

УДК 631.51:631.554:631.559

## Ефективність адаптивних технологій обробітку ґрунту в короткоротаційних сівозмінах Лісостепу за зміни клімату

 М. М. Пташнік\*,  Ю. О. Ременюк,  Ф. Й. Брухаль,  
 О. В. Дикун,  Б. В. Остап'юк

Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН», вул. Машинобудівників, 2-б, сел. Чабани, Фастівський р-н, Київська обл., 08132, Україна, \*e-mail: obrobitok@ukr.net

**Мета.** Встановити вплив адаптивних технологій обробітку ґрунту на формування запасів продуктивної вологи та продуктивність короткоротаційної зернової сівозміни, визначити показники економічної та енергетичної ефективності їх застосування. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2021–2025 рр. у польовому стаціонарному досліді (ННЦ «ІЗ НААН») із порівнянням систем обробітку ґрунту: поверхневої дискової (6–8 см під усі культури), мілкої дискової (10–12 см), різноглибинної полицевої (оранка 28–30 см під сою, 16–18 см під пшеницю озиму, 22–24 см під просо, 10–12 см під овес), плоскорізної різноглибинної та комбінованої (дискування 10–12 см під сою, пшеницю озиму й овес із періодичним глибоким чизелюванням 40–42 см під просо). Оцінювали врожайність, економічну ефективність (умовно чистий прибуток, рентабельність) та коефіцієнт енергетичної ефективності (Кее). **Результати.** Досліджено вплив різноглибинних полицевих, плоскорізних, дискових, комбінованих та поверхневих систем обробітку на запаси продуктивної вологи в шарі 0–100 см, урожайність культур сівозміни, а також економічні та енергетичні показники. Встановлено, що комбіновані системи з періодичним глибоким чизелюванням забезпечують формування найбільших запасів продуктивної вологи в орному та підорному шарах (до 159,7–169,8 мм у метровому шарі), а також формують найвищий збір зерна ( $4,23 \pm 0,46$  т/га) на фоні органо-мінеральної системи удобрення. Надмірна мінімізація (суцільне поверхнєве дискування 6–8 см) знижує водоутримувальну здатність ґрунту та обмежує реалізацію потенціалу удобрення. За результатами економічної оцінки максимальний умовно чистий прибуток (25,43 грн/га) та прийнятний рівень рентабельності (125 %) забезпечила комбінована система обробітку на органо-мінеральному фоні. Визначено, що ключовим фактором енергоефективності є рівень продуктивності агроценозу, тоді як частка механічного обробітку у структурі енергетичних витрат є відносно невеликою. **Висновки.** Підтверджено доцільність впровадження адаптивних (диференційованих) систем обробітку ґрунту як інструменту кліматичної адаптації землеробства в умовах нестійкого зволоження за рахунок забезпечення реалізації біологічного потенціалу продуктивності культур сівозміни та підвищення ефективності використання мінеральних добрив.

**Ключові слова:** адаптивний обробіток ґрунту; короткоротаційна сівозміна; продуктивна волога; урожайність; економічна ефективність; енергоефективність.

### Вступ

Для умов Лісостепу України впродовж останніх десятиліть фіксується стійка тенденція до посилення гідротермічного стресу агроєкосистем, що проявляється у зростанні дефіциту продуктивної вологи в критичні фази органогенезу культур, підвищенні середньорічної та середньовеgetаційної температури повітря, зростанні частоти й тривалості періодів екстремально високих температур, а також у нерівномірності й зливовому характері опадів. Такі зміни гідротермічного режиму зумовлюють трансформацію водного балансу ґрунту, інтенсифікацію мінералізації органічної речовини, погіршення структурно-агрегатного стану та підвищення ризиків водної й вітрової ерозії. За цих

