауз Э. Г. Почвенное плодородие и обработка почвы. Ленинград : Лениздат, 1973. 93 с.
556. Чесняк Г. Я. Закономірності змін вмісту гумусу і шляхи забезпечення його бездефіцитного балансу в чорноземах типових при інтенсифікації землеробства. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 1982. Вип. 43. С. 18–23.
557. Чесняк Г. Я. Развитие культурного почвообразовательного процесса в черноземе мощном Лесостепи УССР. *Труды Харьковского СХИ*. 1973. Т. 185. С. 86–94.
558. Чесняк Г. Я., Бацула О. О., Дерев'янка Р. Г. Параметры гумусового стану ґрунтів. *Ук.: Забезпечення бездефіцитного балансу гумусу в ґрунті*. Київ : Урожай, 1987. 125 с.
559. Чесняк Г. Я., Чесняк О. Я., Степаненко А. Я. Содержание подвижных органических веществ в черноземах мощных Лесостепи УССР как показатель окультуренности. *Научн. тр. Харьков. СХИ*. 1970. Т. 87 (124). С. 29–36.
560. Чириков Ф. В. *Агрохимия калия и фосфора*. Москва : Сельхозизд. 1956. 464 с.
561. Чтобы не убывало плодородие земли / Медведев В. В., Кривоносова Г. М., Кукоба Г. И. и др. Київ : Урожай, 1989. 192 с.
562. Шайтмухамедов М. Ш., Травникова Л. С. Калийное состояние почв Европейской территории России. *Почвоведение*. 2000. №3. С. 329–339.
563. Шарифуллин Л. Р. Удобрения и микробиологические процессы. *Земледелие*. 1985. № 1. С. 12–13.

564. Шатилов И. С. Программирование плодородия почвы, высокой урожайности хорошего качества с одновременным сохранением внешней среды. Аграрная наука. 1993. № 3. С. 11–13.

565. Шафран С. А. Динамика применения удобрений и плодородие почв. Агрохимия. 2004. № 1. С. 9–17.

566. Шевцова Л. К., Володарская И. В. Трансформация гумуса дерново-подзолистых почв в опытах с длительным применением удобрений. Почвоведение. 1998. № 7. С. 825–831.

567. Шевцова Л. К., Сидорина С. И., Володарская И. В. Гумусное состояние черноземных почв при длительном применении удобрений. Агрохимия. 1989. № 2. С. 41–47.

568. Шевченко А. І., Шевченко А. А. Агрохімічні властивості чорнозему та врожай і якість зерна озимої пшениці в умовах тривалого застосування добрив. Вісник сільськогосподарської науки. 1978. №4. С. 5–8.

569. Шевченко М. В. Вплив способів обробітку ґрунту та гербіцидів на врожайність просапних культур в Лівобережному Лісостепу. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2014. Вип. 20. С.138–142.

570. Шевченко М. С., Лебідь Е. М., Десятник Л. М. Продуктивність науково обґрунтованих сівозмін у зоні Степу. Збірник наук .пр. ННЦ «Інститут землеробства НААН». 2015. Вип. 1. С. 7–12.

571. Шикуча М. К. Біохімічний механізм саморегуляції ґрунтової родючості. Науковий вісник НАУ. 1997. № 1. С. 163–171.

572. Шикуча М. К. Концепція біологічного землеробства на чорноземних ґрунтах. Науковий вісник НАУ. 2005. № 81. С. 262–278.

573. Шикуча М. К. Наукове обґрунтування ґрунтозахисної системи землеробства в Україні. Вісник аграрної науки. 1998. № 9. С. 98–101.

574. Відтворення родючості ґрунту в ґрунтозахисному землеробстві. / Шикуча М. К., Балаєв А. Д., Андрієнко В. О. та ін. Київ : Урожай, 1998. С. 208–219.

575. Шикула М. К., Демиденко О. В. Гумусовий стан чорнозему типового в умовах Лівобережного Лісостепу. Вісник аграрної науки. 2004. № 2. С. 5–13.

576. Шикула М. К., Демиденко О. В. Мікробіологічні умови відтворення родючості за мінімального обробітку ґрунту. Науковий вісник НАУ. 2005. № 81. С. 123–128.

577. Шикула М. К., Франко О. В., Тонха О. Л. Нетоварна частина врожаю як органічне добриво у ґрунтозахисному землеробстві. Вісник ХНАУ. 2002. № 1. С. 57–61.

578. Шикула Н. К., Герасименко В. П., Подгорній В. К. Предотвращение эрозионных процессов на пахотных землях Украины и Молдавии. Гидротехника и мелиорация. 1987. № 9. С. 53–59.

579. Шикула Н. К., Гнатенко А. Ф. Влияние эрозии на параметры плодородия черноземов типичных и эффективность почвозащитных технологий. Эффективность почвозащитных технологий обработки градированных почв Украинской ССР: Сб. науч. тр. Киев, 1987. С. 18–25.

580. Шикула Н. К., Гнатенко А. Ф., Петренко Л. Р. Элементы моделирования почв высокого плодородия: Методические рекомендации. Київ : УСХА, 1990. 24 с.

581. Шикула Н. К., Назаренко Г. В. Минимальная обработка черноземов и воспроизводство их плодородия. Москва : Агропромиздат, 1990. 64 с.

582. Шикула Н. К., Назаренко Г. В., Балаев А. Д., Капштык М. В. Влияние длительной бесплужной обработки на содержание и качество гумуса. Земледелие. 1987. № 4. С. 24–27.

583. Шиліна Л. І., Шаповал І. Е., Єрмолаєв М. М. Зміна структурно-агрегатного стану чорнозему типового під впливом чинників землеробства. Агрохімія і ґрунтознавство: Міжвід. темат. наук. зб. 2006. Спец. вип., Кн. 2. С. 188–190.

584. Шиманська Н. К. Вплив добрив на підвищення родючості ґрунту, урожай та якість культур зерно-бурякової сівозміни. Резерви продуктивності сільськогосподарських культур бурякової сівозміни. Київ, 1994. С. 13–22.

585. Шишлянников И. Д. Минимализация обработки почвы под поздние культуры. Земледелие. 1997. № 3. С. 24–25.

586. Шиян П. М. Оптимізація азотного живлення цукрових буряків і його діагностика. Оптимізація азотного живлення при інтенсивних технологіях. Київ : Урожай, 1992. С. 49–61.

587. Шиян П. М., Бондаренко В. М. Изучение трансформации азота аммиачной селитры в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой. Почвоведение. 1990. № 11. С. 104–115.

588. Шиян П. Н. Разработка научных основ оптимизации и диагностики азотного питания сахарной свеклы : автореф. дис. на соискание науч. степени доктора биол. наук: спец. 06.01.04 «Агрохимия». Київ, 1986. 50 с.

589. Шиян П. Н., Бондаренко В. М. Изучение трансформации азота аммиачной селитры в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой. Почвоведение. 1990. № 11. С. 104–115.

590. Шконде Э. И. О применении метода Корнофильда для определения потребности почв в азотных удобрениях. Химия в сельском хозяйстве. 1971. № 2. С. 56–60.

591. Шустерук Т. З. Екологічна оцінка біологічного стану різних типів ґрунтів агроєкосистем України. Наук. вісн. Ужгородського університету. Сер. Біологія. 2006. Вип. 18. С. 227–230.

592. Щербаков А. П., Васенев И. И., Лобков В. Т. Изменение свойств черноземных почв в агроландшафтах ЦЧЗ за последнее столетие. Экологические основы повышения устойчивости и продуктивности агроландшафтных систем. Орел : Изд-во Орел ГАУ, 2001. С. 66–82.

593. Щербаков А. П., Кутовая Н. Я., Девятова Т. А. Характеристика биологической активности черноземов Центральной черноземной зоны. Агроэкологические принципы земледелия. Москва : Колос, 1993. С. 197–219.

594. Щербаков А. П., Рудай И. Д. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ. Москва : Колос, 1983. 189 с.
595. Юрген Дебрук. Гумус – основа почвенного плодородия. Новое сельское хозяйство. 2004. № 1. С. 34–36.
596. Юркин С. Н., Виноградова С. В., Фисенко Л. А. Проблемы гумуса и ресурсы органических удобрений. Почвоведение. 1993. № 1. С. 62–69.
597. Юрко В. П. Формы азотосодержащих соединений в почвах Украины. Круговорот и баланс азота в системе почва – удобрения – растения – вода. Москва : Наука, 1979. С. 152–155.
598. Юрко Е. П. Химические методы изучения азота в почвах. Агрохімія і ґрунтознавство. Київ : Урожай, 1972. Вип. 21. С. 13–18.
599. Якименко В. Н. Влияние интенсивного использования почвы на фиксацию и десорбцию калия. Агрохимия. 1995. № 2. С. 16–18.
600. Якименко В. Н. Изменение содержания форм калия по профилю почвы при различном калийном балансе в агроценозах. Агрохимия. 2007. №3. С. 8–11.
601. Якименко В. Н. Эффективность калийных удобрений на почвах с различной обеспеченностью калием. Агрохимия. 1995. №2. С. 71–75.
602. Якименко В. Н., Лютая Ю. А., Одреховский А. Ф. Влияние обработки почвы на содержание гумуса. Земледелие. 1989. № 10. С. 36–39.
603. Янош Н. Кукурудза. Вінниця : ФОП. Корзун Д. Ю., 2012. 580 с.
604. Ятчук В. Я. Вплив основного обробітку сірого лісового ґрунту на його родючість та продуктивність культур сівозміни у Лісостепу України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.01 «Загальне землеробство» / ННЦ «Інститут землеробства НААН». Чабани, 2010. 21 с.
605. Яценко Л. А. Агрохімічне обґрунтування підвищення продуктивності цукрових буряків на лучно-чорноземному карбонатному ґрунті Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.04 «Агрохімія». – К. 2003. 19 с.

606. Ященко Л. А. Вплив довготривалого застосування добрив в зерно-бураковій сівозміні на вміст і форми калію в лучно-чорноземному карбонатному ґрунті. Науковий вісник НАУ. 2000. №26. С. 154–157.

607. Bais H. P., Tiffany L. W., Laura G. P., Gilroy S., Vivanco I. M. The role of root exudates in rhizosphere in interactions with plants and other organisms. *Annu. Rev. Plant. Biol.* 2006. V. 57. P. 233–266.

608. Balesdent J., Wagner G. H., Mariotti A. Soil organic matter turnover in long-term field experiments as revealed by carbon-13 natural abundance. *Soil Sci. Am. j.* 1988. Vol. 52. № 1. P. 118–124.

609. Borchert H. Bodenphysikalische Untersuchungen. Bayer, Landw. jahrbuch. 1986. Bt. 63. H. 8. S. 991–996.

610. Carter J. N., Traveller D. J. Effect of time on nitrogen up taken by sugar beet, its growth and yield. *Agron. J.* 1981. V. 73. P. 665–671.

611. Clive A. E. The conception of integrated systems in sustainable agriculture. *American journal of Alternative Agriculture.* 1987. № 4. P. 148–152.

612. Derpsch R. History of Crop production With & Without Tillage. Leading Edge, The Journal of No-Till Agriculture, published by No-till On The Plains Inc., Wamego KS, March 2004. Vol. 3. № 1. P. 150–154.

613. Emissions of nitrous oxide and nitric oxide associated with the decomposition of arable crop residues on a sandy loam soil in Eastern England / R. Harrision, S. Ellis, R. Cross, O.P. Hodgson. *Agronomic.* 2002. 22. P. 731–738.

614. Environmental situation and yield performance of the sugar beet crop in Germany: heading for sustainable development / B. Märlander, C. Hoffmann, H.J. Koch, E. Ladewig, R. Merkes, J. Petersen, N. Stookfisch. *J. Agron. Crop Sci.* 2003. V. 189. P. 201–226.

615. Factors limiting the grain protein content of organic winter wheat in south-eastern France: a mixed-model approach / M. Casagrande, C. David, M. Valantin-Morison, D. Makovski, M. Jeuffroy // *Agronomy for Sustainable Development.* 2009. Volume 29. Issue 4. P. 505–574.

616. Fertilizer nitrogen addition to winter wheat crops in England: comparison of farm practices with recommendations allowing for soil nitrogen

supply / W.S. Wilson, K.L. Moore, A.D. Rochford, L.V. Vaidyanathan. The journal of Agricultural Science. 2009. Volume 127. P. 11–22.

617. Gacek T. Organic farming – the other conservation system. Soil water conserve. 1998. V. 39. P. 357–360.

618. Goeke G. W. Phosphorus and potassium problems in production, and how to solve them // Fight against hunger through improved plant nutrition. V.1. Goettingen. Goltze – Drunch. 1985. P. 197–220.

619. Graf V., Reichenbach H. Factors of mica transformation potassium // Soil. – Berne. 1972. P. 33–42.

620. Hastings A., Hongmore W. Carbon dioxide as regulatory factors in metabolism // *Agro. Enzymol. Rev.* 1965. № 3. P. 147–159.

621. Hoeft R. G. Maize (*zea mays* L.) USA: corn; French: mais; Spanish: maiz; Italian: mais; German: mais. – University of Illinois. 2010. V. 32. P. 12–68.

622. Huggins P. R., Reganolf J. P. No-till: The Quiet Revolution. Agriculture Scientific American, Inc. journal. 2008. P. 71–77.

623. Influence of nitrogen fertilizer injection (CULTAN) on yield, yield components formation and quality of winter wheat grain / O. Kozlovskiy, J. Balík, J. Ěernýl, M. Kulháněk, M. Kosi, M. Prášilová. Plant soil environ. 2009. V. 55. P. 536–543.

624. Jenkinson P. S. The nitrogen economy of the Broadbalk experiments. Nitrogen balance in the experiment. Report Rothamstead Experimental Station. 1976. Part 2. P. 103–109.

625. Lal R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. Environ. pollut. 2007. № 3. 116 p.

626. Maidl F. X., Demmel M., Fischbeck G. Vergleichende Untersuchungen ausgewählter Parameter der Bodenfruchtbarkeit auf konventionell und alternativ bewirtschafteten Standorten. Landw. Fo. 1988. Bd. 41. H. 3/4. P. 31–45.

627. McLean E. O. Influence of clay content and clay composition on potassium availability. Potassium in soil and crops – New Delhi. 1978. P. 1–19.

628. Mohere Bodenfruchtbarkeit durch Tieflockung. 1976. P. 1–6.

629. Nafziger E. D., Sawyer J. E., Hoeft R. G. Formulating recommendation for corn in the corn belt using recent data. North Carolina. Potash and phosphate Inst. Brookings, South Dakota. Soil fertility conf. 2004 (17–18 nov). P. 27–30.

630. Roberts T. L. The foundation of best management practices for fertilizer. International fertilizer association international workshop on fertilizer best management practices. Brussels, Belgium. 2007 (7–9 March). P. 29–32.

631. Simon I., Skrfieta P. Monokulturni pestobani silozni Kukurice Bez zpacovani pudy pri ruznem NPK hnojeni. Postl. vgroda. 1983. № 9. P. 979–988.

632. Sims A. L., Smith L. J. Broadcast applications of phosphorus fertilizer in low phosphorus testing soil. Proceedings of the first joint IIRB-ASSBT Congress. 2003. P. 1–3.

633. Stevenson F. J. Origin and distribution of nitrogen in soil / Nitrogen in agricultural soil. Madison: Agronomy. 1982. P. 1–44.

634. Stevenson F. J. Origin and distribution of nitrogen in soil. Nitrogen in agricultural soils. Madison: Agronom. 1982. P. 1–44.

635. Stevenson F. J. Geochemistry of soil humic substances. In: Organic Geochemistry: 1985. Vol. 1, Wiley, pp. 13–52.

636. Szegi J. et al. Effect of fertilization and organic matter application on Soil respiration dynamics // Proc. 9-th Int. Symp. Soil Biol. Concery. Biosphere Sopron, 27–30 Aug. 1985. Budapest. 1987. Vol. 2. P. 743–754.

637. Tsialtas J. T., Maslaris N. N. Effect of fertilization rate on sugar yield and non-sugar impurities of sugar beets (*Beta vulgaris*) grown under Mediterranean conditions. J. Agron. Crop Sci. – 2005. V. 191. P. 330–339.

638. Under P. W. Organic matter, nutrient, and pH distribution in no-tillage and conventional tillage semiarid soils. Agronomy journal. 1991. Vol. 83. P. 186–189.

639. Vez A. Minimum or intensive soil tillage? // Soil Tillage Res. 1984. Vol. 4. № 2. P. 113–114.

ДОДАТКИ

Додаток А

Оцінка типовості погодних умов за даними метеослужби

Білоцерківської дослідної станції

Рік	Місяць							Сума за вегетацій- ний сезон
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Опади, мм								
2010	42,1	46,8	53,9	210,2	37,6	29,7	26,7	447
2011	36,0	42,5	95,3	92,7	54,0	14,6	69	404,1
2012	65	31	61	52	104	29	77	419
2013	30	52	52	2,6	72,1	307	5,5	521,2
2014	56	118	77	93	48	39	14	445
2015	14	38	32	73	2,4	25	30	214,4
2016	67	108	9,1	4,6	35,1	10,6	159,8	394,2
2017	25	33	28	62	58	43	67,7	249
Багаторічна норма	30,5	41,4	63,7	63,3	56,9	43,9	35,6	318,2
Коефіцієнт істотності відхилень								
2010	0,52	0,17	-0,18	5,69	-0,34	-0,40	-0,23	1,89
2011	0,24	0,03	0,57	1,13	-0,05	-0,81	0,86	1,26
2012	1,54	-0,32	-0,04	-0,44	0,84	-0,41	1,06	1,48
2013	-0,02	0,33	-0,21	-2,3	0,27	7,3	-0,77	2,98
2014	1,14	2,3	0,24	1,15	-0,16	-0,13	-0,56	1,86
2015	-0,73	-0,10	-0,58	0,37	-0,97	-0,52	-0,14	-1,52
2016	1,63	2,07	-1,0	-2,27	-0,39	-0,92	3,2	1,11
2017	-0,24	-0,26	-0,65	-0,05	-0,02	-0,02	0,82	-1,01
S (сігма)	22,3	32,1	54,5	25,8	55,9	35,9	38,7	68,1
Сума активних температур > +10 °C								
2010	169	526	622	737	715	432	0,0	3201,5
2011	125,2	505,3	611,2	674,4	609,2	473,3	115,1	3113,7
2012	231	546	576	706	586	424	187	3256
2013	192	508	539	510	486	295	113	2643
2014	159	474	528	655	609	331	86	2842
2015	188	461	580	645	633	533	93	3133
2016	309	464	599	698	659	490	81	3300
2017	311	473	601	648	694	483	223,6	3438,5
Багато-річна норма	226,1	471,8	547,3	649,3	616,0	414,3	194,5	3110,2
Коефіцієнт істотності відхилень								
2010	-0,83	0,79	1,64	1,99	2,81	0,28	-3,36	0,58
2011	-1,46	0,49	1,40	0,56	-0,19	0,92	-1,37	0,02
2012	0,07	1,09	0,63	1,27	-0,84	0,15	-0,13	0,93
2013	-0,49	0,53	-0,18	-3,13	-3,7	-1,86	-1,41	-2,98
2014	-0,97	0,03	-0,42	0,13	-0,19	-1,30	-1,87	-1,71
2015	-0,55	-0,16	0,71	-0,09	0,48	1,86	-1,75	0,14
2016	1,20	-0,11	1,14	1,09	1,21	1,18	-1,96	1,21
2017	1,23	0,017	1,18	-0,02	2,2	1,07	0,50	2,10
S	69,1	68,0	45,5	44,4	35,3	63,8	57,8	156,3

Продовження додатку А

Гідротермічний коефіцієнт (ГТК)								
2010	2,50	0,90	0,86	2,80	0,52	0,69	0,00	1,39
2011	2,87	0,84	1,55	1,37	0,88	0,30	5,9	1,95
2012	2,81	0,57	1,06	0,74	1,77	0,68	4,12	1,29
2013	1,56	1,02	0,96	0,05	1,48	10,4	0,49	1,97
2014	3,52	2,49	1,46	1,42	0,79	1,18	1,63	1,57
2015	0,74	0,82	0,55	1,13	0,04	0,47	3,23	0,68
2016	2,17	2,33	0,15	0,07	0,53	0,22	19,7	1,19
2017	0,80	0,69	0,46	0,95	0,83	0,89	3,0	1,74
Багато-річна норма	1,35	0,92	1,27	1,00	0,98	1,05	1,51	1,13
Коефіцієнт істотності відхилень								
2010	1,37	-0,02	-0,37	4,80	-0,47	-0,38	-0,82	0,89
2011	1,80	-0,1	0,25	1,0	-0,10	-0,79	2,38	2,7
2012	1,74	-0,44	-0,19	-0,71	0,81	-0,39	1,42	0,52
2013	0,25	0,13	-0,28	-2,56	0,51	9,95	-0,56	2,81
2014	2,59	1,96	0,17	1,13	-0,20	0,14	0,06	1,45
2015	-0,72	-0,12	0,65	0,36	-0,96	-0,62	0,93	-1,49
2016	0,97	1,76	-1,02	-2,52	-0,46	-0,89	9,90	0,22
2017	-0,65	-0,28	-0,73	-0,12	-0,15	-0,17	0,82	-1,35
S (сігма)	0,84	0,80	1,10	0,37	0,98	0,94	1,84	0,3

Примітка: показники типовості метеорологічних умов оцінювали на підставі наступних положень:

1) Величина середнього квадратичного відхилення (S) при визначенні коефіцієнтів істотності $K_i = \frac{(X - X_1)}{S}$ відхилень від багаторічної норми (X_1).

2) Неістотними є відхилення при $K_i < \pm 1$, істотними – при $K_i = \pm 1-2$ і екстремальними – при $K_i > \pm 2$ (за К.Т. Логвиновим, 1976 р.).

Додаток Б.1

Надходження органічних речовин і баланс гумусу в чорноземі типовому за вирощування культур польової сівозміни у варіанті органо-мінеральної системи удобрення (компост 4,5 т N₄₀P₄₈K₅₄)

№ по- ля	Культура сівозміни	Врожайність, т/га	Втрати гумусу					Утворилося гумусу												Баланс, ±	
			винос азоту врожаєм, кг/га	поправка на гр. склад грунту, культуру	винос з урахуванням на гр. склад ґрунту	винос азоту на рахунок мінералізації гумусу, кг/га	мінералізація гумусу, кг/га	кількість рослинних залишків, т/га			коефіцієнт гуміфікації	утворилося гумусу з рослинних залишків, кг/га	внесено компосту, т/га	утворилось гумусу з компосту, кг/га	солома, стебла, т/га	утворилося гумусу із соломи, кг/га	сидерати, гичка, т/га	утворилося гумусу із сидератів, гички, кг/га	усього утворилося гумусу, кг/га	кг/га	т/га
								поверхневі	кореневі	усього											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Люцерна	56	392	0,8/1,0	313	157	3136	1,9	11,8	13,7	0,25	3125	–	–	–	–	–	–	3125	–11	– 0,011
2	Люцерна	30	210	0,8/1,0	168	84	1680	1,6	6,6	8,2	0,25	2050							2050	+370	+0,37
3	Пшениця озима	5,5	176	0,8/1,2	169	85	1690	3,1	4,9	8,0	0,2	1600	–	–	5,5	1100	–	–	2700	+1010	+1,01
	Редька олійна	15	42	0,8/1,0	40	20	400	1,2	2,8	4,0	0,15	600	–	–	–	–	3,0	450	1050	+650	+0,65
4	Буряки цукрові	59	295	0,8/1,8	425	212	4250	0,6	1,4	2,0	0,1	200	15	840	–	–	3,1	465	1505	–2745	–2,74
5	Ячмінь	4,2	113	0,8/1,2	108	54	1085	1,9	3,2	5,1	0,22	1122			2,6	572			1694	+609	+0,61
	Редька олійна	14	39	0,8/1	37	18	372	1,1	3,1	5,0	0,15	630					2,8	420	1050	+678	+0,67
6	Соя	2,1	151	0,8/1,2	145	72	1451	0,9	1,6	2,5	0,23	575			2,1	483			1058	–393	–0,39
7	Пшениця оз.	4,1	131	0,8/1,2	126	63	1260	2,6	3,9	6,5	0,2	1300			4,1	820			2120	+860	+0,86
	Редька олійна	13	36	0,8/1,0	34	17	345	1,2	2,9	4,1	0,15	615					3,1	465	1080	+735	+0,73
8	Кукурудза на силос	61	274	0,8/1,8	394	197	3945	0,9	7,4	8,3	0,17	1411	15	840	–	–	–	–	2251	–1694	–1,69
9	Пшениця озима	3,7	118	0,8/1,2	113	57	1140	2,5	3,6	6,1	0,2	1220	–	–	3,7	740	–	–	1960	+220	+0,22
	Редька олійна	12	33	0,8/1,0	26	13	260	1,04	2,8	3,84	0,15	576	–	–	–	–	2,4	360	936	+676	+0,67
10	Соняшник	2,7	154	0,8/1,8	221	111	2216	0,54	3,6	4,1	0,14	574	15	840	3,2	448	–	–	1862	–354	–0,35
Разом у сівозміні			2164	–	2319	1160	23230	21,1	59,6	81,4	–	15598	45	2320	21,2	4163	14,4	2160	24441	+611	0,61
На 1 га сівозмінної площі			216	–	231, 9	116	2323	2,1	5,9	8,1	–	1559	4,5	232	2,1	416	1,4	216	2444	+61,1	0,061

Додаток Б.2

Надходження органічних речовин і баланс гумусу в чорноземі типовому за вирощування культур польової сівозміни у варіанті органічної системи удобрення (компост 4,5 т)

№ по- ля	Культура сівозміни	Врожайність, т/га	Втрати гумусу					Утворилось гумусу												Баланс, ±	
			винос азоту врожаєм, кг/га	поправка на гр. склад грунту, культуру	винос з урахуванням на гр. склад грунту	винос азоту на рахунок мінералізації гумусу, кг/га	мінералізація гумусу, кг/га	кількість рослинних залишків, т/га			коефіцієнт гуміфікації	утворилось гумусу з рослинних залишків, кг/га	внесено компосту, т/га	утворилось гумусу з компосту, кг/га	солома, стебла, т/га	утворилось гумусу із соломи, кг/га	сидерати, гичка, т/га	утворилось гумусу із сидератів, гички, кг/га	усього утворилось гумусу, кг/га	кг/га	т/га
								поверхневі	кореневі	всього											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Люцерна	51	357	0,8/1,0	286	143	2856	1,8	10,8	12,6	0,25	3160	–	–	–	–	–	–	3168	+312	+0,31
2	Люцерна	28	196	0,8/1,0	157	78,5	1570	1,2	6,2	7,4	0,25	1850							1850	+280	+0,28
3	Пшениця озима	5,3	109	0,8/1,2	163	81	1628	3,0	4,7	7,7	0,2	1540	–	–	5,0	1000	–	–	2540	+912	+0,91
	Редька олійна	14	39	0,8/1,0	31	15,6	312	0,9	1,0	1,9	0,15	285	–	–	–	–	2,7	405	890	+378	+0,37
4	Буряки цукрові	52	260	0,8/1,8	374	187	3740	0,54	3,7	4,2	0,1	420	15	840	–	–	2,2	330	1170	–2570	–2,57
5	Ячмінь	3,9	105	0,8/1,2	101	50	1000	1,8	3,0	4,8	0,22	1056			2,3	506			1562	+562	+0,56
	Редька олійна	12	33	0,8/1,0	26	13	260	0,9	1,0	1,9	0,15	285					2,7	405	690	+430	+0,43
6	Соя	1,8	129	0,8/1,2	124	62	1240	0,8	1,5	2,3	0,23	529			1,7	391			920	–320	–0,32
7	Пшениця оз.	3,8	121	0,8/1,2	116	58	1160	2,5	3,7	6,2	0,2	1240			3,6	720			1960	+800	+0,80
	Редька олійна	12	33	0,8/1,0	26,4	13,2	264	0,9	1,1	2,0	0,15	300					2,7	405	705	+441	+0,44
8	Кукурудза на силос	56	252	0,8/1,8	363	181	3620	0,9	6,9	7,8	0,17	1326	15	840	–	–	–	–	2166	–1454	–1,45
9	Пшениця озима	3,6	115	0,8/1,2	110	55	1100	2,5	3,5	6,0	0,2	1200	–	–	3,4	680	–	–	1880	+780	+0,78
	Редька олійна	11	30	0,8/1,0	24	12	240	1,5	1,6	3,1	0,15	465	–	–	–	–	2,2	330	795	+555	+0,55
10	Соняшник	2,3	131	0,8/1,8	189	94,5	1890	0,41	3,2	3,6	0,14	504	15	840	2,7	378			1722	+168	+0,16
Разом у сівозміні			1910	–	209 0	1043,8	2088 0	19,6	51,9	71,5	–	14160	45	2520	18,7	3675	12,5	1875	22018	+1274	+1,27
На 1 га сівозмінної площі			191	–	209	104	2088	1,9	5,2	7,1	–	1416	4,5	252	1,8	367	1,2	187	2201	+127	+0,12

Додаток Б.3

Надходження органічних речовин і баланс гумусу в чорноземі типовому за вирощування культур польової сівозміни у варіанті мінеральної системи удобрення (компост 4,5 т N₈₀P₉₆K₁₀₈)

№ по- ля	Культура сівозміни	Врожайність, т/га	Втрати гумусу					Утворилось гумусу												Баланс, ±	
			винос азоту вважаєм, кг/га	поправка на гр. склад ґрунту, кг/га	винос з урахуванням на гр. склад ґрунту кг/га	винос азоту на рахунок мінералізації	мінералізація гумусу, кг/га	кількість рослинних залишків, т/га			коефіцієнт гуміфікації утворилося гумусу з рослинних	внесено компосту, т/га	утворилося гумусу з компосту, кг/га	солома, стебла, т/га	утворилося гумусу із соломи, кг/га	сидерати, гичка, т/га	утворилося гумусу із сидератів, гички, кг/га	усього утворилося гумусу, кг/га	кг/га	т/га	
								поверхневі	кореневі	всього											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Люцерна	16,8	441	0,8/1,0	353	176	3520	2,1	13,3	15,3	0,25	3825	–	–	–	–	–	–	3825	+305	+0,35
2	Люцерна	20,6	345	0,8/1,0	196	98	1960	1,4	7,6	9,0	0,25	2250							2250	+290	+0,29
3	Пшениця озима	6,0	192	0,8/1,2	184	92	1840	3,3	5,2	8,5	0,2	1700	–	–	5,7	1140	–	–	2840	+1000	+1,0
	Редька олійна	18	50	0,8/1,0	40	20	400	2,0	2,2	4,2	0,15	630	–	–	–	–	3,6	540	1170	+770	+0,77
4	Буряки цукрові	64	320	0,8/1,8	461	230	4600	0,6	4,4	5,0	0,1	500	15	840	–	–	2,7	405	905	–3695	–3,69
5	Ячмінь	4,7	127	0,8/1,2	122	61	1220	2,0	4,6	6,6	0,22	1452			2,8	616			2068	+848	+0,84
	Редька олійна	16	44	0,8/1,2	42	21	420	1,9	1,2	3,1	0,15	465					3,2	480	945	+525	+0,52
6	Соя	2,5	180	0,8/1,2	173	86,5	1730	0,9	1,8	2,7	0,23	621			2,3	529			1150	+580	+0,58
7	Пшениця оз.	4,7	150	0,8/1,2	144	72	1440	2,8	3,3	6,1	0,2	1220			4,4	880			2100	+660	+0,66
	Редька олійна	15	42	0,8/1	34	17	340	1,8	1,9	3,7	0,15	555					3,0	450	1005	+665	+0,66
8	Кукурудза на силос	70	315	0,8/1,8	454	227	4540	1,0	8,3	9,3	0,17	1581	15	840	–	–	–	–	2421	–2119	–2,1
9	Пшениця озима	4,3	137	0,8/1,2	131	65,5	1310	2,7	4,0	6,7	0,2	1340	–	–	4,1	820	–	–	2160	+850	+0,85
	Редька олійна	14	39	0,8/1,0	31	15,5	310	1,7	1,9	3,6	0,15	540	–	–	–	–	2,8	420	960	+650	+0,65
10	Соняшник	3,2	182	0,8/1,8	262	131	2620	0,45	4,2	4,6	0,14	644	15	840	3,7	518			2002	–618	–0,61
Разом у сівозміні			2564	–	2627	1312	26250	24,6	63,9	88,4	–	17323	45	2520	23	4503	15,3	2295	25801	+711	+0,71
На 1 га сівозмінної площі			265,4	–	262,7	131	2625	2,4	6,4	8,8	–	1732	4,5	252	2,3	450	1,5	229	2580	71	+0,07

Додаток В.1

Баланс валових форм елементів мінерального живлення рослин у ґрунті за мінеральної системи удобрення, кг/га (2011–2017 рр.)

Статті балансу	Елемент живлення	Культури сівозміни										Середнє по сівозміні
		люцер на	люцер на	пшениця озима	буряки цукрові	ячмінь	соя	Пшениця озима	кукурудза на зерно	пшениця озима	соняшник	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Урожайність, т/га		16,8	20,6	6,8	64	4,4	3,4	6,6	61,7	6,3	3,3	
Надійшло з компостом, кг/га	N				75				75		75	72,5
	P				30				30		30	9,0
	K				75				75		75	22,5
Надійшло з мінеральними добривами, кг/га	N			100	120	70	-	90	160	100	150	79
	P	80	80	90	120	90	70	90	120	100	120	96
	K	70	70	90	150	90	80	100	120	90	130	96
Надійшло з насінням, опадами, несімбіотичною азотфіксацією, кг/га	N	22,6	22,6	24,0	20,1	24,2	26,9	24,4	21	24,4	20,5	23,1
	P	0,65	0,65	1,9	-	1,9	1,3	1,9	1,2	1,9	0,3	1,3
	K	1,5	1,5	1,1	1,0	1,2	1,5	1,1	1,0	1,1	0,2	1,1
Надійшло всього, кг/га	N	22,6	22,6	124	195	94	27,0	114	256	124	245	122,6
	P	80,7	80,7	91,9	151	91,9	71,3	91,3	151,2	101,9	150,3	106,3
	K	71,5	71,5	91,0	226	91,2	81,5	101,9	196	91,9	205,2	122,8
Винос з основною та побічною продукцією, кг/га	N	252	140	210	320	117	177	164	462	151	192	218
	P	69,3	38,5	72	115	52	40	56	196	52	74	76
	K	174	98	150	480	103	45	117	406	107	595	228
Втрати з фільтраційними водами, кг/га	N			15	18	10	-	14	24	15	22	12
	P											
	K											
Втрати всього, кг/га	N	252	140	225	338	127	177	178	486	166	214	230
	P	69,3	38,5	72	115	52	40	56	196	52	74	77
	K	174	98	150	480	103	45	117	406	107	595	228
Баланс +/-, кг/га	N	-229	-117	-101	-143	-33	-150	-64	-230	-42	+31	-108
	P	+11,4	+42	+20	+36	+40	+31	+36	-45	+50	+76	+29
	K	-102	-26	-59	-254	-12	+36,5	-15	-210	-15	-390	-105
Інтенсивність балансу, %	N	9	16	41	58	74	15	64	53	74	115	52
	P	117	209	126	131	177	178	164	77	196	203	158
	K	41	73	61	47	88	181	87	48	86	64	75

Додаток В.2

Баланс валових форм елементів мінерального живлення рослин у ґрунті за органо-мінеральної системи удобрення, кг/га (2011–2017 рр.)

Статті балансу	Елемент живлення	Культури сівозміни										Середнє по сівозміні
		люцерна	люцерна	пшениця озима	буряки цукрові	ячмін ь	соя	пшениця озима	кукурудза на зерно	пшениця озима	соняшник	
Урожайність, т/га		16,3	20	6,6	61	4,4	3,2	6,3	58,3	5,9	3,1	
Надійшло з компостом, кг/га	N				75				75		75	22,5
	P				30				30		30	9,0
	K				75				75		75	22,5
Надійшло з мінеральними добривами, кг/га	N	-		90	40	10	-	60	70	90	60	40
	P	40	40	80	50	50	30	10	60	90	30	48
	K	50	50	80	60	50	20	50	70	80	30	54
Надійшло з сидеральною масою, гичкою, соломою, кг/га	N			15	15	14	13	16		12	16	10
	P			7,5	8	7	7	8		6	8	5,1
	K			18	19	17	16	19		14	19	12,2
Надійшло з післяжнивними рештками, кг/га	N	9,5	8	40	10	25	12	32	41	30	20	22,7
	P	5	4	20	5	13	6	16	21	15	10	11,5
	K	11	10	18	12	30	15	39	50	36	24	27,5
Надійшло з насінням, опадами, несімбіотичною азотфіксацією, кг/га	N	22,6	22,6	24	20,1	24	26,9	24,4	21	24,4	20,5	23
	P	0,65	0,65	1,9	1,0	1,9	1,3	1,9	1,2	1,9	0,3	1,3
	K	1,5	1,5	1,1	1,0	1,2	1,5	1,1	1,0	1,1	0,2	1,1
Надійшло всього, кг/га	N	32	30,6	145	160	73	52	132	207	156	192	118
	P	45,6	44,6	107	94	72	44	36	112	113	78	75
	K	62,5	61,5	146	167	98	52	109	196	131	148	117
Винос з основною та побічною продукцією, кг/га	N	224	120	192	295	105	149	143	402	129	162	192
	P	62	33	66	106	46	34	49	171	44	70	68
	K	157	84	137	442	92	38	102	354	92	502	200
Втрати з фільтраційними водами, кг/га	N			14	6	2		9	11	14	9	6
	P											
	K											
Втрати всього, кг/га	N	224	120	206	301	107	149	152	413	143	171	198
	P	62	33	66	106	46	34	49	171	44	70	68
	K	157	84	137	442	92	38	102	354	92	502	200
Баланс +/-, кг/га	N	-192	-89	-61	-141	-34	-97	-20	-206	+13	+30	-79,7
	P	-16,4	+11,6	+41	-12	+26	+10	-13	-59	+69	+8	+6,5
	K	-94,5	-22,5	+9	-275	+6	+14	+7	-158	+39	-354	-81,5
Інтенсивність балансу, %	N	14	25,5	70	53	68	35	87	50	109	112	62
	P	73	135	162	89	156	129	73	65	256	111	125
	K	40	73	106	38	106	137	107	55	142	29	83

Додаток В.3

Баланс валових форм елементів мінерального живлення рослин у ґрунті за органічної системи удобрення, кг/га (2011–2017 рр.)