**Як цитувати:** Пташнік М. М., Ременюк Ю. О., Брухаль Ф. Й., Дикун О. В., Остап'юк Б. В. Ефективність адаптивних технологій обробітку ґрунту в короткоротаційних сівозмінах Лісостепу за зміни клімату. *Новітні агротехнології*. 2026. Т. 14, № 1. <https://doi.org/10.47414/na.14.1.2026.361909>



© The Author(s) 2026. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

умов системи обробітку ґрунту доцільно розглядати не лише як елемент механічного впливу на орний шар, а як ключовий регулятор функціонування ґрунтової системи в контексті кліматичної адаптації. Характер і глибина обробітку визначають параметри інфільтрації та акумуляції атмосферної вологи, інтенсивність фізичного випаровування, повітряно-водний режим, динаміку гумусового стану та активність мікробіоти. Водночас вони істотно впливають на стабільність макроагрегатів, щільність складення, пористість і протиерозійну стійкість агроландшафтів.

Сучасні наукові узагальнення свідчать, що консерваційні системи землеробства (мінімалізація обробітку, мульчування рослинними рештками, диверсифікація сівозмін та інтеграція покривних культур) забезпечують підвищення водоутримуючої здатності ґрунту, зменшення амплітуди температурних коливань у посівному шарі та сповільнення деградаційних процесів. Їх застосування сприяє стабілізації вмісту органічного вуглецю, підтриманню біологічної активності та підвищенню екологічної пластичності агроєкосистем. У довгостроковій перспективі такі підходи підвищують адаптивний потенціал землеробства Лісостепу до кліматичних змін, зберігаючи продуктивність культур і екологічну функціональність ґрунтового покриву [1].

У межах сучасної теорії сталого управління ґрунтовими ресурсами розвивається концепція адаптивних (ґрунтозахисних) систем землеробства, що передбачає диференційований обробіток ґрунту в межах сівозміни. Вибір полицевих, безполицевих, поверхневих або комбінованих прийомів визначається біологічними особливостями культури, попередника, запасами продуктивної вологи, агрофізичним станом і ступенем ущільнення ґрунту. Базовими принципами є мінімізація механічного впливу та обов'язкове мульчування поверхні пожнивними рештками як чинник регуляції водного й теплового режимів. Ефективність таких систем в умовах кліматичної мінливості підтверджено результатами довготривалих польових досліджень: оптимізоване поєднання традиційного, мінімального та нульового обробітку забезпечує підвищення стабільності врожайності та стійкості агроєкосистем до екстремальних погодних умов [2].

Запаси продуктивної вологи в ґрунті стали основним лімітуючим фактором формування врожаю не лише в традиційно посушливих регіонах, а й для північної частини Правобережного Лісостепу України, яка раніше мала сприятливий агрокліматичний потенціал [3]. Традиційний полицевий обробіток ґрунту сприяє накопиченню вологи взимку, але водночас стимулює мінералізацію органічної речовини, випаровування та деградацію структури ґрунту [4].

Застосування різноглибинного плоскорізного обробітку із залишенням рослинних решток на поверхні поля мінімізує ерозію та випаровування, що сприяє формуванню вищих запасів продуктивної вологи. Так, плоскорізна система обробітку на орґано-мінеральному фоні забезпечила приріст урожайності пшениці озимої на 2–8 % порівняно з полицевою системою [5].

Дослідженнями проведеними в умовах Правобережного Лісостепу на чорноземах типових встановлено, що продуктивність короткоротаційних сівозмін і показники відтворення родючості визначально залежать від характеру взаємодії факторів «удобрення × обробіток ґрунту». Виявлено, що ефекти цієї взаємодії є диференційованими в ланках із зерновими та просапними культурами, що зумовлено їхніми біологічними особливостями та різною реакцією на агрофізичний стан орного шару. Обґрунтовано доцільність адаптації (диференціації) способів основного обробітку за культурами й попередниками з метою оптимізації сумарної продуктивності сівозміни та стабілізації родючості ґрунту [6]. На сірих лісових ґрунтах Лісостепу в умовах стаціонарного польового дослідження встановлено, що поєднання полицевих і безполицевих способів основного обробітку на фоні орґано-мінеральної системи удобрення забезпечує істотне підвищення врожайності культур та сумарної продуктивності зернової сівозміни. Варіабельність урожайності залежно від системи обробітку й удобрення становила: пшениця озима – 2,80–5,00 т/га, кукурудза на зерно – 4,16–8,89, ячмінь ярий – 1,78–4,45, соя – 1,02–3,17 т/га, що підтверджує синергійний ефект оптимізованої взаємодії агротехнічних чинників [7].