Статті балансу	Елемент живлення	Культури сівозміни										Середнє по сівозміні
		люцерна	люцерна	пше-ниця озима	буряки цукрові	ячмінь	соя	пше-ниця озима	куку-рудза на зерно	пше-ниця озима	соняшник	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Урожайність, т/га		10,7	14,5	4,6	39,9	2,9	1,8	4,6	39,3	4,2	2,0	
Надійшло з компостом, кг/га	N				75				75		75	22,5
	P				30				30		30	9
	K				75				75		75	22,5
Надійшло з сидеральною масою, гичкою, соломною, кг/га	N			39	11	26	9	32		28	14	16
	P			19	6	13	4	16		14	7	8
	K			46	13	30	10	38		33	16	19
Надійшло з післяжнивними рештками, кг/га	N	9	6	15	3	9	4	12	4	12	2	7
	P	5	3	7,5	2	5	2	6	2	6	1	4
	K	11	7	18	3	11	5	15	5	15	2,4	9
Надійшло з насінням, опадами, несімбіотичною азотфіксацією, кг/га	N	22,6	22,6	24	20	24	26,9	24,4	21	24,4	20,5	23
	P	0,65	0,65	1,9	1,0	1,9	1,3	1,9	1,2	1,9	0,3	1,3
	K	1,5	1,5	1,1	1,0	1,2	1,5	1,1	1,0	1,1	0,2	1,1
Надійшло всього, кг/га	N	9	6	78	109	59	40	68	100	64,4	112	65,5
	P	5	3	28	39	20	7	24	33	22	38	22
	K	11	7	65	92	42	17	54	81	49	94	51
Винос з основною та побічною продукцією, кг/га	N	204	112	186	260	97	128	95	370	126	138	172
	P	56	31	64	94	43	29	46	157	43	60	62
	K	143	78	132	390	86	32	95	325	90	428	180
Втрати всього, кг/га	N	204	112	186	260	97	128	95	370	126	128	172
	P	56	31	64	94	43	29	46	157	43	60	62
	K	143	78	132	390	86	32	95	325	90	428	180
Баланс +/-, кг/га	N	-195	-106	-108	-151	-38	-88	-27	-270	-62	-26	-107
	P	-51	-28	-36	-55	-23	-22	-22	-124	-21	-22	-40
	K	-132	-71	-67	-298	-44	-15	-41	-244	-41	-334	-129
Інтенсивність балансу, %	N	4	5	42	42	61	31	72	27	51	81	38
	P	9	10	44	41	46	24	52	21	51	63	35
	K	8	9	49	23	49	53	57	25	54	22	28

Додаток Д.1

Урожайність люцерни першого року використання залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, т/га

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Рік							2011– 2017 рр.
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Без добрив	Диференц.(контр.)	8,7	8,1	8,8	8,8	8	7,8	9,1	8,5
	Полиц.-безполиц.	9	8,4	9,3	9,5	8	7	10,4	8,8
	Мілкий безполицевий	7,4	6,7	7,8	7,6	6,6	6	8	7,2
Органічна	Диференц.(контр.)	11,5	10,9	11,8	11,7	10,6	10	12,4	11,3
	Полиц.-безполиц.	11,7	11,1	12	10	11	10	14,6	11,5
	Мілкий безполицевий	9,6	9	10	9,9	9	8	10	9,4
Органо- мінеральна	Диференц.(контр.)	17,2	16,6	17,5	17,6	16,2	15,5	18,5	17,0
	Полиц.-безполиц.	17,3	16,4	17,6	17,6	16,6	16	18	17,1
	Мілкий безполицевий	15,2	14,4	15,4	14,1	14,1	13,5	16,8	14,8
Мінеральна	Диференц.(контр.)	18	17,1	18	17,9	17	16	19	17,6
	Полиц.-безполиц.	17,7	17,1	18	18	17	16	19	17,5
	Мілкий безполицевий	15,6	14,8	15,9	15,7	14,8	14	16	15,3
Середнє по системах удобрення	Без добрив	8,4	7,7	8,6	8,6	7,5	6,9	9,2	8,1
	Органічна	10,9	10,3	11,3	10,5	10,2	9,3	12,3	10,7
	Органо-мінеральна	16,6	15,8	16,8	16,4	15,6	15,0	17,8	16,3
	Мінеральна	17,1	16,3	17,3	17,2	16,3	15,3	18,0	16,8
Середнє по обробітку ґрунту	Диференц.(контр.)	13,9	13,2	14,0	14,0	13,0	12,3	14,8	13,6
	Полиц.-безполиц.	13,9	13,3	14,2	13,8	13,2	12,3	15,5	13,7
	Мілкий безполицевий	12,0	11,2	12,3	11,8	11,1	10,4	12,7	11,6
НІР ₀₅ А		0,6	0,4	2,2	1,3	F _φ <F ₀₅	0,99	1,03	1,09
НІР ₀₅ В		0,7	0,5	1,8	1,5	1,02	1,05	2	1,22

Додаток Д.2

Урожайність люцерни другого року використання залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, т/га

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Рік							2011–2017 рр.
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Без добрив	Диференц.(контр.)	11,9	11,2	12	12	11	10,8	12,4	11,6
	Полиц.-безполиц.	12,3	11,5	12,6	12,9	11,1	9,8	14	12,0
	Мілкий безполицевий	10	9,4	10,8	10,6	9,3	8,6	11	10,0
Органічна	Диференц.(контр.)	15,3	14,6	15,7	15,6	14,2	13,5	16,4	15,0
	Полиц.-безполиц.	15,6	14,8	16	16,6	14,7	13,5	19,2	15,8
	Мілкий безполицевий	13,4	12,3	13,5	13,4	12,3	11	13,5	12,8
Органо-мінеральна	Диференц.(контр.)	21,1	20,4	21,5	21,6	19,9	19	22,7	20,9
	Полиц.-безполиц.	21,2	20,2	21,6	21,6	20,4	19,6	22,1	21,0
	Мілкий безполицевий	19,2	17,4	18,9	17,3	17,3	16,6	20,6	18,2
Мінеральна	Диференц.(контр.)	22,1	21	22,1	22	20,9	19,6	23,4	21,6
	Полиц.-безполиц.	21,7	21	22,1	22,1	20,9	19,7	23,4	21,6
	Мілкий безполицевий	19,4	18,2	19,5	19,3	18,2	17,2	19,7	18,8
Середнє по системах удобрення	Без добрив	11,4	10,7	11,8	11,8	10,5	9,7	12,5	11,2
	Органічна	14,8	13,9	15,1	15,2	13,7	12,7	16,4	14,5
	Органо-мінеральна	20,5	19,3	20,7	20,2	19,2	18,4	21,8	20,0
	Мінеральна	21,1	20,1	21,2	21,1	20,0	18,8	22,2	20,6
Середнє по обробітку ґрунту	Диференц.(контр.)	17,6	16,8	17,8	17,8	16,5	15,7	18,7	17,3
	Полиц.-безполиц.	17,7	16,9	18,1	18,3	16,8	15,7	19,7	17,6
	Мілкий безполицевий	15,5	14,3	15,7	15,2	14,3	13,4	16,2	14,9
НІР ₀₅ А		0,99	0,99	1,17	1,3	1,2	1,16	1,4	1,17
НІР ₀₅ В		1,35	1,22	1,69	1,8	1,5	1,8	2,4	1,68

Додаток Д.3

Урожайність пшениці озимої після люцерни залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, т/га

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Рік							2011– 2017 рр.
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Без добрив	Диференц.(контр.)	3,3	3,6	3,6	3,3	3,1	3,4	3,2	3,4
	Полиц.-безполиц.	3,4	3,6	3	3,2	3,2	3,3	3,4	3,3
	Мілкий безполицевий	3,2	3,6	3	3,2	2,9	2,8	3	3,1
Органічна	Диференц.(контр.)	5	4,8	4,8	4,5	4,4	4,5	4,6	4,7
	Полиц.-безполиц.	4,3	5,4	5,2	4	4	5,4	4,8	4,7
	Мілкий безполицевий	3,8	4,8	3,7	4,6	4,4	4,2	4,4	4,3
Органо- мінеральна	Диференц.(контр.)	6,8	6,8	6,7	6,6	6,6	6,6	6,5	6,7
	Полиц.-безполиц.	6,9	7	6,8	6,6	6,6	6,5	6,9	6,8
	Мілкий безполицевий	6,6	6,5	6,6	6	6,5	6	6,4	6,4
Мінеральна	Диференц.(контр.)	7,1	7,2	6,9	6,8	6,8	6,5	6,7	6,9
	Полиц.-безполиц.	7,2	7,4	7	6,7	6,7	6,7	7	7,0
	Мілкий безполицевий	7	6,9	6,6	6,2	6,5	6,2	6,5	6,6
Середнє по системах удобрення	Без добрив	3,3	3,6	3,2	3,2	3,1	3,2	3,2	3,3
	Органічна	4,4	5,0	4,6	4,4	4,3	4,7	4,6	4,6
	Органо-мінеральна	6,8	6,8	6,7	6,4	6,6	6,4	6,6	6,6
	Мінеральна	7,1	7,2	6,8	6,6	6,7	6,5	6,7	6,8
Середнє по обробітку ґрунту	Диференц.(контр.)	5,6	5,6	5,5	5,3	5,2	5,3	5,3	5,4
	Полиц.-безполиц.	5,5	5,9	5,5	5,1	5,1	5,5	5,5	5,0
	Мілкий безполицевий	5,2	5,5	5,0	5,0	5,1	4,8	5,1	4,6
НІР ₀₅ А		0,13	0,2	0,24	F _φ <F ₀₅	0,11	0,17	0,08	0,16
НІР ₀₅ В		0,15	0,27	0,26	0,12	F _φ <F ₀₅	0,2	0,1	0,18

Додаток Д.4

Урожайність буряків цукрових залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, т/га

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Рік							2011– 2017 рр.
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Без добрив	Диференц.(контр.)	31	37	42	30	26	28	30	32,0
	Полиц.-безполиц.	34	39	46	32	30	29	32	34,6
	Мілкий безполицевий	28	30	35	30	28	27	29	29,6
Органічна	Диференц.(контр.)	50	51	37	35	34	37	35	39,9
	Полиц.-безполиц.	52	44	49	46	36	38	37	43,1
	Мілкий безполицевий	36	46	40	37	33	32	32	36,6
Органо- мінеральна	Диференц.(контр.)	67	83	70	65	55	55	50	63,6
	Полиц.-безполиц.	74	83	72	69	58	59	52	66,7
	Мілкий безполицевий	55	59	55	54	48	49	48	52,6
Мінеральна	Диференц.(контр.)	68	84	72	68	59	60	55	66,6
	Полиц.-безполиц.	72	85	74	72	63	63	58	69,6
	Мілкий безполицевий	59	65	58	53	49	50	48	54,6
Середнє по системах удобрення	Без добрив	31,0	35,3	41,0	30,7	28,0	28,0	30,3	32,0
	Органічна	46,0	47,0	42,0	39,3	34,3	35,7	34,7	39,9
	Органо-мінеральна	65,3	75,0	65,7	62,7	53,7	54,3	50,0	61,0
	Мінеральна	66,3	78,0	68,0	64,3	57,0	57,7	53,7	63,6
Середнє по обробітку ґрунту	Диференц.(контр.)	54,0	63,8	55,3	49,5	43,5	45,0	42,5	50,5
	Полиц.-безполиц.	58,0	62,8	60,3	54,8	46,8	47,3	44,8	53,5
	Мілкий безполицевий	44,5	50,0	47,0	43,5	39,5	39,5	39,3	43,3
НІР ₀₅ А		2,9	1,7	2,1	1,6	1,6	0,99	1,15	1,72
НІР ₀₅ В		5,2	1,85	4,3	1,85	3,8	2,6	2,42	3,15

Додаток Д.5
Урожайність ячменю залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, т/га

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Рік							2011– 2017 рр.
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Без добрив	Диференц.(контр.)	2,3	2,3	2,5	2,2	2	2,1	2,3	2,2
	Полиц.-безполиц.	2,4	2,5	2,3	2,2	2	2,1	2,2	2,2
	Мілкий безполицевий	1,8	2,2	2,4	2,2	2	2	2,1	2,1
Органічна	Диференц.(контр.)	3,3	3,3	3,4	3	2,8	2,9	2,9	3,1
	Полиц.-безполиц.	3,2	3,2	3	3	2,8	2,7	2,8	3,0
	Мілкий безполицевий	3	3	2,8	2,7	2,6	2,6	2,5	2,7
Органо- мінеральна	Диференц.(контр.)	4,8	5	5	4,7	4,4	4,4	4,2	4,6
	Полиц.-безполиц.	4,3	4,7	4,8	4,6	4,4	4,4	4,6	4,5
	Мілкий безполицевий	4,2	4	4,1	3,9	4	4	4	4,0
Мінеральна	Диференц.(контр.)	5	5	5,2	4,8	4,5	4,4	4,3	4,7
	Полиц.-безполиц.	4,8	5	5,2	5	4,9	5,1	5	5,0
	Мілкий безполицевий	4,6	4,6	4,8	4,1	4,2	4	4,2	4,4
Середнє по системах удобрення	Без добрив	2,2	2,3	2,4	2,2	2,0	2,1	2,2	2,2
	Органічна	3,2	3,2	3,1	2,9	2,7	2,7	2,7	2,9
	Органо-мінеральна	4,4	4,6	4,6	4,4	4,3	4,3	4,3	4,4
	Мінеральна	4,8	4,9	5,1	4,6	4,5	4,5	4,5	4,7
Середнє по обробітку ґрунту	Диференц.(контр.)	3,9	3,9	4,0	3,7	3,4	3,5	3,4	3,7
	Полиц.-безполиц.	3,7	3,9	3,8	3,7	3,5	3,6	3,7	3,7
	Мілкий безполицевий	3,4	3,5	3,5	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3
НІР ₀₅ А		0,16	0,15	0,32	0,17	0,19	0,34	0,36	0,24
НІР ₀₅ В		0,2	0,45	0,35	0,26	0,27	0,45	0,52	0,36

Додаток Д.6
Урожайність сої залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, т/га

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Рік							2011– 2017 рр.
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Без добрив	Диференц.(контр.)	1,6	1,5	1,5	1,3	1,4	1,3	1,4	1,4
	Полиц.-безполиц.	1,4	1,5	1,4	1,1	1,2	1	1,2	1,3
	Мілкий безполицевий	1,2	1,5	1,4	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3
Органічна	Диференц.(контр.)	1,6	1,7	2,1	2	1,8	1,7	2	1,8
	Полиц.-безполиц.	1,7	1,8	1,8	1,8	1,6	1,6	2	1,8
	Мілкий безполицевий	2	1,8	1,6	1,7	1,6	1,7	1,6	1,7
Органо- мінеральна	Диференц.(контр.)	3,2	3	3,2	3,4	3,4	3,2	3,2	3,2
	Полиц.-безполиц.	3,3	3,2	3,2	3,3	3,3	3,1	3,1	3,2
	Мілкий безполицевий	3,2	3	3,1	3,2	2,9	3,1	2,8	3,0
Мінеральна	Диференц.(контр.)	3,6	3,4	3,4	3,7	3,6	3,2	3,2	3,4
	Полиц.-безполиц.	3,7	3,8	3,7	3,5	3,4	3,4	3,5	3,6
	Мілкий безполицевий	3,4	3,5	3,4	3,1	3,2	3	3	3,2
Середнє по системах удобрення	Без добрив	1,4	1,5	1,4	1,2	1,3	1,2	1,3	1,3
	Органічна	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,9	1,8
	Органо-мінеральна	3,2	3,1	3,2	3,3	3,2	3,1	3,0	3,2
	Мінеральна	3,6	3,6	3,5	3,4	3,4	3,2	3,2	3,4
Середнє по обробітку ґрунту	Диференц.(контр.)	2,5	2,4	2,6	2,6	2,6	2,4	2,5	2,5
	Полиц.-безполиц.	2,5	2,6	2,5	2,4	2,4	2,3	2,5	2,5
	Мілкий безполицевий	2,5	2,5	2,4	2,3	2,2	2,3	2,2	2,3
НІР ₀₅ А		0,13	0,17	0,09	0,13	0,16	0,13	0,38	0,17
НІР ₀₅ В		0,15	0,2	0,11	F _φ <F ₀₅	F _φ <F ₀₅	0,15	0,43	0,21

Додаток Д.7

Урожайність пшениці озимої після сої залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, т/га

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Рік							2011– 2017 рр.
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Без добрив	Диференц.(контр.)	3,2	3,4	3,6	3	2,8	3,2	3,1	3,2
	Полиц.-безполиц.	3,2	3,1	3,2	2,8	2,9	2,8	3	3,0
	Мілкий безполицевий	3	2,9	3,2	2,8	2,7	2,7	2,7	2,9
Органічна	Диференц.(контр.)	5	4,6	4,8	4,4	4,3	4,5	4,6	4,6
	Полиц.-безполиц.	5,3	5,4	5,2	4,6	4,7	4,2	4,4	4,8
	Мілкий безполицевий	4,5	4,4	4,3	4,3	4,4	4,2	4,4	4,4
Органо- мінеральна	Диференц.(контр.)	6,3	6,4	6,2	6,2	6,1	6	6,4	6,2
	Полиц.-безполиц.	6,5	6,9	6,5	6,3	6,1	6,2	6	6,4
	Мілкий безполицевий	6,6	6,3	6,4	5,9	6,5	6	6,4	6,3
Мінеральна	Диференц.(контр.)	6,8	6,7	6,8	6,5	6,4	6,3	6,4	6,6
	Полиц.-безполиц.	6,9	7	6,8	6,6	6,5	6,6	6,9	6,8
	Мілкий безполицевий	7	6,9	6,6	6,2	6,5	6,2	6,5	6,6
Середнє по системах удобрення	Без добрив	3,1	3,1	3,3	2,9	2,8	2,9	2,9	3,0
	Органічна	4,9	4,8	4,8	4,4	4,5	4,3	4,5	4,6
	Органо-мінеральна	6,5	6,5	6,4	6,1	6,2	6,1	6,3	6,3
	Мінеральна	6,9	6,9	6,7	6,4	6,5	6,4	6,6	6,6
Середнє по обробітку ґрунту	Диференц.(контр.)	5,3	5,3	5,4	5,0	4,9	5,0	5,1	5,1
	Полиц.-безполиц.	5,5	5,6	5,4	5,1	5,1	5,0	5,1	5,2
	Мілкий безполицевий	5,3	5,1	5,1	4,8	5,0	4,8	5,0	5,0
НІР ₀₅ А		0,18	0,1	0,17	0,16	0,15	0,17	0,18	0,16
НІР ₀₅ В		0,3	0,1	0,34	0,29	0,19	0,22	0,34	0,25

Додаток Д.8

Урожайність кукурудзи на силос залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, т/га

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Рік							2011– 2017 рр.
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Без добрив	Диференц.(контр.)	44	40	42	40	32	28	40	38,0
	Полиц.-безполиц.	34	32	36	44	34	30	42	36,0
	Мілкий безполицевий	30	32	34	34	25	32	30	31,0
Органічна	Диференц.(контр.)	45	39	43	37	35	49	39	41,0
	Полиц.-безполиц.	42	42	42	42	34	41	37	40,0
	Мілкий безполицевий	39	41	43	33	31	35	37	37,0
Органо- мінеральна	Диференц.(контр.)	64	60	62	58	56	64	56	60,0
	Полиц.-безполиц.	63	63	63	68	54	63	53	61,0
	Мілкий безполицевий	58	57	60	55	48	46	54	54,0
Мінеральна	Диференц.(контр.)	66	64	65	64	57	65	60	63,0
	Полиц.-безполиц.	66	66	66	66	58	66	60	64,0
	Мілкий безполицевий	62	60	62	56	48	63	55	58,0
Середнє по системах удобрення	Без добрив	36,0	34,7	37,3	39,3	30,3	30,0	37,3	35,0
	Органічна	42,0	40,7	42,7	37,3	33,3	41,7	37,7	39,3
	Органо-мінеральна	61,7	60,0	61,7	60,3	52,7	57,7	54,3	58,3
	Мінеральна	64,7	63,3	64,3	62,0	54,3	64,7	58,3	61,7
Середнє по обробітку ґрунту	Диференц.(контр.)	54,8	50,8	53,0	49,8	45,0	51,5	48,8	50,5
	Полиц.-безполиц.	51,3	50,8	51,8	55,0	45,0	50,0	48,0	50,3
	Мілкий безполицевий	47,3	47,5	49,8	44,5	38,0	44,0	44,0	45,0
НІР ₀₅ А		1,2	1,15	1,5	2,1	1,1	1,42	0,6	1,30
НІР ₀₅ В		1,45	1,32	1,8	2,6	1,6	1,2	0,7	1,52

Додаток Д.9

Урожайність пшениці озимої після кукурудзи на силос залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, т/га

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Рік							2011– 2017 рр.
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Без добрив	Диференц.(контр.)	3	3,1	3,2	2,9	2,8	2,9	2,7	2,9
	Полиц.-безполиц.	2,9	3	2,8	2,7	2,8	2,7	2,9	2,8
	Мілкий безполицевий	2,7	3	2,4	2,1	2,5	2,8	3	2,6
Органічна	Диференц.(контр.)	4,5	4,4	4,4	4,1	4	4,1	4,2	4,2
	Полиц.-безполиц.	5	3,6	4	3,6	4,4	4,9	4,4	4,3
	Мілкий безполицевий	4	4,1	3,9	4,2	4,1	4	4	4,0
Органо- мінеральна	Диференц.(контр.)	6,2	6,2	5,7	5,8	6	5,9	5,8	5,9
	Полиц.-безполиц.	5,7	6,7	6,4	6	6,1	5,3	6,1	6,0
	Мілкий безполицевий	6	6	5,8	5	6,1	5,5	6,4	5,8
Мінеральна	Диференц.(контр.)	6,4	6,3	6,3	6,2	6,1	6,1	6,3	6,2
	Полиц.-безполиц.	6,5	7	6,7	6,2	6,2	6	6,4	6,4
	Мілкий безполицевий	6,5	6,3	6,2	6	6,2	6	6,5	6,2
Середнє по системах удобрення	Без добрив	2,9	3,0	2,8	2,6	2,7	2,8	2,9	2,8
	Органічна	4,5	4,0	4,1	4,0	4,2	4,3	4,2	4,2
	Органо-мінеральна	6,0	6,3	6,0	5,6	6,1	5,6	6,1	5,9
	Мінеральна	6,5	6,5	6,4	6,1	6,2	6,0	6,4	6,3
	Диференц.(контр.)	5,0	5,0	4,9	4,8	4,7	4,8	4,8	4,8
	Полиц.-безполиц.	5,0	5,1	5,0	4,6	4,9	4,7	5,0	4,9
	Мілкий безполицевий	4,8	4,9	4,6	4,3	4,7	4,6	5,0	4,7
НІР ₀₅ А		0,08	0,03	0,96	0,12	0,08	0,13	0,02	0,20
НІР ₀₅ В		0,1	0,04	1,3	0,14	0,09	0,15	0,1	0,27

Додаток Д.10

Урожайність соняшнику залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, т/га

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Рік							2011– 2017 рр.
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Без добрив	Диференц.(контр.)	1,9	0,9	2,1	1,8	1,3	1,5	1,1	1,5
	Полиц.-безполиц.	1,8	0,9	2	1,7	1,2	1,3	1,2	1,4
	Мілкий безполицевий	1,5	0,7	1,8	1,3	1	0,9	1	1,2
Органічна	Диференц.(контр.)	2,6	1,6	2,7	2,5	1,9	2,1	2,1	2,2
	Полиц.-безполиц.	2,5	1,7	2,7	2,3	1,9	1,9	1,9	2,1
	Мілкий безполицевий	2,1	1,3	2,3	2	1,5	1,5	1,5	1,7
Органо- мінеральна	Диференц.(контр.)	3,6	2,6	3,8	3,5	3	2,9	3	3,2
	Полиц.-безполиц.	3,7	2,9	3,9	3,6	3,1	3,2	3	3,3
	Мілкий безполицевий	3,1	2,1	3,3	3	2,5	2,6	2,6	2,7
Мінеральна	Диференц.(контр.)	3,8	2,8	4	3,6	3	3,2	3,2	3,4
	Полиц.-безполиц.	3,9	3,1	4,1	3,8	3,3	3,4	3,2	3,5
	Мілкий безполицевий	3,2	2,4	3,4	3	2,7	2,8	2,8	2,9
Середнє по системах удобрення	Без добрив	1,7	0,8	2,0	1,6	1,2	1,2	1,1	1,4
	Органічна	2,4	1,5	2,6	2,3	1,8	1,8	1,8	2,0
	Органо-мінеральна	3,5	2,5	3,7	3,4	2,9	2,9	2,9	3,1
	Мінеральна	3,6	2,8	3,8	3,5	3,0	3,1	3,1	3,3
Середнє по обробітку ґрунту	Диференц.(контр.)	3,0	2,0	3,2	2,9	2,3	2,4	2,4	2,6
	Полиц.-безполиц.	3,0	2,2	3,2	2,9	2,4	2,5	2,3	2,6
	Мілкий безполицевий	2,5	1,6	2,7	2,3	1,9	2,0	2,0	2,1
НІР ₀₅ А		0,08	0,03	0,96	0,12	0,08	0,13	0,02	0,21
НІР ₀₅ В		0,1	0,04	1,3	0,14	0,09	0,15	0,1	0,27

Додаток Д.11

Урожайність люцерни у чотирипільній сівозміні залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, т/га

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Рік							2011– 2017 рр.
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Органічна	Полицевий (контроль)	10,8	11,3	12,0	11,0	12,0	10,5	11,5	11,3
	Безполицевий	10,9	10,4	11,2	9,5	10,4	10,5	13,4	10,9
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	10,2	10,7	10,5	11,4	10,7	10,8	10,5	10,7
Мінеральна	Полицевий (контроль)	15,3	17,1	18	17,9	17	16	19	17,2
	Безполицевий	15,045	17,1	18	18	17	16	19	17,2
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	15,3	15,8	18	16,7	15,8	16	18	16,5
Середнє по системах удобрення	Органічна	10,6	10,8	11,2	10,6	11,0	10,6	11,8	11,0
	Мінеральна	15,2	16,7	18,0	17,5	16,6	16,0	18,7	17,0
Середнє по обробітку ґрунту	Полицевий (контроль)	13,1	14,2	15,0	14,5	14,5	13,3	15,3	14,2
	Безполицевий	13,0	13,8	14,6	13,8	13,7	13,3	16,2	14,0
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	12,8	13,3	14,3	14,1	13,3	13,4	14,3	13,6
НІР ₀₅ А		0,6	0,4	2,2	1,3	1	0,99	1,03	1,07
НІР ₀₅ В		0,7	0,5	1,8	1,8	1,02	1,05	2,0	1,2

Додаток Д.12

Урожайність пшениці озимої у чотирипільній сівозміні залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, т/га

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Рік							2011– 2017 рр.
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Органічна	Полицевий (контроль)	5	4,8	4,8	4,5	4,4	4,5	4,6	4,7
	Безполицевий	3,8	4,8	3,7	4,6	4,4	4,2	4,4	4,3
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	4,3	5,4	5,2	4	4	5,4	4,8	4,7
Мінеральна	Полицевий (контроль)	6,9	7,0	6,8	6,6	6,6	6,5	6,9	6,8
	Безполицевий	6,6	6,5	6,6	6,0	6,5	6,0	6,4	6,4
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	7,1	7,2	6,9	6,8	6,8	6,5	6,7	6,9
Середнє по системах удобрення	Органічна	4,4	5,0	4,6	4,4	4,3	4,7	4,6	4,6
	Мінеральна	5,0	5,7	5,2	5,1	5,0	5,4	5,4	5,3
Середнє по обробітку ґрунту	Полицевий (контроль)	6,0	5,9	5,8	5,6	5,5	5,5	5,8	5,8
	Безполицевий	5,2	5,7	5,2	5,3	5,5	5,1	5,4	5,4
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	5,7	6,3	6,1	5,4	5,4	6,0	5,8	5,8
НІР ₀₅ А		0,12	0,21	0,22	0,18	0,11	0,17	0,08	0,16
НІР ₀₅ В		0,17	0,3	0,28	0,12	0,21	0,2	0,1	0,20

Додаток Д.13

Урожайність кукурудзи на зерно у чотирипільній сівоzmіні залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, т/га

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Рік							2011– 2017 рр.
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Органічна	Полицевий (контроль)	7,8	8,3	9,0	8,0	9,0	7,5	8,5	8,3
	Безполицевий	5,9	6,4	5,2	5,5	6,4	5,5	6,4	5,9
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	6,2	6,7	7,5	6,4	7,7	6,8	7,5	7,0
Мінеральна	Полицевий (контроль)	9,5	10,1	12	12,1	11,5	12	12	11,3
	Безполицевий	6	6	6	6,6	7	7,7	7,8	6,7
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	8	9	9	7	8	9	10	8,6
Середнє по системах удобрення	Органічна	6,6	7,1	7,2	6,6	7,7	6,6	7,5	7,1
	Мінеральна	7,8	8,4	9,0	8,6	8,8	9,6	9,9	8,9
Середнє по обробітку ґрунту	Полицевий (контроль)	8,7	9,2	10,5	10,1	10,3	9,8	10,3	9,8
	Безполицевий	6,0	6,2	5,6	6,1	6,7	6,6	7,1	6,3
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	7,1	7,9	8,3	6,7	7,9	7,9	8,8	7,8
НІР ₀₅ А		0,6	0,5	2,2	1,3	1,1	0,99	1,03	1,10
НІР ₀₅ В		0,7	0,5	1,8	1,3	1,3	1,05	2	1,2

Додаток Д.14

Урожайність ячменя ярого у чотирипільній сівозміні залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, т/га

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Рік							2011– 2017 рр.
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Органічна	Полицевий (контроль)	3,2	3,2	3	3	2,8	2,7	2,8	3,0
	Безполицевий	3	3	2,8	2,7	2,6	2,6	2,5	2,7
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	3,3	3,3	3,4	3	2,8	2,9	2,9	3,1
Мінеральна	Полицевий (контроль)	5	5	5,2	4,8	4,5	4,4	4,3	4,7
	Безполицевий	4,6	4,6	4,8	4,1	4,2	4	4,2	4,4
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	4,8	5	5,2	5	4,9	5,1	5	5,0
Середнє по системах удобрення	Органічна	3,2	3,2	3,1	2,9	2,7	2,7	2,7	2,9
	Мінеральна	4,8	4,9	5,1	4,6	4,5	4,5	4,5	4,7
Середнє по обробітку ґрунту	Полицевий (контроль)	4,1	4,1	4,1	3,9	3,7	3,6	3,6	3,9
	Безполицевий	3,8	3,8	3,8	3,4	3,4	3,3	3,4	3,6
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	4,1	4,2	4,3	4,0	3,9	4,0	4,0	4,0
НІР ₀₅ А		0,14	0,13	0,3	0,18	0,2	0,3	0,32	0,22
НІР ₀₅ В		0,12	0,42	0,32	0,23	0,27	0,43	0,5	0,33

Додаток Е1

Стабільність систем землеробства польової сівозміни, % (2011–2017 рр.)

Система удобрення, А	Варіант обробітку грунту, В	Культура сівозміни										Середнє
		люце- рна	люце- рна	пше- ниця озима	буря- ки цук- рові	ячмінь	соя	пше- ниця озима	кукуру- дза на силос	пше- ниця озима	соняш- ник	
Без добрив	Диференц.(контр.)	87	87,3	87,3	81,6	86,7	86,7	86,4	83,1	87	70,5	84,4
	Полиц.-безполиц.	84,6	85,2	87,3	81,6	86,7	83,4	87,3	83,4	87,6	72,6	84,0
	Мілкий безполицевий	85,5	86,1	86,4	86,1	86,1	86,1	87	85,8	84,6	66,3	84,0
Органічна	Диференц.(контр.)	86,7	87	87,3	80,7	86,7	85,5	87,3	84,9	87,3	81	85,4
	Полиц.-безполиц.	84	85,2	84	83,4	87	86,4	85,8	86,4	84,3	81,6	84,8
	Мілкий безполицевий	86,4	86,7	86,1	83,7	86,7	86,4	87,9	84,9	87,6	78	85,4
Органо- мінеральна	Диференц.(контр.)	87	87	87,9	81,3	87	87,6	87,6	87,3	87,6	84	86,4
	Полиц.-безполиц.	87,6	87,6	87,6	82,5	87,6	87,6	87,3	86,1	86,7	84,9	86,6
	Мілкий безполицевий	86,7	86,7	87,6	86,4	87,6	87,3	87,6	85,8	86,7	83,1	86,6
Мінеральна	Диференц.(контр.)	87,3	87,3	87,6	83,4	86,7	87,3	87,6	87,3	87,9	84,3	86,7
	Плоскорізний	87,3	87,3	87,6	84,3	87,6	87,3	87,6	87,3	87,3	85,5	86,9
	Полиц.-безполиц.	87,3	87,3	87,3	85,2	86,7	87	87,3	86,1	87,6	85,2	86,7
Середнє по системах удобрення	Без добрив	85,7	86,2	87	83,1	86,5	85,4	86,9	84,1	86,4	69,8	84,1
	Органічна	85,7	86,3	85,8	82,6	86,8	86,1	87	85,4	86,4	80,2	85,2
	Органо-мінеральна	87,1	87,1	87,7	83,4	87,4	87,5	87,5	86,4	87	84	86,5
	Мінеральна	87,3	87,3	87,5	84,3	87	87,2	87,5	86,9	87,6	85	86,8
Середнє по системах обробітку грунту	Диференц.(контр.)	87,0	87,2	87,5	81,8	86,8	86,8	87,2	85,7	87,5	80,0	85,7
	Полиц.-безполиц.	85,9	86,3	86,6	83,0	87,2	86,2	87,0	85,8	86,5	81,2	85,6
	Мілкий безполицевий	86,5	86,7	86,9	85,4	86,8	86,7	87,5	85,7	86,6	78,2	85,7

Додаток Ж.1

Якість зерна пшениці озимої після люцерни залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, 2013 р.

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Маса 1000 зерен, г	Білок, %	Вміст клейковини, %	Якість клейковини, од. ІДК	Натурна маса, г/л	Число падіння, секунд	Скловидність, %
Без добрив	Диференц.(контр.)	38,2	10,5	24,7	93,5	689	180	53
	Полиц.-безполиц.	38,4	10,9	24,6	93,5	692	181	55
	Мілкий безполицевий	36,8	10,5	23,5	92,6	687	178	52
Органічна	Диференц.(контр.)	41,6	11,4	26,9	101,6	748,6	192	57,9
	Полиц.-безполиц.	41,8	11,9	26,8	101,6	750	193	60
	Мілкий безполицевий	40	11,4	25,6	100,7	747	192	56
Органо-мінеральна	Диференц.(контр.)	43,3	12,6	28,9	101,6	751	195	60
	Полиц.-безполиц.	44,1	12,8	28,5	102,6	753	196	62
	Мілкий безполицевий	41,8	11,8	26,6	100,7	750,5	193	59
Мінеральна	Диференц.(контр.)	42,8	13,3	29,4	107,3	754	203	66,5
	Полиц.-безполиц.	43,7	13,3	28,5	107	755	204	67
	Мілкий безполицевий	41,7	12,6	28,5	101,6	750,5	201	63
Середнє по системах удобрення	Без добрив	37,8	10,6	24,3	93,2	689,3	179,7	53,3
	Органічна	41,1	11,6	26,4	101,3	748,5	192,3	58,0
	Органо-мінеральна	43,1	12,4	28,0	101,6	751,5	194,7	60,3
	Мінеральна	42,7	13,1	28,8	105,3	753,2	202,7	65,5
Середнє по обробітку ґрунту	Диференц.(контр.)	41,5	12,0	27,5	101,0	735,7	192,5	59,4
	Полиц.-безполиц.	42,0	12,2	27,1	101,2	737,5	193,5	61,0
	Мілкий безполицевий	40,1	11,6	26,1	98,9	733,75	191	57,5
НІР ₀₅ А		0,69	0,96	0,29	1,22	3,08	1,19	1,16
НІР ₀₅ В		0,79	0,22	0,34	1,40	F _ф <F ₀₅	1,36	1,33

Додаток Ж.2

Якість зерна пшениці озимої після люцерни залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, 2014 р.

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Маса 1000 зерен, г	Білок, %	Вміст клейковини, %	Якість клейковини, од. ІДК	Натурна маса, г/л	Число падіння, секунд	Скловидність, %
Без добрив	Диференц.(контр.)	32,5	15,1	25,8	81,5	681,5	248,6	51,2
	Полиц.-безполиц.	32,0	14,6	25,6	79,1	680,6	249,5	48,4
	Мілкий безполицевий	31,4	14,1	23,6	83,8	679,6	242,1	45,6
Органічна	Диференц.(контр.)	33,2	15,4	26,3	83,1	695,4	253,7	52,3
	Полиц.-безполиц.	32,7	14,9	26,1	80,8	694,5	254,6	49,4
	Мілкий безполицевий	32,0	14,3	24,1	85,5	693,5	247,0	46,6
Органо-мінеральна	Диференц.(контр.)	34,1	16,1	29,6	83,1	704,0	257,5	52,3
	Полиц.-безполиц.	33,7	16,0	29,4	83,1	704,0	256,5	48,5
	Мілкий безполицевий	33,3	15,5	28,3	85,5	699,2	249,9	48,5
Мінеральна	Диференц.(контр.)	34,4	16,2	31,8	87,9	707,8	266,0	61,8
	Полиц.-безполиц.	34,2	16,1	31,6	90,3	706,8	263,2	60,8
	Мілкий безполицевий	33,7	15,6	30,5	85,5	703,0	257,5	53,2
Середнє по системах удобрення	Без добрив	32,0	14,6	25,0	81,5	680,6	246,7	48,4
	Органічна	32,6	14,9	25,5	83,1	694,5	251,8	49,4
	Органо-мінеральна	33,7	15,8	29,1	83,9	702,4	254,6	49,7
	Мінеральна	34,1	16,0	31,3	87,9	705,9	262,2	58,6
Середнє по обробітку ґрунту	Диференц.(контр.)	33,5	15,7	28,4	83,9	697,1	256,4	54,4
	Полиц.-безполиц.	33,2	15,4	28,2	83,3	696,4	255,9	51,8
	Мілкий безполицевий	32,6	14,9	26,6	85,1	693,8	249,1	48,5
НІР ₀₅ А		0,38	0,34	0,32	1,00	4,14	1,42	1,32
НІР ₀₅ В		0,44	1,38	0,77	0,81	F _φ <F ₀₅	3,52	1,59

Додаток Ж.3

Якість зерна пшениці озимої після люцерни залежно від систем удобрення та обробітку ґрунту, 2015 р.