Водночас результати польових досліджень проведених в умовах Західного Лісостепу свідчать, що мінімізація основного обробітку шляхом заміни оранки мілким дискуванням зі зменшенням глибини розпушування може супроводжуватися зниженням урожайності пшениці озимої в окремих ланках сівозміни. Це акцентує увагу на необхідності науково обґрунтованого добору глибини й строків виконання обробітку, а також його узгодження з системою удобрення та рівнем надходження органічної речовини з метою запобігання ущільненню орного шару та забезпечення оптимального водно-повітряного режиму ґрунту [8]. Водночас експериментальні дані свідчать, що в умовах недостатнього зволоження енергозберігаючі системи мінімального та нульового обробітку можуть забезпечувати незначну, проте статистично стабільну прибавку врожайності пшениці озимої (у серед-

ньому близько +0,14 т/га) порівняно з полицевою оранкою, що у свою чергу підкреслює визначальний вплив гідротермічного режиму та погодних умов на продуктивність агроценозів за різних технологій обробітку [9].

Для Правобережного Лісостепу також показано перевагу диференційованого підходу: найбільшу врожайність пшениці озимої отримано за диференційованого обробітку – 6,0–7,9 т/га, тоді як поверхневий дисковий обробіток забезпечив зниження врожайності до 5,38–6,82 т/га [10]. Аналогічно, для сої в умовах кліматичних змін у Лісостепу України традиційна система з оранкою забезпечувала найвищий рівень біологічної врожайності, тоді як перехід до поверхневого обробітку супроводжувався зниженням продуктивності. Це свідчить, що для окремих культур та специфічних ґрунтово-кліматичних умов «надмірна мінімізація» обробітку без застосування компенсаторних технологічних заходів може бути ризикованою для стабільності врожайності [11].

*Мета досліджень* – встановити вплив адаптивних технологій обробітку ґрунту на формування запасів продуктивної вологи та продуктивність короткоротаційної зернової сівозміни, визначити показники економічної та енергетичної ефективності їх застосування.

### Матеріали та методика досліджень

Дослідження виконували у стаціонарному польовому досліді відділу обробітку ґрунту і контролювання сегетальної рослинності ННЦ «Інститут землеробства НААН» в північній частині Правобережного Лісостепу. Рельєф місцевості рівнинний з ледве помітним ухилом у бік Дніпра. Ґрунт – сірий лісовий крупнопилуватий легкосуглинковий із заляганням ґрунтових вод глибше 5 м, низьким вмістом гумусу в орному шарі (1,34 % за Тюрнім), слабкокислою реакцією ґрунтового розчину, високою забезпеченістю рухомими сполуками фосфору 160–180 мг/кг і низькою калію – 80–100 мг/кг ґрунту. Експериментальна зернова сівозміна стаціонарного досліді має таке чергування культур: *soя – пшениця озима – просо – овес*. Досліджувані системи обробітку ґрунту наведені в таблиці 1, система удобрення в сівозміні передбачає природну її біологізацію шляхом використання всієї побічної продукції попередників – 6,5–7,0 т/га в чистому вигляді та разом із мінеральними добривами з розрахунку  $N_{65}P_{60}K_{70}$  на 1 га сівозмінної площі (soя –  $N_{40}P_{50}K_{60}$ , пшениця озима –  $N_{90}P_{70}K_{80}$ , просо –  $N_{60}P_{60}K_{70}$ , овес –  $N_{70}P_{60}K_{70}$ ).