Система удобрення, А	Варіант обробітку ґрунту, В	Маса 1000 зерен, г	Білок, %	Вміст клейковини, %	Якість клейковини, од. ІДК	Натурна маса, г/л	Число падіння, секунд	Скловидність, %
Без добрив	Диференц.(контр.)	41,1	12,8	23,1	100,1	747,6	218,8	51,2
	Полиц.-безполиц.	41,1	12,7	22,9	100,1	744,8	219,7	49,3
	Мілкий безполицевий	40,8	12,2	22,3	104,7	738,3	209,5	37,2
Органічна	Диференц.(контр.)	41,9	13,0	23,6	102,1	762,9	223,3	52,3
	Полиц.-безполиц.	41,9	12,9	23,4	102,1	760,0	224,2	50,4
	Мілкий безполицевий	41,6	12,4	22,8	106,9	753,4	213,8	38,0
Органо-мінеральна	Диференц.(контр.)	43,3	14,6	27,5	102,1	767,6	232,8	65,6
	Полиц.-безполиц.	43,3	14,3	27,0	102,1	768,6	230,9	63,7
	Мілкий безполицевий	43,0	14,1	25,7	104,5	763,8	218,5	47,5
Мінеральна	Диференц.(контр.)	43,7	14,8	30,6	97,4	770,5	237,5	72,2
	Полиц.-безполиц.	43,6	14,5	29,8	97,4	769,5	231,8	70,3
	Мілкий безполицевий	43,2	14,1	30,5	97,4	767,6	222,3	62,7
Середнє по системах удобрення	Без добрив	41,0	12,5	22,8	101,6	743,6	216,0	45,9
	Органічна	41,8	12,8	23,2	103,7	758,7	220,4	46,9
	Органо-мінеральна	43,2	14,3	26,7	102,9	766,7	227,4	58,9
	Мінеральна	43,5	14,5	30,3	97,4	769,2	230,5	68,4
Середнє по обробітку ґрунту	Диференц.(контр.)	42,5	13,8	26,2	100,4	762,1	228,1	60,3
	Полиц.-безполиц.	42,5	13,6	25,8	100,4	760,7	226,6	58,4
	Мілкий безполицевий	42,2	13,2	25,3	103,4	755,8	216,0	46,4
НІР ₀₅ А		0,66	0,43	0,50	0,67	4,31	4,1	1,96
НІР ₀₅ В		0,03	0,48	0,61	0,83	F _ф <F ₀₅	4,85	2,23

Додаток 3. 1

Енергетична ефективність вирощування люцерни першого року використання, (2011–2017 рр.)

Система удобрення	Системи основного обробітку грунту	Урожайні- сть, т/га	Енергія в урожаї 1 га, ГДж	Прямі витрати енергії на 1 га, ГДж					Коефіцієнт	
				основні засоби	пальне	насіння, агрохімі- кати	Затрати праці	усього	енергетич- ної ефекти- вності, К _е	Енергетич- ної доціль- ності, ± ГДж
Без добрив	Диференційований (контроль)	8,5	29,6	1,95	4,7	0,74	0,37	7	4,18	23
	Полицево-безполицевий	8,8	30,6	1,87	3,66	0,74	0,34	6,6	4,6	24
	Мілкий безполицевий	7,2	25,1	1,74	2,6	0,74	0,28	5	4,66	20
Орга- нічна	Диференційований (контроль)	11,3	39,3	1,95	4	0,74	0,37	7	5,5	32
	Полицево-безполицевий	11,5	40	1,87	3,6	0,74	0,34	6,6	6,05	33,4
	Мілкий безполицевий	9,4	32,7	1,74	2,6	0,74	0,28	5	6	27
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	17	59,2	2	4,7	2,33	0,38	9,3	6,7	52
	Полицево-безполицевий	17,1	59,5	1,92	3,7	2,33	0,35	9	7,1	51,2
	Мілкий безполицевий	14,8	51,5	1,79	3	2,33	0,29	9,3	7,1	44,1
Мінеральна	Диференційований (контроль)	17,6	61,3	1,75	4,7	2,97	0,49	9,9	6,1	51
	Полицево-безполицевий	17,5	60,9	1,75	4,7	2,97	0,49	10	6,1	51
	Мілкий безполицевий	15,3	53,3	1,75	4,7	2,97	0,49	9,9	5,3	43
Середнє по основному обробітку ґрунту										
Диференційований (контроль)		13,6	47,4	1,9	4,5	1,7	0,4	8,3	5,6	39,5
Полицево-безполицевий		13,7	47,8	1,9	3,9	1,7	0,4	8,1	6,0	39,9
Мілкий безполицевий		11,7	40,7	1,8	3,2	1,7	0,3	7,3	5,8	33,5
Середнє по системах удобрення										
Без добрив		8,2	28,4	1,9	3,7	0,7	0,3	6,2	4,5	22,3
Органічна		10,7	37,3	1,9	3,4	0,7	0,3	6,2	5,9	30,8
Органо-мінеральна		16,3	56,7	1,9	3,8	2,3	0,3	9,2	7,0	49,1
Мінеральна		16,8	58,5	1,8	4,7	3,0	0,5	9,9	5,8	48,3

Додаток 3. 2

Енергетична ефективність вирощування люцерни другого року використання, (2011–2017 рр.)

Система удобрення	Системи основного обробітку грунту	Урожайні- сть, т/га	Енергія в урожаї 1 га, ГДж	Прямі витрати енергії на 1 га, ГДж					Коефіцієнт	
				основні засоби	пальне	насіння, агрохімі- кати	затрати праці	усього	енергетич- ної ефекти- вності, К _е	Енергетич- ної доціль- ності, ± ГДж
Без добрив	Диференційований (контроль)	11,6	40,4	1,95	4	0,74	0,36	7,1	5,7	33,3
	Полицево-безполицевий	12	41,8	1,87	3,66	0,74	0,34	6,6	6,3	35,2
	Мілкий безполицевий	10	34,8	1,74	2,61	0,74	0,28	5	6,4	29
Орга- нічна	Диференційований (контроль)	15	52,2	1,95	4	0,74	0,37	7,1	7,3	45,2
	Полицево-безполицевий	15,8	55	1,87	3,66	0,74	0,34	6,6	8,3	48,4
	Мілкий безполицевий	12,7	44,2	1,74	2,61	0,74	0,28	5	8,2	39
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	20,9	72,8	2	4,1	2,33	0,38	8,8	8,2	63,9
	Полицево-безполицевий	21	73,1	1,92	3,73	2,33	0,35	8,3	8,7	64,8
	Мілкий безполицевий	18,2	63,4	1,79	3	2,33	0,29	7,4	7,1	55,9
Мінеральна	Диференційований (контроль)	21,6	75,2	1,75	4,7	1,52	0,49	8,5	8,8	66,7
	Полицево-безполицевий	21,6	75,2	1,75	4,7	1,52	0,49	8,5	8,8	66,7
	Мілкий безполицевий	18,8	65,5	1,75	4,7	1,52	0,49	8,5	7,7	57
Середнє по основному обробітку ґрунту										
Диференційований (контроль)		17,3	60,2	1,9	4,2	1,33	0,40	7,9	7,5	52,3
Полицево-безполицевий		17,6	61,3	1,9	3,9	1,33	0,38	7,5	8,0	53,8
Мілкий безполицевий		14,9	52,0	1,8	3,2	1,33	0,34	6,5	7,4	45,2
Середнє по системах удобрення										
Без добрив		11,2	39,0	1,9	3,4	0,74	0,33	6,2	6,1	32,5
Органічна		14,5	50,5	1,9	3,4	0,74	0,33	6,2	7,9	44,2
Органо-мінеральна		20,0	69,8	1,9	3,6	2,33	0,34	8,2	8,0	61,5
Мінеральна		20,7	72,0	1,8	4,7	1,52	0,49	8,5	8,4	63,5

Додаток 3.3

Енергетична ефективність вирощування пшениці озимої після люцерни, (2011–2017 рр.)

Система удобрення	Системи основного обробітку грунту	Урожайні- сть, т/га	Енергія в урожаї 1 га, ГДж	Прямі витрати енергії на 1 га, ГДж					Коефіцієнт	
				основні засоби	пальне	насіння, агрохімі- кати	затрати праці	усього	енергетич- ної ефекти- вності, К _е	Енергетич- ної доціль- ності, ± ГДж
Без добрив	Диференційований (контроль)	3,4	83,5	2,5	3,73	7,15	0,5	13,8	6	69,6
	Полицево-безполицевий	3,3	81,1	2,4	3,61	7,1	0,47	13,6	5,9	67,4
	Мілкий безполицевий	3,1	76,1	2,3	3,16	7,15	0,42	13	5,8	63,1
Орга- нічна	Диференційований (контроль)	4,7	115,5	2,5	3,73	10,3	0,5	17	6,7	98,4
	Полицево-безполицевий	4,7	115,5	2,4	3,61	10,3	0,47	16,8	6,8	98,6
	Мілкий безполицевий	4,3	105,6	2,3	3,16	10,3	0,42	16,2	6,5	89,4
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	6,7	168,1	2,1	4,1	20,4	0,55	27,3	6,1	140,8
	Полицево-безполицевий	6,8	168,9	2,2	4,3	20,4	0,6	27,6	6,1	141,1
	Мілкий безполицевий	6,4	159,0	2,0	4	20,4	0,46	26,9	5,8	132
Мінеральна	Диференційований (контроль)	6,9	169,6	1,4	4,2	20	0,56	26,3	6,4	143,2
	Полицево-безполицевий	7,0	172,0	1,5	4,3	20	0,55	26,4	6,5	145,5
	Мілкий безполицевий	6,6	162,0	1,4	4,2	20	0,49	26,2	6,1	135,9
Середнє по основному обробітку ґрунту										
Диференційований (контроль)		5,4	134,2	2,1	3,94	14,5	0,53	21,1	6,3	113,0
Полицево-безполицевий		5,5	134,4	2,1	3,955	14,5	0,52	21,1	6,3	113,2
Мілкий безполицевий		5,1	125,7	2,0	3,63	14,5	0,45	20,6	6,1	105,1
Середнє по системах удобрення										
Без добрив		3,3	80,2	2,4	3,5	7,1	0,46	13,5	5,9	66,7
Органічна		4,6	90,9	2,4	3,5	8,2	0,46	14,5	6,1	76,3
Органо-мінеральна		6,6	102,4	2,4	3,5	9,3	0,46	15,6	6,4	86,7
Мінеральна		6,8	112,2	2,4	3,5	10,3	0,46	16,7	6,7	95,5

Додаток 3.4

Енергетична ефективність вирощування буряків цукрових, (2011–2017 рр.)

Система удобрення	Системи основного обробітку грунту	Урожайні- сть, т/га	Енергія в урожаї 1 га, ГДж	Прямі витрати енергії на 1 га, ГДж					Коефіцієнт	
				основні засоби	пальне	насіння, агрохімі- кати	затрати праці	усього	енергетич- ної ефекти- вності, К _{се}	Енергетич- ної доціль- ності, ± ГДж
Без добрив	Диференційований (контроль)	32	129	2,0	7,90	0,1	1,18	11	11,4	118
	Полицево-безполицевий	35	141	2,1	8,38	0,1	1,22	12	11,8	129
	Мілкий безполицевий	30	121	1,9	6,98	0,1	1,07	10	11,9	111
Орга- нічна	Диференційований (контроль)	40	161	2,0	7,90	12,2	1,18	23	6,8	138
	Полицево-безполицевий	43	173	2,1	8,38	12,2	1,22	24	7,2	149
	Мілкий безполицевий	37	149	1,9	6,98	12,2	1,07	22	6,6	127
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	64	257	2,3	8,91	19,8	1,31	32	7,9	225
	Полицево-безполицевий	67	269	2,3	8,91	19,8	1,33	32	8,3	237
	Мілкий безполицевий	53	213	2,2	8,76	19,8	1,3	32	6,6	181
Мінеральна	Диференційований (контроль)	67	270	2,2	8,25	22,3	1,26	34	7,9	253
	Полицево-безполицевий	70	282	2,2	8,45	22,3	1,29	34	8,2	247
	Мілкий безполицевий	55	221	2,2	8,14	22,3	1,24	34	6,5	187
Середнє по основному обробітку ґрунту										
Диференційований (контроль)		51	204	2,1	8,24	13,6	1,2	25	9	184
Полицево-безполицевий		54	216	2,2	8,53	13,6	1,3	26	9	191
Мілкий безполицевий		44	176	2,1	7,72	13,6	1,2	25	8	152
Середнє по системах удобрення										
Без добрив		32	130	2	8	0	1	11	12	119
Органічна		40	161	2	8	12	1	23	7	138
Органо-мінеральна		61	247	2	9	20	1	32	8	214
Мінеральна		64	257	2	8	22	1	34	8	229

Додаток 3.5

Енергетична ефективність вирощування ячменя, (2011–2017 рр.)

Система удобрення	Системи основного обробітку грунту	Урожайні- сть, т/га	Енергія в урожаї 1 га, ГДж	Прямі витрати енергії на 1 га, ГДж					Коефіцієнт	
				основні засоби	пальне	насіння, агрохімі- кати	затрати праці людей	усього	енергетич- ної ефекти- вності, К _е	Енергетич- ної доціль- ності, ± ГДж
Без добрив	Диференційований (контроль)	2,2	50,9	1,1	1,90	6,3	0,36	9,7	5,2	41,1
	Полицево-безполицевий	2,2	50,9	1,6	2,80	6,3	0,28	11,1	4,5	39,8
	Мілкий безполицевий	2,1	48,6	2,2	1,90	6,3	0,38	10,9	4,4	37,6
Орга- нічна	Диференційований (контроль)	3,1	71,8	1,1	1,92	6,4	0,36	9,7	7,3	62,0
	Полицево-безполицевий	3	69,5	1,6	2,88	6,4	0,28	11,1	6,2	58,3
	Мілкий безполицевий	2,7	62,5	2,3	1,94	6,4	0,38	10,9	5,7	51,5
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	4,6	106,5	1,9	3,12	8,7	0,4	14,1	7,5	92,4
	Полицево-безполицевий	4,5	104,2	1,2	2,13	8,7	0,41	12,4	8,4	91,8
	Мілкий безполицевий	4	92,6	1,1	1,77	8,7	0,34	11,8	7,8	80,8
Мінеральна	Диференційований (контроль)	4,7	108,9	1,3	2,48	14,6	0,47	18,9	5,2	80,7
	Полицево-безполицевий	5	115,8	1,3	3,00	14,6	0,47	19,4	5,2	82,4
	Мілкий безполицевий	4,4	101,9	1,2	2,06	14,6	0,41	18,2	5,3	79,0
Середнє по основному обробітку ґрунту										
Диференційований (контроль)		3,7	84,5	1,4	2,36	9,0	0,40	13,1	6,3	69,1
Полицево-безполицевий		3,7	85,1	1,4	2,70	9,0	0,36	13,5	6,1	68,1
Мілкий безполицевий		3,3	76,4	1,7	1,92	9,0	0,38	13,0	5,8	62,2
Середнє по системах удобрення										
Без добрив		2,2	50,1	1,6	2,2	6,3	0,3	10,6	4,7	39,5
Органічна		2,9	67,9	1,7	2,2	6,4	0,3	10,6	6,4	57,3
Органо-мінеральна		4,4	101,1	1,4	2,3	8,7	0,4	12,8	7,9	88,3
Мінеральна		4,7	108,9	1,3	2,5	14,6	0,5	18,8	5,2	80,7

Додаток 3.6
Енергетична ефективність вирощування сої, (2011–2017 рр.)

Система удобрення	Системи основного обробітку грунту	Урожайні- сть, т/га	Енергія в урожаї 1 га, ГДж	Прямі витрати енергії на 1 га, ГДж					Коефіцієнт	
				основні засоби	пальне	насіння, агрохімі- кати	затрати праці	всього	енергетич- ної ефекти- вності, К _е	Енергетич- ної доціль- ності, ± ГДж
Без добрив	Диференційований (контроль)	1,4	35,3	2	3,03	3,6	0,57	9,3	3,8	26
	Полицево-безполицевий	1,3	32,8	1,57	2,53	3,6	0,48	8,3	3,9	24,5
	Мілкий безполицевий	1,3	32,8	1,73	2,04	3,6	0,43	7,9	4,1	24,9
Орга- нічна	Диференційований (контроль)	1,8	45,4	2	3,03	3,82	0,57	9,4	4,8	36
	Полицево-безполицевий	1,8	45,4	1,57	2,53	3,82	0,48	8,4	5,4	37
	Мілкий безполицевий	1,7	42,9	1,73	2,04	3,82	0,43	8	5,3	34,9
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	3,2	80,8	2,2	3,24	5,9	0,63	12,1	6,7	68,7
	Полицево-безполицевий	3,2	80,8	1,7	2,71	5,9	0,53	10,9	7,4	69,9
	Мілкий безполицевий	3	75,7	1,64	2,43	5,9	0,48	10,5	7,2	65,2
Мінеральна	Диференційований (контроль)	3,4	85,8	2	3,18	6,9	0,6	12,8	6,7	73
	Полицево-безполицевий	3,6	90,9	2,36	3,42	6,9	0,6	13,3	6,4	72,5
	Мілкий безполицевий	3,2	80,8	3,2	3,1	6,9	0,54	13,8	5,1	56,8
Середнє по основному обробітку ґрунту										
Диференційований (контроль)		2,5	61,8	2,1	3,12	5,1	0,59	10,9	5,5	50,9
Полицево-безполицевий		2,5	62,5	1,8	2,80	5,1	0,52	10,2	5,8	51,0
Мілкий безполицевий		2,3	58,1	2,1	2,40	5,1	0,47	10,1	5,4	45,5
Середнє по системах удобрення										
Без добрив		1,3	33,6	1,8	2,53	3,6	0,49	8,5	3,9	25,1
Органічна		1,8	44,6	1,8	2,5	3,8	0,5	8,6	5,2	36,0
Органо-мінеральна		3,1	79,1	1,8	2,8	5,9	0,5	11,2	7,1	67,9
Мінеральна		3,4	85,8	2,5	3,2	6,9	0,6	13,3	6,1	67,4

Додаток 3. 7

Енергетична ефективність вирощування пшениці озимої в ланці із соєю, (2011–2017 рр.)

Система удобрення	Системи основного обробітку грунту	Урожайні- сть, т/га	Енергія в урожаї 1 га, ГДж	Прямі витрати енергії на 1 га, ГДж					Коефіцієнт	
				основні засоби	пальне	насіння, агрохімі- кати	затрати праці	усього	енергетич- ної ефекти- вності, К _{се}	Енергетич- ної доціль- ності, ± ГДж
Без добрив	Диференційований (контроль)	3,2	79,5	2,5	2,1	6,6	0,44	11,6	6,8	67,8
	Полицево-безполицевий	3	74,5	2,5	2,5	6,6	0,49	12	6,1	62,4
	Мілкий безполицевий	2,9	72,0	2,4	2	6,6	0,38	11,4	6,3	60,6
Орга- нічна	Диференційований (контроль)	4,6	114,3	2,5	2,13	6,7	0,45	11,8	9,7	102,5
	Полицево-безполицевий	4,8	119,3	2,5	2,51	6,7	0,49	12,2	9,8	107
	Мілкий безполицевий	4,4	109,3	2,4	2,02	6,7	0,38	11,5	9,4	97,8
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	6,2	154,0	2,7	3,49	13,4	0,53	20,2	7,6	133,8
	Полицево-безполицевий	6,4	159,0	2,6	3,83	13,4	0,53	20,4	7,8	138,6
	Мілкий безполицевий	6,3	156,5	2,6	3,95	13,4	0,52	20,5	7,6	136
Мінеральна	Диференційований (контроль)	6,6	165,0	1,4	2,55	19,3	0,53	23,8	6,9	141
	Полицево-безполицевий	6,8	169,0	1,5	2,69	19,3	0,55	24	7	144
	Мілкий безполицевий	6,6	164,0	1,6	2,69	19,3	0,56	24,1	6,8	139,9
Середнє по основному обробітку ґрунту										
Диференційований (контроль)		5,2	128,2	2,3	2,57	11,5	0,49	16,9	7,8	111,3
Полицево-безполицевий		5,3	130,5	2,3	2,88	11,5	0,52	17,2	7,7	113,0
Мілкий безполицевий		5,1	125,5	2,3	2,67	11,5	0,46	16,9	7,5	108,6
Середнє по системах удобрення										
Без добрив		3,0	75,3	2,5	2,20	6,6	0,44	11,7	6,4	63,6
Органічна		4,6	114,3	2,5	2,2	6,7	0,4	11,8	9,6	102,4
Органо-мінеральна		6,3	156,5	2,6	3,8	13,4	0,5	20,4	7,7	136,1
Мінеральна		6,7	166,0	1,5	2,6	19,3	0,5	24,0	6,9	141,6

Додаток 3. 8

Енергетична ефективність вирощування кукурудзи на силос, (2011–2017 рр.)