Таблиця 1

Системи обробітку ґрунту по культурах сівозміни

Система обробітку ґрунту	Пшениця озима	Просо	Овес	Соя
Різноглибинна полицева	О 16–18 см	О 22–24 см	МО 10–12 см	О 28–30 см
Різноглибинна плоскорізна	П 16–18 см	П 22–24 см	П 10–12 см	П 28–30 см
Дискова одноглибинна	Д 10–12 см	Д 10–12 см	Д 10–12 см	Д 10–12 см
Одноглибинна дискова з весняним безполицевим під ярі культури	Д 10–12 см	ВД 10–12 см	ВД 10–12 см	ВД 10–12 см
Комбінована	Д 10–12 см	Ч 40–42 см	Д 10–12 см	Д 10–12 см
Комбінована № 2	Д 6–8 см	Д 6–8 см	О 22–24 см	Д 6–8 см
Комбінована № 3	Д 10–12 см	Д 10–12 см	О 28–30 см	Д 10–12 см
Поверхнева дискова	Д 6–8 см	Д 6–8 см	Д 6–8 см	Д 6–8 см

**Примітка:** О – оранка плугом ПЛН-3-35; П – плоскорізний обробіток плоскорізом-щільнорізом ПЩН-2,5; Ч – чизельний обробіток чизелем-глибокорозпушувачем ПЧ-2,5; Д – дискування дисковою бороною АГД-2,1; ВД – весняне дискування.

Висівали районовані сорти: пшениця озима 'Поліська 90', соя 'Арніка', просо 'Заповітне', овес 'Парламентський'. Загальна площа ділянки 200 м<sup>2</sup>, облікова – 120 м<sup>2</sup>, повторність досліді триразова. Дослідження здійснені за загальноприйнятими методиками, узагальненими і доповненими сучасними положеннями співробітниками відділу обробітку ґрунту і контролювання сегетальної рослинності ННЦ «ІЗ НААН». Вологість 0–100 см шару ґрунту визначали перед сівбою культур сівозміни термостатно-ваговим методом (ДСТУ ISO 11465-2001). Показники вологості ґрунту визначали пошарово: верхній 0–10 см шар ґрунту, орний 10–30 см шар ґрунту, метровий шар ґрунту – 0–100 см. Вологість ґрунту W у відсотках вираховували за формулою:

$$W = 100 \times \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m}, \quad (1)$$

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

Загальні запаси продуктивної вологи в ґрунті  $W$  в мм визначали за формулою:

$$W = \frac{u \times \gamma \times h}{10}, \quad (2)$$

де:  $u$  – волога абсолютно сухого ґрунту, %;  $\gamma$  – щільність ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $h$  – глибина шару ґрунту, см; 10 – коефіцієнт співвідношення для виразу кількості вологи, мм.

Система захисту посівів від шкідників, збудників хвороб і бур'янів в досліді – інтегрована з використанням сучасного комплексу пестицидів, дозволених до використання в Україні. Облік урожаю та показники його структури – проводили згідно з Методикою державного сорто випробування сільськогосподарських культур, 2001 р.). Математико-статистичний аналіз експериментальних даних здійснювали методом дисперсійного аналізу (ANOVA) з урахуванням стандартного відхилення ( $S$ ).

Економічну оцінку ефективності технологій вирощування культур провели розрахунковим методом із використанням технологічних карт за цінами, які склалися на жовтень 2025 р. Визначали витрати на 1 га, собівартість 1 т зерна, умовно чистий прибуток і рівень рентабельності виробництва. Енергетична оцінка технологій вирощування культур розрахована з використанням енергетичних еквівалентів з визначенням витратної та прихідної частини – енергії продукції. Коефіцієнт енергетичної ефективності ( $K_{ee}$ ) вираховували як відношення одержаної обмінної енергії до витрат сукупної.