Система удобрення	Системи основного обробітку грунту	Урожайні- сть, т/га	Енергія в урожаї 1 га, ГДж	Прямі витрати енергії на 1 га, ГДж					Коефіцієнт	
				основні засоби	пальне	насіння, агрохімі- кати	затрати праці	усього	енергетич- ної ефекти- вності, К _{се}	Енергетич- ної доціль- ності, ± ГДж
Без добрив	Диференційований (контроль)	38	124,6	1,76	5,06	0,8	0,71	8,3	15,7	122,8
	Полицево-безполицевий	36	118	1,83	5	0,8	0,75	8,4	15,9	126
	Мілкий безполицевий	31	101,6	1,64	4,2	0,8	0,63	7,3	13,9	94,3
Орга- нічна	Диференційований (контроль)	41	134,4	1,83	5	7,1	0,75	14,7	9,1	119,7
	Полицево-безполицевий	40	131,1	1,76	5	7,1	0,77	14,6	8,9	116,5
	Мілкий безполицевий	37	121,3	1,64	4,21	7,1	0,63	13,6	8,9	107,7
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	60	196,7	1,9	6,52	14,3	0,91	23,7	8,3	173
	Полицево-безполицевий	61	209,8	1,99	6,59	14,3	0,91	23,9	8,37	176,1
	Мілкий безполицевий	54	190,1	2,1	6,35	14,3	0,91	23,8	7,4	153,3
Мінеральна	Диференційований (контроль)	63	206,5	1,85	7	23,6	1,02	33,5	6,1	173
	Полицево-безполицевий	64	209,8	1,67	7	23,6	0,96	33,2	6,3	176,6
	Мілкий безполицевий	58	190	2	6,3	23,6	1	33	5,7	157
Середнє по основному обробітку ґрунту										
Диференційований (контроль)		51	165,6	1,8	5,90	11,5	0,85	20,1	9,8	147,1
Полицево-безполицевий		50	167,2	1,8	5,90	11,5	0,85	20,0	9,9	148,8
Мілкий безполицевий		45	150,8	1,8	5,27	11,5	0,79	19,4	9,0	128,1
Середнє по системах удобрення										
Без добрив		35	114,7	1,7	4,75	0,8	0,70	8,0	15,2	114,4
Органічна		39	128,9	1,7	4,7	7,1	0,7	14,3	9,0	114,6
Органо-мінеральна		58	198,9	2,0	6,5	14,3	0,9	23,8	8,0	167,5
Мінеральна		62	202,1	1,8	6,8	23,6	1,0	33,2	6,0	168,9

Додаток 3. 9

Енергетична ефективність вирощування пшениці озимої в ланці кукурудзи на силос, (2011–2017 рр.)

Система удобрення	Системи основного обробітку грунту	Урожайні- сть, т/га	Енергія в урожаї 1 га, ГДж	Прямі витрати енергії на 1 га, ГДж					Коефіцієнт	
				основні засоби	пальне	насіння, агрохімі- кати	затрати праці	усього	енергетич- ної ефекти- вності, К _е	Енергетич- ної доціль- ності, ± ГДж
Без добрив	Диференційований (контроль)	2,9	72,1	1,93	4,3	6,9	0,43	13,6	5,3	58,5
	Полицево-безполицевий	2,8	69,6	2	3,9	6,9	0,49	13,3	5,2	56,2
	Мілкий безполицевий	2,6	64,6	1,91	3	6,9	0,43	12,3	5,2	52,3
Орга- нічна	Диференційований (контроль)	4,2	104,4	1,93	4,3	8,8	0,43	15,5	6,7	88,9
	Полицево-безполицевий	4,3	106,9	2,04	3,9	8,8	0,49	15,2	7	91,6
	Мілкий безполицевий	4	99,4	1,91	3,07	8,8	0,43	14,2	6,9	85,2
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	5,9	146,6	2,07	4	18,5	0,51	25,1	5,8	121,5
	Полицево-безполицевий	6	149,1	1,47	3,9	18,5	0,54	24,5	6,1	124,7
	Мілкий безполицевий	5,8	144,1	2,15	3,7	18,5	0,53	24,9	5,7	119,2
Мінеральна	Диференційований (контроль)	6,2	154,1	1,4	2,6	20,2	0,54	24,8	6,2	129,3
	Полицево-безполицевий	6,4	159,1	1,58	2,76	20,2	0,57	25,1	6,3	133,9
	Мілкий безполицевий	6,2	154,1	1,58	2,8	20,2	0,57	25,1	6,1	129
Середнє по основному обробітку ґрунту										
Диференційований (контроль)		4,8	119,3	1,8	3,80	13,6	0,48	19,8	6,0	99,6
Полицево-безполицевий		4,9	121,2	1,8	3,62	13,6	0,52	19,5	6,2	101,6
Мілкий безполицевий		4,7	115,6	1,9	3,14	13,6	0,49	19,1	6,0	96,4
Середнє по системах удобрення										
Без добрив		2,8	68,8	1,9	3,73	6,90	0,45	13,07	5,2	55,7
Органічна		4,2	103,6	2,0	3,8	8,8	0,5	15,0	6,9	88,6
Органо-мінеральна		5,9	146,6	1,9	3,9	18,5	0,5	24,8	5,9	121,8
Мінеральна		6,3	155,8	1,5	2,7	20,2	0,6	25,0	6,2	130,7

Додаток 3. 10

Енергетична ефективність вирощування соняшнику, (2011–2017 рр.)

Система удобрення	Системи основного обробітку грунту	Урожайні- сть, т/га	Енергія в урожаї 1 га, ГДж	Прямі витрати енергії на 1 га, ГДж					Коефіцієнт	
				основні засоби	пальне	насіння, агрохімі- кати	затрати праці	всього	енергетич- ної ефекти- вності, К _е	Енергетич- ної доціль- ності, ± ГДж
Без добрив	Диференційований (контроль)	1,5	33,2	1,08	2,78	0,37	0,56	4,8	6,8	28,3
	Полицево-безполицевий	1,4	30,8	1	2,6	0,37	0,51	4,5	6,8	26,4
	Мілкий безполицевий	1,2	26,4	1,11	2,3	0,37	0,5	4,3	6,1	22,1
Орга- нічна	Диференційований (контроль)	2,2	48,5	1,08	2,78	6,7	0,56	11,1	4,3	37,4
	Полицево-безполицевий	2,1	46,3	1	2,6	6,7	0,52	10,8	4,3	35,5
	Мілкий безполицевий	1,7	37,5	1,11	2,3	6,7	0,5	10,6	3,5	26,8
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	3,2	70,5	1,43	4,7	14,7	0,35	21,3	3,3	49,2
	Полицево-безполицевий	3,3	72,7	1,74	2,67	14,7	0,48	19,7	3,7	53
	Мілкий безполицевий	2,9	63,9	1,24	2,43	14,7	0,42	18,7	3,4	45,2
Мінеральна	Диференційований (контроль)	3,4	74,9	1,29	3,4	22,8	0,65	28,2	2,6	46,7
	Полицево-безполицевий	3,5	77,1	1,28	3,35	22,8	0,63	28,1	2,7	49
	Мілкий безполицевий	2,9	63,9	1,39	3,3	22,8	0,65	28,3	2,2	35,6
Середнє по основному обробітку ґрунту										
Диференційований (контроль)		2,6	56,8	1,2	3,4	11,1	0,5	16,4	4,3	40,4
Полицево-безполицевий		2,6	56,7	1,3	2,8	11,1	0,5	15,8	4,4	41,0
Мілкий безполицевий		2,2	47,9	1,2	2,6	11,1	0,5	15,5	3,8	32,4
Середнє по системах удобрення										
Без добрив		1,4	30,1	1,1	2,6	0,4	0,5	4,5	6,6	25,6
Органічна		2,0	44,1	1,1	2,6	6,7	0,5	10,8	4,0	33,2
Органо-мінеральна		3,1	69,0	1,5	3,3	14,7	0,4	19,9	3,5	49,1
Мінеральна		3,3	72,0	1,3	3,4	22,8	0,6	28,2	2,5	43,8

Додаток 3. 11

Енергетична ефективність десятипільної польової сівозміни, (2011–2017 рр.)

Система удобрення	Системи основного обробітку грунту	Урожайні- сть, т/га	Енергія в урожаї 1 га, ГДж	Прямі витрати енергії на 1 га, ГДж					Коефіцієнт	
				основні засоби	пальне	насія, аг- рохімі- кати	затрати праці	усього	енергетич- ної ефекти- вності, К _{се}	Енергетич- ної доціль- ності, ± ГДж
Без добрив	Диференційований (контроль)	4,7	67,8	1,9	4,0	3,3	0,5	9,6	7,1	58,8
	Полицево-безполицевий	4,7	67,1	1,87	3,92	4,0	0,59	10,4	7,5	66,5
	Мілкий безполицевий	4,2	60,3	1,91	3,20	4,0	0,53	9,6	7,2	58,2
Орга- нічна	Диференційований (контроль)	6,1	88,7	1,9	3,9	6,3	0,6	12,7	6,8	76,0
	Полицево-безполицевий	6,2	90,2	1,9	3,9	6,3	0,5	12,6	7,0	77,5
	Мілкий безполицевий	5,5	80,4	1,9	3,1	6,3	0,5	11,7	6,7	68,6
Органо- мінеральна	Диференційований (контроль)	9,1	131,3	2,1	4,7	12,0	0,6	19,4	6,8	112,0
	Полицево-безполицевий	9,2	134,7	1,9	4,2	12,0	0,6	18,9	7,2	114,8
	Мілкий безполицевий	8,2	121,0	1,9	3,9	12,0	0,6	18,6	6,6	101,3
Мінеральна	Диференційований (контроль)	9,5	137,1	1,6	4,3	15,4	0,7	22,1	6,3	115,8
	Полицево-безполицевий	9,8	141,1	1,7	4,4	15,4	0,7	22,2	6,4	116,9
	Мілкий безполицевий	8,6	125,7	1,8	4,2	15,4	0,6	22,1	5,7	102,0
Середнє по основному обробітку ґрунту										
Диференційований (контроль)		7,3	106,2	1,87	4,21	9,3	0,59	16,0	6,8	90,7
Полицево-безполицевий		7,5	108,3	1,83	4,12	9,4	0,60	16,0	7,0	93,9
Мілкий безполицевий		6,6	96,8	1,86	3,61	9,4	0,55	15,5	6,5	82,5
Середнє по системах удобрення										
Без добрив		4,5	65,0	1,89	3,69	3,8	0,55	9,9	7,3	61,2
Органічна		6,0	86,4	1,9	3,6	6,3	0,5	12,3	6,8	74,1
Органо-мінеральна		8,8	129,0	1,9	4,3	12,0	0,6	19,0	6,9	109,4
Мінеральна		9,3	134,6	1,7	4,3	15,4	0,7	22,1	6,1	111,5

Додаток 3. 12

Енергетична ефективність вирощування люцерни в чотирипільній сівозміні, (2011–2017 рр.)

Система удобрення	Системи основного обробітку грунту	Урожайні- сть, т/га	Енергія в урожаї 1 га, ГДж	Прямі витрати енергії на 1 га, ГДж					Коефіцієнт	
				основні засоби	пальне	насія, агрохімі- кати	затрати праці	усього	енергетич- ної ефекти- вності, К _{се}	Енергетич- ної доціль- ності, ± ГДж
Органіч- на	Полицевий (контроль)	11,3	39,3	2,0	4,0	0,7	0,4	7,0	5,5	32,3
	Безполицевий	10,9	38,0	1,9	3,6	0,7	0,3	6,6	5,7	27,1
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	10,7	37,3	1,7	2,6	0,7	0,3	5,4	6,9	31,9
Мінеральна	Полицевий (контроль)	17,2	59,9	1,8	2,0	1,5	0,5	5,8	10,2	54,1
	Безполицевий	17,2	59,9	1,5	2,0	1,5	0,2	5,3	11,2	54,6
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	16,5	57,2	1,8	2,0	1,5	0,5	5,8	9,8	51,4
Середнє по основному обробітку ґрунту										
	Полицевий (контроль)	14,2	49,6	1,85	3	1,13	0,4	6,4	7,9	43,2
	Безполицевий	14,0	49,0	1,7	2,8	1,13	0,3	6,0	8,5	40,9
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	13,6	47,3	1,745	2,3	1,13	0,4	5,6	8,4	41,7
Середнє по системах удобрення										
	Органічна	11,0	38,2	1,9	3,4	0,7	0,3	6,3	6,0	30,4
	Мінеральна	17,0	59,0	1,7	2,0	1,5	0,4	5,6	10,4	53,4

Додаток 3. 13

Енергетична ефективність вирощування пшениці озимої після люцерни в чотиріпільній сівозміні, (2011–2017 рр.)

Система удобрення	Системи основного обробітку грунту	Урожайні- сть, т/га	Енергія в урожаї 1 га, ГДж	Прямі витрати енергії на 1 га, ГДж					Коефіцієнт	
				основні засоби	пальне	насія, агрохімі- кати	затрати праці	усього	енергетич- ної ефекти- вності, К _{се}	Енергетич- ної доціль- ності, ± ГДж
Органіч- на	Полицевий (контроль)	4,7	115,5	2,5	3,7	7,1	0,5	13,9	8,3	101,6
	Безполицевий	4,3	105,7	2,5	3,6	7,1	0,5	13,8	7,7	93,1
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	4,7	115,5	2,3	3,2	7,1	0,4	13,1	8,8	102,4
Мінер- альна	Полицевий (контроль)	6,8	167,1	1,4	4,2	18,1	0,6	24,5	6,9	145,0
	Безполицевий	6,4	157,3	1,4	4,2	18,1	0,5	24,5	5,2	103,0
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	6,9	169,3	1,4	2,6	18,1	0,5	22,7	7,1	139,0
Середнє по основному обробітку ґрунту										
	Полицевий (контроль)	5,8	141,3	1,955	3,95	12,6	0,53	19,2	7,6	123,3
	Безполицевий	5,4	131,5	1,98	3,9	12,6	0,5	19,15	6,45	98,05
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	5,8	142,4	1,9	2,9	12,6	0,5	17,9	8,0	120,7
Середнє по системах удобрення										
	Органічна	4,6	112,2	2,4	3,5	7,1	0,5	13,6	8,3	99,0
	Мінеральна	5,3	164,6	1,4	3,7	18,1	0,5	23,9	6,4	129,0

Додаток 3. 14

Енергетична ефективність вирощування кукурудзи на зерно в чотирипільній сівозміні, (2011–2017 рр.)

Система удобрєння	Системи основного обробітку грунту	Урожайні- сть, т/га	Енергія в урожаї 1 га, ГДж	Прямі витрати енергії на 1 га, ГДж					Коефіцієнт	
				основні засоби	пальне	насія, агрохімі- кати	затрати праці	усього	енергетич- ної ефекти- вності, К _{се}	Енергетич- ної доціль- ності, ± ГДж
Органіч- на	Полицевий (контроль)	8,3	199,5	1,1	2,7	7,0	0,6	11,4	17,4	188,0
	Безполицевий	5,9	141,8	1,2	2,7	7,0	0,6	11,4	12,4	130,0
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	7,0	168,3	1,1	2,3	7,0	0,5	11,0	15,3	157,0
Мінер- альна	Полицевий (контроль)	11,3	271,7	1,3	3,4	23,2	0,7	28,6	9,5	24,3
	Безполицевий	6,7	161,1	1,5	3,4	23,2	0,7	28,9	5,5	132,0
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	8,6	206,7	1,4	3,3	23,2	0,6	28,6	7,2	178,0
Середнє по основному обробітку ґрунту										
	Полицевий (контроль)	9,8	235,6	1,2	3,1	15,1	0,61	20,0	13,5	106,2
	Безполицевий	6,3	151,5	1,3	3,0	15,1	0,63	20,2	9,0	131,0
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	7,8	187,5	1,3	2,8	15,1	0,6	19,8	11,3	167,5
Середнє по системах удобрєння										
	Органічна	7,1	169,9	1,1	2,6	7,0	0,5	11,3	15,0	158,3
	Мінеральна	8,9	213,2	1,4	3,4	23,2	0,7	28,7	7,4	111,4

Додаток 3. 15

Енергетична ефективність вирощування ячменя в чотиріпільній сівозміні, (2011–2017 рр.)

Система удобрення	Системи основного обробітку грунту	Урожайність , т/га	Енергія в урожаї 1 га, ГДж	Прямі витрати енергії на 1 га, ГДж					Коефіцієнт	
				основні засоби	пальне	насія, агрохімі- кати	затрати праці	усього	енергетич- ної ефекти- вності, К _{се}	Енергетич- ної доціль- ності, ± ГДж
Органіч- на	Полицевий (контроль)	3,0	69,5	1,1	1,9	6,3	0,4	9,7	7,1	59,8
	Безполицевий	2,7	62,5	1,1	2,0	6,3	0,4	9,7	6,4	52,8
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	3,1	71,8	2,3	1,9	6,3	0,4	10,9	6,6	60,9
Мінеральна	Полицевий (контроль)	4,7	108,9	1,3	2,5	14,6	0,5	18,9	5,7	89,9
	Безполицевий	4,4	101,9	1,3	2,4	14,6	0,5	18,8	5,4	83,1
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	5,0	115,8	1,1	2,1	14,6	0,4	18,2	6,3	97,6
Середнє по основному обробітку ґрунту										
	Полицевий (контроль)	3,9	89,2	1,2	2,2	10,5	0,42	14,3	6,4	74,9
	Безполицевий	3,6	82,2	1,2	2,2	10,5	0,42	14,3	5,9	68,0
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	4,0	93,8	1,7	2,0	10,5	0,4	14,6	6,5	79,3
Середнє по системах удобрення										
	Органічна	2,9	67,9	1,5	1,9	6,3	0,4	10,1	6,7	57,8
	Мінеральна	4,7	108,9	1,3	2,3	14,6	0,5	18,6	5,8	90,2

Додаток 3. 16

Енергетична ефективність продуктивності чотирьопільної сівозміни, (2011–2017 рр.)

Система удобрєння	Системи основного обробітку грунту	Урожайні- сть, т/га	Енергія в урожаї 1 га, ГДж	Прямі витрати енергії на 1 га, ГДж					Коефіцієнт	
				основні засоби	пальне	насія, агрохімікат и	затрати праці	усього	енергетич- ної ефекти- вності, К _{се}	Енергетич- ної доціль- ності, ± ГДж
Органіч- на	Полицевий (контроль)	8,1	27,2	0,8	1,5	1,8	0,2	4,2	3,2	23,0
	Безполицевий	6,5	25,1	0,8	1,4	1,8	0,2	4,1	3,0	20,0
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	7,4	27,3	1,0	1,1	1,8	0,2	4,1	3,4	23,2
Мінер- альна	Полицевий (контроль)	11,5	42,2	0,8	1,1	4,0	0,2	6,2	4,0	36,0
	Безполицевий	8,8	40,5	0,7	1,1	4,0	0,2	6,0	4,2	34,4
	Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням	10,2	43,3	0,7	1,0	4,0	0,2	6,0	4,0	37,3
Середнє по основному обробітку ґрунту										
Полицевий (контроль)		9,8	34,7	0,8	1,3	2,9	0,21	5,2	3,6	29,5
Безполицевий		7,6	32,8	0,7	1,2	2,9	0,18	5,1	3,6	27,2
Мілкий безполицевий з одночасним щілюванням		8,8	35,3	0,9	1,1	2,9	0,2	5,0	3,7	30,2
Середнє по системах удобрєння										
Органічна		7,3	26,5	0,8	1,3	1,8	0,2	4,1	3,2	22,1
Мінеральна		10,1	42,0	0,7	1,1	4,0	0,2	6,1	4,1	35,9

Додаток К 1

Економічна ефективність вирощування люцерни першого року використання

Фактори		Урожай- ність, т/га	Вартість продукції з 1 га, грн	Виробничі витрати на 1 га, грн	Затрати праці на 1 га, люд.-год	Витрати пального на 1 га, т	Затрати праці на 1 т урожаю, люд.-год	Окупність 1 т паль- ного урожаю	Умовно чистий дохід з 1 га, грн	Рівень рента- бель- ності, %
А	В									
Б	1	8,5	8500,0	7010,0	90,30	0,160	10,6	0,019	1490	21,3
	2	8,8	8800,0	7200,0	90,30	0,160	10,3	0,018	1600	22,2
	3	7,2	7200,0	6250,0	90,30	0,160	12,5	0,022	950	15,2
О	1	11,3	11300,0	8100,0	91,97	0,201	8,1	0,018	3200	39,5
	2	11,5	11500,0	7420,0	91,00	0,210	7,9	0,018	4080	55,0
	3	9,4	9400,0	7500,0	90,30	0,160	9,6	0,017	1900	25,3
ОМ	1	17,0	17000,0	8091,0	58,27	0,218	3,4	0,013	8909	110,1
	2	17,1	17100,0	8990,0	57,27	0,225	3,3	0,013	8110	90,2
	3	14,8	14800,0	8840,0	56,57	0,198	3,8	0,013	5960	67,4
М	1	17,6	17600,0	9100,0	58,27	0,205	3,3	0,012	8500	93,4
	2	17,5	17500,0	9100,0	57,27	0,212	3,3	0,012	8400	92,3
	3	15,3	15300,0	8990,0	56,57	0,182	3,7	0,012	6310	70,2

Примітка: А – система удобрення: Б – без добрив; О – органічна; ОМ – органо-мінеральна; М – мінеральна.

В – система основного обробітку ґрунту: 1 – диференційований (контроль); 2 – полицево-безполіцевий; 3 – мілкий безполіцевий.

Додаток К 2

Економічна ефективність вирощування люцерни другого року використання

Фактори		Урожай- ність, т/га	Вартість продукції з 1 га, грн	Виробничі витрати на 1 га, грн	Затрати праці на 1 га, люд.-год	Витрати пального на 1 га, т	Затрати праці на 1 т урожаю, люд.-год	Окупність 1 т паль- ного урожаю	Умовно чистий дохід з 1 га, грн	Рівень рента- бель- ності, %
А	В									
Б	1	8,5	8500,0	7430,0	90,30	0,160	10,6	0,019	1070	14,4
	2	8,8	8800,0	7300,0	90,30	0,160	10,3	0,018	1500	20,5
	3	7,2	7200,0	6700,0	90,30	0,160	12,5	0,022	500	7,5
О	1	11,3	11300,0	7950,0	91,97	0,201	8,1	0,018	3350	42,1
	2	11,5	11500,0	7845,0	91,00	0,210	7,9	0,018	3655	46,6
	3	9,4	9400,0	7610,0	90,30	0,160	9,6	0,017	1790	23,5
ОМ	1	17,0	17000,0	8451,0	58,27	0,218	3,4	0,013	8549	101,2
	2	17,1	17100,0	8210,0	57,27	0,225	3,3	0,013	8890	108,3
	3	14,8	14800,0	8100,0	56,57	0,198	3,8	0,013	6700	82,7
М	1	17,6	17600,0	8500,0	58,27	0,205	3,3	0,012	9100	107,1
	2	17,5	17500,0	8450,0	57,27	0,212	3,3	0,012	9050	107,1
	3	15,3	15300,0	8645,0	56,57	0,182	3,7	0,012	6655	77,0

Примітка: А – система удобрення: Б – без добрив; О – органічна; ОМ – органо-мінеральна; М – мінеральна.

В – система основного обробітку ґрунту: 1 – диференційований (контроль); 2 – полицево-безполіцевий; 3 – мілкий безполіцевий.

Додаток К 3

Економічна ефективність вирощування пшениці озимої після люцерни

Фактори		Урожай- ність, т/га	Вартість продукції з 1 га, грн	Виробничі витрати на 1 га, грн	Затрати праці на 1 га, люд.-год	Витрати пального на 1 га, т	Затрати праці на 1 т урожаю, люд.-год	Окупність 1 т паль- ного урожаю	Умовно чистий дохід з 1 га, грн	Рівень рента- бель- ності, %
А	В									
Б	1	3,4	17000,0	10320,0	90,30	0,160	26,6	0,047	6680	64,7
	2	3,3	16500,0	10200,0	90,30	0,160	27,4	0,048	6300	61,8
	3	3,1	15500,0	9210,0	90,30	0,160	29,1	0,052	6290	68,3
О	1	4,7	23500,0	14827,0	91,97	0,201	19,6	0,043	8673	58,5
	2	4,7	23500,0	13893,0	91,00	0,210	19,4	0,045	9607	69,1
	3	4,3	21500,0	13600,0	90,30	0,160	21,0	0,037	7900	58,1
ОМ	1	6,7	33500,0	15091,0	58,27	0,218	8,7	0,033	18409	122,0
	2	6,8	34000,0	14990,0	57,27	0,225	8,4	0,033	19010	126,8
	3	6,4	32000,0	14893,0	56,57	0,198	8,8	0,031	17107	114,9
М	1	6,9	34500,0	15220,0	58,27	0,205	8,4	0,030	19280	126,7
	2	7,0	35000,0	15220,0	57,27	0,212	8,2	0,030	19780	130,0
	3	6,6	33000,0	14990,0	56,57	0,182	8,6	0,028	18010	120,1

Примітка: А – система удобрення: Б – без добрив; О – органічна; ОМ – органо-мінеральна; М – мінеральна.

В – система основного обробітку ґрунту: 1 – диференційований (контроль); 2 – полицево-безполицевий; 3 – мілкий безполицевий.

Додаток К 4

Економічна ефективність вирощування буряків цукрових

Фактори		Урожай- ність, т/га	Вартість продукції з 1 га, грн	Виробничі витрати на 1 га, грн	Затрати праці на 1 га, люд.-год	Витрати пального на 1 га, т	Затрати праці на 1 т урожаю, люд.-год	Окупність 1 т паль- ного урожаю	Умовно чистий дохід з 1 га, грн	Рівень рента- бель- ності, %
А	В									
Б	1	32,0	19200,0	15780,0	110,0	0,210	3,4	0,007	3420	21,7
	2	34,6	20760,0	15870,0	110,0	0,210	3,2	0,006	4890	30,8
	3	29,6	17760,0	15450,0	115,0	0,210	3,9	0,007	2310	15,0
О	1	39,9	23940,0	19465,0	91,97	0,201	2,3	0,005	4475	23,0
	2	43,1	25860,0	19450,0	91,00	0,186	2,1	0,004	6410	33,0
	3	36,6	21960,0	17965,0	91,00	0,210	2,5	0,006	3995	22,2
ОМ	1	63,6	38160,0	20455,0	58,27	0,218	0,9	0,003	17705	86,6
	2	66,7	40020,0	18605,0	57,27	0,221	0,9	0,003	21415	115,1
	3	52,6	31560,0	19950,0	57,27	0,225	1,1	0,004	11610	58,2
М	1	66,6	39960,0	21115,5	58,27	0,205	0,9	0,003	18844	89,2
	2	69,6	41760,0	20315,0	57,27	0,221	0,8	0,003	21445	105,6
	3	54,6	32760,0	21115,5	57,27	0,212	1,0	0,004	11644	55,1

Примітка: А – система удобрення: Б – без добрив; О – органічна; ОМ – органо-мінеральна; М – мінеральна.

В – система основного обробітку ґрунту: 1 – диференційований (контроль); 2 – полицево-безполицевий; 3 – мілкий безполицевий.

Додаток К 5

Економічна ефективність вирощування ячменю

Фактори		Урожай- ність, т/га	Вартість продукції з 1 га, грн	Виробничі витрати на 1 га, грн	Затрати праці на 1 га, люд.-год	Витрати пального на 1 га, т	Затрати праці на 1 т урожаю, люд.-год	Окупність 1 т паль- ного урожаю	Умовно чистий дохід з 1 га, грн	Рівень рента- бель- ності, %
А	В									
Б	1	2,2	12100,0	10320,0	90,30	0,160	41,0	0,073	1780	17,2
	2	2,2	12100,0	10200,0	90,30	0,160	41,0	0,073	1900	18,6
	3	2,1	11550,0	9210,0	90,30	0,160	43,0	0,076	2340	25,4
О	1	3,1	17050,0	12827,0	91,97	0,201	29,7	0,065	4223	32,9
	2	3,0	16500,0	11893,0	91,00	0,210	30,3	0,070	4607	38,7
	3	2,7	14850,0	11600,0	90,30	0,160	33,4	0,059	3250	28,0
ОМ	1	4,6	25300,0	13090,0	58,27	0,218	12,7	0,047	12210	93,3
	2	4,5	24750,0	12990,0	57,27	0,225	12,7	0,050	11760	90,5
	3	4,0	22000,0	12893,0	56,57	0,198	14,1	0,050	9107	70,6
М	1	4,7	25850,0	13200,0	58,27	0,205	12,4	0,044	12650	95,8
	2	5,0	27500,0	13200,0	57,27	0,212	11,5	0,042	14300	108,3
	3	4,4	24200,0	12990,0	56,57	0,182	12,9	0,041	11210	86,3

Примітка: А – система удобрення: Б – без добрив; О – органічна; ОМ – органо-мінеральна; М – мінеральна.

В – система основного обробітку ґрунту: 1 – диференційований (контроль); 2 – полицево-безполіцевий; 3 – мілкий безполіцевий.

Додаток К 6

Економічна ефективність вирощування сої

Фактори		Урожай- ність, т/га	Вартість продукції з 1 га, грн	Виробничі витрати на 1 га, грн	Затрати праці на 1 га, люд.-год	Витрати пального на 1 га, т	Затрати праці на 1 т урожаю, люд.-год	Окупність 1 т паль- ного урожаю	Умовно чистий дохід з 1 га, грн	Рівень рента- бель- ності, %
А	В									
Б	1	1,4	11900,0	10395,7	9,10	0,610	6,5	0,436	1504	14,5
	2	1,3	11050,0	9784,2	9,10	0,610	7,0	0,469	1265	12,9
	3	1,3	11050,0	9172,7	9,10	0,610	7,0	0,469	1877	20,5
О	1	1,8	15300,0	12107,9	10,50	0,095	5,8	0,053	3192	26,4
	2	1,8	15300,0	11985,6	10,30	0,086	5,7	0,048	3314	27,7
	3	1,7	14450,0	11374,1	9,10	0,610	5,4	0,359	3075	27,0
ОМ	1	3,2	27200,0	13881,3	11,52	0,097	3,6	0,030	13318	95,9
	2	3,2	27200,0	13759,0	11,50	0,088	3,6	0,028	13441	97,7
	3	3,0	25500,0	12658,3	10,10	0,071	3,4	0,024	12841	101,4
М	1	3,4	28900,0	15104,3	11,59	0,153	3,4	0,045	13795	91,3
	2	3,6	30600,0	15067,6	11,57	0,089	3,2	0,025	15532	103,1
	3	3,2	27200,0	14028,1	10,45	0,072	3,3	0,023	13171	93,9

Примітка: А – система удобрення: Б – без добрив; О – органічна; ОМ – органо-мінеральна; М – мінеральна.

В – система основного обробітку ґрунту: 1 – диференційований (контроль); 2 – полицево-безполіцевий; 3 – мілкий безполіцевий.

Додаток К 7

Економічна ефективність вирощування пшениці озимої після сої

Фактори		Урожай- ність, т/га	Вартість продукції з 1 га, грн	Виробничі витрати на 1 га, грн	Затрати праці на 1 га, люд.-год	Витрати пального на 1 га, т	Затрати праці на 1 т урожаю, люд.-год	Окупність 1 т паль- ного урожаю	Умовно чистий дохід з 1 га, грн	Рівень рента- бельності, %
А	В									
Б	1	3,2	16000	10320	90,30	0,160	28,2	0,050	5680	55,0
	2	3,0	15000	10200	90,30	0,160	30,1	0,053	4800	47,1
	3	2,9	14500	9210	90,30	0,160	31,1	0,055	5290	57,4
О	1	4,6	23000	14827	91,97	0,201	20,0	0,044	8173	55,1
	2	4,8	24000	13893	91,00	0,210	19,0	0,044	10107	72,7
	3	4,4	22000	13600	90,30	0,160	20,5	0,036	8400	61,8
ОМ	1	6,2	31000	15091	58,27	0,218	9,4	0,035	15909	105,4
	2	6,4	32000	14990	57,27	0,225	8,9	0,035	17010	113,5
	3	6,3	31500	14893	56,57	0,198	9,0	0,031	16607	111,5
М	1	6,6	33000	15220	58,27	0,205	8,8	0,031	17780	116,8
	2	6,8	34000	15220	57,27	0,212	8,4	0,031	18780	123,4
	3	6,6	33000	14990	56,57	0,182	8,6	0,028	18010	120,1

Примітка: А – система удобрення: Б – без добрив; О – органічна; ОМ – орґано-мінеральна; М – мінеральна.

В – система основного обробітку ґрунту: 1 – диференційований (контроль); 2 – полицево-безполицевий; 3 – мілкий безполицевий.

Додаток К 8

Економічна ефективність вирощування кукурудзи на силос

Фактори		Урожай- ність, т/га	Вартість продукції з 1 га, грн	Виробничі витрати на 1 га, грн	Затрати праці на 1 га, люд.-год	Витрати пального на 1 га, т	Затрати праці на 1 т урожаю, люд.-год	Окупність 1 т паль- ного урожаю	Умовно чистий дохід з 1 га, грн	Рівень рента- бельності, %
А	В									
Б	1	38,0	15200	9500	90,30	0,160	2,4	0,004	5700	60,0
	2	36,0	14400	9200	90,30	0,160	2,5	0,004	5200	56,5
	3	31,0	12400	8700	90,30	0,160	2,9	0,005	3700	42,5
О	1	41,0	16400	13840	91,97	0,201	2,2	0,005	2560	18,5
	2	40,0	16000	12870	91,00	0,210	2,3	0,005	3130	24,3
	3	37,0	14800	12500	90,30	0,160	2,4	0,004	2300	18,4
ОМ	1	60,0	24000	14050	58,27	0,218	1,0	0,004	9950	70,8
	2	61,0	24400	13600	57,27	0,225	0,9	0,004	10800	79,4
	3	54,0	21600	13800	56,57	0,198	1,0	0,004	7800	56,5
М	1	63,0	25200	14200	58,27	0,205	0,9	0,003	11000	77,5
	2	64,0	25600	14220	57,27	0,212	0,9	0,003	11380	80,0
	3	58,0	23200	14100	56,57	0,182	1,0	0,003	9100	64,5

Примітка: А – система удобрення: Б – без добрив; О – органічна; ОМ – орґано-мінеральна; М – мінеральна.

В – система основного обробітку ґрунту: 1 – диференційований (контроль); 2 – полицево-безполицевий; 3 – мілкий безполицевий.

Додаток К 9

Економічна ефективність вирощування пшениці озимої після кукурудзи на силос

Фактори		Урожай- ність, т/га	Вартість продукції з 1 га, грн	Виробничі витрати на 1 га, грн	Затрати праці на 1 га, люд.-год	Витрати пального на 1 га, т	Затрати праці на 1 т урожаю, люд.-год	Окупність 1 т паль- ного урожаю	Умовно чистий дохід з 1 га, грн	Рівень рента- бель- ності, %
А	В									
Б	1	2,9	14500	10320	90,30	0,160	31,1	0,055	4180	40,5
	2	2,8	14000	10200	90,30	0,160	32,3	0,057	3800	37,3
	3	2,6	13000	9210	90,30	0,160	34,7	0,062	3790	41,2
О	1	4,2	21000	14827	91,97	0,201	21,9	0,048	6173	41,6
	2	4,3	21500	13893	91,00	0,210	21,2	0,049	7607	54,8
	3	4,0	20000	13600	90,30	0,160	22,6	0,040	6400	47,1
ОМ	1	5,9	29500	15091	58,27	0,218	9,9	0,037	14409	95,5
	2	6,0	30000	14990	57,27	0,225	9,5	0,038	15010	100,1
	3	5,8	29000	14893	56,57	0,198	9,8	0,034	14107	94,7
М	1	6,2	31000	15220	58,27	0,205	9,4	0,033	15780	103,7
	2	6,4	32000	15220	57,27	0,212	8,9	0,033	16780	110,2
	3	6,2	31000	14990	56,57	0,182	9,1	0,029	16010	106,8

Примітка: А – система удобрення: Б – без добрив; О – органічна; ОМ – органо-мінеральна; М – мінеральна.

В – система основного обробітку ґрунту: 1 – диференційований (контроль); 2 – полицево-безполіцевий; 3 – мілкий безполіцевий.

Додаток К 10

Економічна ефективність вирощування соняшнику

Фактори		Урожай- ність, т/га	Вартість продукції з 1 га, грн	Виробничі витрати на 1 га, грн	Затрати праці на 1 га, люд.-год	Витрати пального на 1 га, т	Затрати праці на 1 т урожаю, люд.-год	Окупність 1 т паль- ного урожаю	Умовно чистий дохід з 1 га, грн	Рівень рента- бель- ності, %
А	В									
Б	1	1,5	12000	10420	90,30	0,160	60,2	0,107	1580	15,2
	2	1,4	11200	10310	90,30	0,160	64,5	0,114	890	8,6
	3	1,2	9600	9310	90,30	0,160	75,3	0,133	290	3,1
О	1	2,2	17600	13827	91,97	0,201	41,8	0,091	3773	27,3
	2	2,1	16800	13893	91,00	0,210	43,3	0,100	2907	20,9
	3	1,7	13600	12700	90,30	0,160	53,1	0,094	900	7,1
ОМ	1	3,2	25600	14091	58,27	0,218	18,2	0,068	11509	81,7
	2	3,3	26400	13990	57,27	0,225	17,4	0,068	12410	88,7
	3	2,7	21600	13893	56,57	0,198	21,0	0,073	7707	55,5
М	1	3,4	27200	14223	58,27	0,205	17,1	0,060	12977	91,2
	2	3,5	28000	14223	57,27	0,212	16,4	0,061	13777	96,9
	3	2,9	23200	13990	56,57	0,182	19,5	0,063	9210	65,8

Примітка: А – система удобрення: Б – без добрив; О – органічна; ОМ – органо-мінеральна; М – мінеральна.

В – система основного обробітку ґрунту: 1 – диференційований (контроль); 2 – полицево-безполіцевий; 3 – мілкий безполіцевий.

Додаток К 11

Економічна ефективність вирощування люцерни ґрунтозахисної сівозміни

Фактори		Урожай- ність, т/га	Вартість продукції з 1 га, грн	Виробничі витрати на 1 га, грн	Затрати праці на 1 га, люд.-год	Витрати пального на 1 га, т	Собівар- тість 1 т урожаю, грн	Затрати праці на 1 т урожаю, люд.-год	Окупні- сть 1 т пально- го уро- жаєм	Умовно чистий дохід з 1 га, грн	Рівень рента- бель- ності, %
А	В										
О	1	11,3	11300,0	8100,0	58,27	0,205	716,8	5,2	0,018	3200,0	39,5
	2	10,9	10900,0	7220,0	57,27	0,212	662,4	5,3	0,019	3680,0	51,0
	3	10,7	10700,0	7500,0	56,57	0,182	700,9	5,3	0,017	3200,0	42,7
М	1	17,2	17200,0	9200,0	58,27	0,218	534,9	3,4	0,013	8000,0	87,0
	2	17,2	17200,0	9050,0	57,27	0,225	526,2	3,3	0,013	8150,0	90,1
	3	16,5	16500,0	8990,0	56,57	0,198	544,8	3,4	0,012	7510,0	83,5

Примітка: А – система удобрення: О – органічна; М – мінеральна.

В – система основного обробітку ґрунту: 1 – полицевий обробіток ґрунту; 2 – безполіцевий обробіток ґрунту; 3 – мілкий безполіцевий з одночасним щілюванням.

Додаток К 12

Економічна ефективність вирощування пшениці озимої ґрунтозахисної сівозміни

Фактори		Урожай- ність, т/га	Вартість продукції з 1 га, грн	Виробничі витрати на 1 га, грн	Затрати праці на 1 га, люд.-год	Витрати пального на 1 га, т	Собівар- тість 1 т урожаю, грн	Затрати праці на 1 т урожаю, люд.-год	Окупні- сть 1 т пально- го уро- жаєм	Умовно чистий дохід з 1 га, грн	Рівень рента- бель- ності, %
А	В										
О	1	4,7	23500	14827	58,27	0,205	3154,7	12,4	0,044	8673	58,5
	2	4,3	21500	13810	57,27	0,212	3211,6	13,3	0,049	7690	55,7
	3	4,7	23500	13600	56,57	0,182	2893,6	12,0	0,039	9900	72,8
М	1	6,8	34000	15600	58,27	0,218	2294,1	8,6	0,032	18400	117,9
	2	6,4	32000	15100	57,27	0,225	2359,4	8,9	0,035	16900	111,9
	3	6,9	34500	14900	56,57	0,198	2159,4	8,2	0,029	19600	131,5

Примітка: А – система удобрення: О – органічна; М – мінеральна.

В – система основного обробітку ґрунту: 1 – полицевий обробіток ґрунту; 2 – безполицевий обробіток ґрунту; 3 – мілкий безполицевий з одночасним щілюванням.

Додаток К 13

Економічна ефективність вирощування кукурудзи на зерно ґрунтозахисної сівозміни

Фактори		Урожай- ність, т/га	Вартість продукції з 1 га, грн	Виробничі витрати на 1 га, грн	Затрати праці на 1 га, люд.-год	Витрати пального на 1 га, т	Собівар- тість 1 т урожаю, грн	Затрати праці на 1 т урожаю, люд.-год	Окупні- сть 1 т пально- го уро- жаєм	Умовно чистий дохід з 1 га, грн	Рівень рента- бель- ності, %
А	В										
О	1	8,3	29050	12827	58,27	0,205	1545,4	7,0	0,025	16223	126,5
	2	5,9	20650	12890	57,27	0,212	2184,7	9,7	0,036	7760	60,2
	3	7,0	24500	12700	56,57	0,182	1814,3	8,1	0,026	11800	92,9
М	1	11,3	39550	15223	58,27	0,218	1347,2	5,2	0,019	24327	159,8
	2	6,7	23450	15300	57,27	0,225	2283,6	8,5	0,034	8150	53,3
	3	8,6	30100	14980	56,57	0,198	1741,9	6,6	0,023	15120	100,9

Примітка: А – система удобрення: О – органічна; М – мінеральна.

В – система основного обробітку ґрунту: 1 – полицевий обробіток ґрунту; 2 – безполицевий обробіток ґрунту; 3 – мілкий безполицевий з одночасним щілюванням.

Додаток К 14

Економічна ефективність вирощування ячменю ґрунтозахисної сівозміни

Фактори		Урожай- ність, т/га	Вартість продукції з 1 га, грн	Виробничі витрати на 1 га, грн	Затрати праці на 1 га, люд.-год	Витрати пального на 1 га, т	Собівар- тість 1 т урожаю, грн	Затрати праці на 1 т урожаю, люд.-год	Окупні- сть 1 т пально- го уро- жаєм	Умовно чистий дохід з 1 га, грн	Рівень рента- бель- ності, %
А	В										
О	1	3,0	15600	12827	58,27	0,205	4275,7	19,4	0,068	2773	21,6
	2	2,7	14040	11893	57,27	0,212	4404,8	21,2	0,079	2147	18,1
	3	3,1	16120	11600	56,57	0,182	3741,9	18,2	0,059	4520	39,0
М	1	4,7	24440	14100	58,27	0,218	3000,0	12,4	0,046	10340	73,3
	2	4,4	22880	13200	57,27	0,225	3000,0	13,0	0,051	9680	73,3
	3	5,0	26000	12990	56,57	0,198	2598,0	11,3	0,040	13010	100,2

Примітка: А – система удобрення: О – органічна; М – мінеральна.

В – система основного обробітку ґрунту: 1 – полицевий обробіток ґрунту; 2 – безполицевий обробіток ґрунту; 3 – мілкий безполицевий з одночасним щілюванням.

Додаток Л

Список опублікованих праць за темою дисертації
Монографії та навчальні посібники:

1. Танчик С. П., Манько Ю. П., Гудзь В. П., Кротінов О. П., Цюк О. А., Іванюк М. Ф., **Центило Л. В.**, Косолап М. П., Рожко В. М., Тарасенко О. О., В'ялий С. О., Дудченко В. М., Анісімова А. А., Карпенко О. Ю., Бабенко А. І., Павлов О. С. Землеробство К., 2013. 278 с. *(Здобувачем підготовлено розділ щодо ерозії ґрунтів).*

2. Шувар І. А., Бунчак О. М., Сендецький В. М., Тимофійчук О. Б., Гнидюк В. С., **Центило Л. В.**, Бахмат О. М. Виробництво та використання органічних добрив: монографія. Івано-Франківськ, 2015. 596 с. *(Здобувачем висвітлено аспекти використання органічних добрив, їх застосування в агропромисловому виробництві).*

3. Танчик С. П., Цюк О. А., **Центило Л. В.** Наукові основи системи землеробства: монографія. Вінниця, 2015. 314 с. *(Здобувачем розроблено основні параметри ґрунтової родючості чорнозему типового,).*

4. Мельник І. П., Колісник Н. М., Шувар І. А., Сендецький В. М., **Центило Л. В.** Дощові черв'яки: наукові аспекти вирощування і практичне застосування: монографія. Івано-Франківськ, 2015. 444 с. *(Здобувачем висвітлено способи збирання вермикюльтури і одержання біогумусу).*

5. Центило Л. В. Органічні добрива для сучасних систем землеробства: монографія. Івано-Франківськ, 2017. 260 с.

6. Шувар І. А., Бердніков О. М., **Центило Л. В.**, Сендецький В. М. Сидерати в сучасному землеробстві: науково-виробниче видання: монографія. Івано-Франківськ, 2015. 156 с. *(Здобувачем розкрито значення сидерації для збагачення ґрунту органічними речовинами).*

7. Шувар І. А., Роїк М. В., Іванишин В. В., Сендецький В. М., **Центило Л. В.** Сидерація в технологіях сучасного землеробства: наукововиробниче видання: монографія. Івано-Франківськ, 2016. 180 с. *(Здобувачем обґрунтовано значення зелених добрив для збагачення ґрунту органічними речовинами).*

8. Іванишин В. В., Роїк М. В., Шувар І. А., **Центило Л. В.**, Сендецький В. М., Бунчак О. М., Колісник Н. К. Біологізація землеробства в Україні: реалії та перспективи: науково-виробниче видання. Івано-Франківськ, 2016. 284 с. *(Здобувачем висвітлено стан і перспективи біологізації землеробства).*

Статті у наукових фахових виданнях України:

9. Tsentylo L. V. Agrophysical characteristics of typical black soil in agrophytocenoses of winter depending on cultivation and fertilization. Таврійський науковий вісник. 2019. Вип. 105. С. 155–159.

10. **Центило Л. В.**, Цюк О. А. Динаміка змін твердості ґрунту залежно від його основного обробітку. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2019. № 1. С. 147–153. *(Здобувачем досліджено твердість ґрунту, здійснено аналіз отриманих даних).*

11. Центи́ло Л. В. Формування якості зерна пшениці озимої залежно від системи удобрення і обробітку ґрунту. Миронівський вісник. 2019. № 8. С. 152–162.

12. Центи́ло Л. В. Біологічна активність ґрунту за різних систем удобрення соняшнику та обробітку ґрунту. Таврійський науковий вісник. 2019. Вип. 108. С. 117–122.

13. Центи́ло Л. В. Вплив систем удобрення та обробітку ґрунту на гумусний стан і біологічні процеси чорнозему типового. Таврійський науковий вісник. 2019. Вип. 107. С. 171–177.

14. Танчик С. П., **Центи́ло Л. В.**, Цюк О. А. Вплив удобрення і обробітку ґрунту на урожайність культур сівозміни. Вісник аграрної науки. 2019. № 8. С. 11–16. *(Здобувачем визначено урожайність культур сівозміни, здійснено аналіз отриманих даних).*

15. Центи́ло Л. В. Продуктивність сівозміни залежно від удобрення і обробітку ґрунту. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2019. Вип. 3 (103). С. 52–60.

16. Центи́ло Л. В. Зміна водного режиму чорнозему типового залежно від систем обробітку ґрунту. Вісник аграрної науки. 2019. № 11. С. 22–27.

Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних:

17. Танчик С. П., **Центи́ло Л. В.** Особливості удобрення кукурудзи за її вирощування на чорноземі типовому в Лісостепу України. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агрономія. 2017. № 269. С. 74–83. *(Здобувачем досліджено особливості удобрення кукурудзи, здійснено аналіз даних та підготовлено статтю до друку).*

18. **Центи́ло Л. В.**, Цюк О. А., Мельник В. І. Уміст поживних речовин у ґрунті під впливом застосування добрив і обробітку ґрунту. Біоресурси і природокористування. 2018. Т. 10. № 3–4. С. 164–169. *(Здобувачем досліджено вміст поживних речовин у ґрунті, здійснено аналіз даних та підготовлено статтю до друку).*

19. Цюк О. А., **Центи́ло Л. В.**, Мельник В. І. Структурно-агрегатний склад ґрунту залежно від основного обробітку та удобрення. Біоресурси і природокористування. 2018. Т. 10. № 5–6. С. 139–145. *(Здобувачем досліджено структурно-агрегатний склад ґрунту в полі буряків цукрових, здійснено аналіз даних та підготовлено статтю до друку).*

20. **Центи́ло Л. В.**, Цюк О. А. Баланс азоту, фосфору і калію за застосування добрив. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2018. № 5. (75). Режим доступу до статті: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2018.05.020>. *(Здобувачем досліджено і проаналізовано наявність основних елементів живлення ґрунту в сівозміні, здійснено аналіз даних та підготовлено статтю до друку).*

21. Центи́ло Л. В. Вплив різних систем основного обробітку ґрунту та удобрення на вологозабезпеченість посівів пшениці озимої. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України.

2019. № 1 (77). Режим доступу до статті: <https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.01.021>.

22. Центи́ло Л. В. Параметри вмісту гумусу в чорноземі типовому залежно від агровиробничого використання. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2019. № 2 (78). Режим доступу до статті: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2019.02.017>.

23. Центи́ло Л. В. Калійний режим чорнозему типового за різного удобрення та обробітку ґрунту. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2019. № 3 (79). Режим доступу до статті: index.php/Dopovidi/issue/view/501.

24. Центи́ло Л. В. Вологозабезпеченість буряків цукрових залежно від систем обробітку ґрунту та удобрення. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2019. № 5 (81). Режим доступу до статті: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2019.05.010>.

25. **Центи́ло Л. В.,** Цюк О. А. Азотний режим чорнозему типового залежно від удобрення і обробітку ґрунту. Біоресурси і природокористування. 2019. Т. 11. № 1–2. С. 107–114. *(Здобувачем досліджено динаміку вмісту нітратного і амонійного азоту ґрунту, здійснено аналіз даних та підготовлено статтю до друку).*

26. Центи́ло Л. В. Вплив елементів агротехнологій на спрямованість процесів трансформаційних азотних сполук у чорноземі типовому. Збалансоване природокористування. 2019. № 1. С. 32–37. 27. Танчик С. П., **Центи́ло Л. В.** Екологічні аспекти удобрення соняшнику за його вирощування на чорноземах типових в Правобережному Лісостепу України. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агрономія. 2018. № 286. С. 80–89. *(Здобувачем проведено дослідження і проаналізовано екологічні аспекти щодо удобрення соняшнику, здійснено аналіз даних та підготовлено статтю до друку).*

28. Центи́ло Л. В. Ферментативна активність чорнозему типового залежно від основного обробітку ґрунту і удобрення. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. 2019. Вип. 30. С. 66–71.

29. **Центи́ло Л. В.,** Цюк О. А., Мельник В. І. Енергетична ефективність систем удобрення і обробітку ґрунту. Біоресурси і природокористування. 2019. Т. 11. № 3–4. *(Здобувачем визначено енергетичну ефективність систем удобрення, здійснено аналіз даних та підготовлено статтю до друку).*

Стаття у науковому виданні іншої держави

30. Panchenko T., Lozinskiy M., Gamayunova V., Tsentilo L., Khakhula V., Fedoruk Y., Pokotylo I. Change of yield and baking qualities of winter wheat grain depending on the year of growing and predecessor in the central Forestry of Ukraine. Plant Archives. 2019. Vol. 19. No. 1. P. 1107–1112. *(Здобувачем визначено урожайність пшениці озимої та підготовлено статтю до друку).*

Статті у наукових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних

31. Tsyuk O. A., Tanchuk S. P., Tsentulo L. V., Kirilyuk V. I., Pavlov O. S., Sleptsov Y. Change of carbon's contain of the main humuse's groups of the black typical soil with the agriculture's ecologization. Ukrainian Journal of Ecology. 2018. Vol. 8 (4). P. 154–157. *(Здобувачем проведено аналіз вмісту гумусу основних груп гумусу та підготовлено статтю до друку).*

32. Manko Yu. P., Tsyuk O. A., Tsentulo L. V., Shemetun O. The methodology resource suggesrion with environmental criteria for rationality agricultural systems estimation. Ukrainian Journal of Ecology. 2019. Vol. 9. (1). P. 121–126. *(Здобувачем створено методичний ресурс для оцінювання раціональності систем удобрення та підготовлено статтю до друку).*

Патенти України на корисну модель:

33. **Центи́ло Л. В.**, Паламарчук М. М., Кулинич Р. М., Колісник Н. М., Сендецький В. М., Гнидюк В. С. Спосіб виробництва органічних добрив «Мікроорганік» шляхом пришвидшеної аеробної ферментації: патент 106094 України. № у 201511541; заявлено 23.11.2015. опубліковано 11.04.2016. Бюл. № 7. 6 с. *(Здобувачем досліджено компостну суміш аеробної ферментації із органічних відходів).*

34. **Центи́ло Л. В.**, Паламарчук М. М., Кулинич Р. М., Колісник Н. М., Сендецький В. М., Гнидюк В. С. Спосіб виробництва орґано-дефекатних добрив: патент 106027 України. № у 201510718; заявлено 03.11.2015. опубліковано 11.04.2016. Бюл. № 7. 6 с. *(Здобувачем запропоновано технології виробництва орґано-дефекатних добрив).*

35. **Центи́ло Л. В.**, Паламарчук М. М., Кулинич Р. М., Колісник Н. М., Сендецький В. М., Гнидюк В. С. Спосіб виробництва регуляторів росту і розвитку рослин «Мікробіофіт»: патент 109948 України. № а 201601147; заявлено 10.02.2016. опубліковано 26.09.2016. Бюл. № 18. 6 с. *(Здобувачем запропоновано внесення у ферментатор до виготовленого вермикомпостного чаю мікробних культур).*

36. Сендецький В. М., Колісник Н. М., Бунчак О. М., **Центи́ло Л. В.**, Паламарчук М. М., Кулинич Р. М. Спосіб виробництва біокомпостних і вермикомпостних «Чаїв»: патент 106026 України. № у 2015210715; заявлено 03.11.2015. опубліковано 11.04.2016. Бюл. № 7. 6 с. *(Здобувачем досліджено умови ферментації в пластикових або металічних ємностях твердої фракції органічних добрив, виготовлених методом вермикультивування).*

37. Іванишин В. В., Сендецький В. М., Колісник Н. М., Бунчак О. М., Шувар І. А., **Центи́ло Л. В.**, Гаврилянчик Р. Ю. Спосіб вирощування гречки в проміжних посівах: патент 111898 України. № у 201605269; заявлено 16.05.2016. опубліковано 25.11.2016. Бюл. № 22. 5 с. *(Здобувачем запропоновано сумісне вирощування гречки в проміжних і післяукісних посівах).*

38. **Центи́ло Л. В.**, Кулинич Р. М., Волкогон В. В. Біоорґаномінеральне добриво «Біофос»: патент 116179 Україна. № а 201700624; заявлено 23.01.2017; опубліковано 26.12.2017. Бюл. № 24. 6 с. *(Здобувачем досліджено*

бактеріальну асоціацію штамів *Pseudomonas sp.*, *Lactobacillus sp.*, *Bacillus subtilis*).

Науково-методичні праці та рекомендації виробництву:

39. Танчик С. П., Демідов О. А., Манько Ю. П., Цюк О. А., Іванюк М. Ф., **Центи́ло Л. В.**, Бабенко А. І., Петришина А. А. Екологічна система землеробства в Лісостепу України. К., 2011. 39 с. *(Здобувачем досліджено продуктивність сівозміни, підготовлено розділ до друку).*

40. Мікробні препарати в сучасних аграрних технологіях (науковопрактичні рекомендації). За редакцією В. В. Волкогона. К., 2015. 248 с. *(Здобувачем висвітлено застосування мікробних препаратів за вирощування сільськогосподарських культур).*

41. Танчик С. П., **Центи́ло Л. В.**, Манько Ю. П., Цюк О. А., Бабенко А. І., Павлов О. С., Яцук І. П., Сінченко В. В., Сендецький В. М. Екологічна система землеробства. К., 2017. 30 с. *(Здобувачем висвітлено технологічний регламент аеробної ферментації органічних речовин на відкритих площадках).*

42. Цюк О. А., Танчик С. П., Манько Ю. П., Літвінов Д. В., Бабенко А. І., Павлов О. С., **Центи́ло Л. В.** Новітня модель енергоощадного екологічного землеробства в Лісостепу України (науково-методичні рекомендації). К., 2019. 47 с. *(Здобувачем описана модель прогнозу змін вмісту гумусу в ґрунті).*

Тези наукових доповідей

43. **Центи́ло Л. В.**, Кулинич Р. М., Сендецький В. М. Виробництво і застосування органо-дефекатних добрив в сучасних агротехнологіях. Міжнародна науково-практична конференція Подільського державного аграрно-технічного університету, м. Кам'янець-Подільський, 25–26 квітня 2016 року: тези доповіді. Кам'янець-Подільський, 2016. С. 331–334. *(Здобувачем висвітлено виробництво органо-дефекатних добрив).*

44. **Центи́ло Л. В.**, Волкогон В. В. Біологічні аспекти удобрення пшениці озимої. Новітні агротехнології: теорія та практика: Міжнародна науковопрактична конференція, присвячена 95-річчю Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, м. Київ, 11 липня 2017 року: тези доповіді. К., 2017. С. 51–52. *(Здобувачем проведено дослідження щодо удобрення пшениці озимої).*

45. Танчик С. П., **Центи́ло Л. В.**, Павлов О. С., Бабенко А. І. Екологічні проблеми землеробства України та шляхи їх вирішення. Актуальні проблеми розвитку аграрної освіти і науки та підвищення ефективності агропромислового виробництва: Міжнародна науково-практична конференція, м. Одеса, 20–21 вересня 2018 року: тези доповіді. Одеса, 2018. С. 19. *(Здобувачем висвітлено проблеми землеробства України).*