### Результати досліджень

За результатами аналізу метеорологічних даних за період проведення досліджень встановлено тенденцію до підвищення середньомісячних температур повітря, з найбільш вираженими відхиленнями від середньобагаторічних показників у зимовий та літній періоди. Зокрема, максимальні відхилення від середньобагаторічних значень зафіксовано в лютому 2022 р. (+4,3 °C) та 2024 р. (+4,0 °C), у червні 2024 р. (+2,9 °C), а також у липні – серпні 2024 р. (+4,1 °C), що свідчить про посилення континентальності клімату та зростання частоти температурних аномалій упродовж вегетаційного періоду.

Середня річна сума опадів за роки спостережень становила 471 мм за кліматичної норми 618 мм, тобто дефіцит зволоження досягав близько 24 %. Водночас виявлено значну міжрічну варіабельність кількості атмосферних опадів: 2021 р. – 452 мм, 2022 р. – 435 мм, 2023 р. – 515 мм, 2024 р. – 533 мм, 2025 р. – 418 мм. Коливання в межах 418–533 мм за відсутності рівномірного розподілу протягом вегетації формують нестійкий режим зволоження із періодичним поєднанням посушливих і відносно вологих періодів.

Таким чином, сукупність підвищеного температурного фону та дефіциту атмосферних опадів зумовлює зростання випаровуваності, зниження коефіцієнта зволоження й посилення ризиків ґрунтової посухи в критичні фази розвитку культур.

Отримані результати засвідчують виражену диференціацію запасів продуктивної вологи залежно від культури та системи основного обробітку ґрунту. У шарі 0–10 см під пшеницею озимую максимальні запаси продуктивної вологи сформувалися за мілкого дискового обробітку на глибину 10–12 см – 23,1 мм, що на 3,1 мм перевищувало контрольний варіант (полицева різноглибинна оранка) (табл. 2). Близькі значення забезпечили комбіновані системи (№1 і 3), які передбачали одноразове за ротацію проведення глибокої оранки під овес або чизельного розпушування під просо – 22,8 та 22,4 мм відповідно. Водночас за поверхневого дискового обробітку на 6–8 см зафіксовано найнижчі показники – 20,1 мм, що свідчить про обмеження акумуляції вологи за надмірної мінімізації обробітку.

Під вівсом у шарі 0–10 см максимальні запаси продуктивної вологи (26,1 мм) сформувалися за мілкого дискового обробітку, що на 3,9 мм перевищувало контрольний варіант. Подібна тенденція відзначена на фоні застосування комбінованих систем – 24,6–25,2 мм, що свідчить про ефективність помірно мінімізованих і диференційованих прийомів щодо збереження вологи у верхньому горизонті. Натомість поверхневе дискування на 6–8 см забезпечило найнижчі показники (20,3 мм), що вказує на обмеження здатності ґрунту до акумуляції вологи за надмірного скорочення глибини розпушування.

У посівах проса найвищий рівень вологонакопичення у шарі 0–10 см зафіксовано за комбінованої системи з чизелюванням на 40–42 см (20,7 мм), що на 2,6 мм перевищувало контроль. Це свідчить про позитивний вплив глибокого розпушування на поліпшення інфільтрації та вертикальної міграції вологи з її частковою акумуляцією у верхньому шарі. Найменші запаси (13,4 мм) відзначено за поверхневого дискового обробітку, що може бути пов'язано з формуванням ущільненого підорного горизонту та підвищенням непродуктивних втрат води.

Для сої максимальні значення в 0–10 см шарі (19,3 мм) отримано за комбінованої системи № 3, тоді як за оранки вони становили 15,1 мм. Отримані результати свідчать про кращу реакцію сої на диференційовані системи обробітку, які забезпечують оптимальне поєднання аерації, структурного стану та збереження вологи, що є визначальним у формуванні продуктивності культури в умовах нестійкого зволоження.

Таблиця 2

**Запаси продуктивної вологи в ґрунті залежно від систем обробітку, мм  
(середнє за 2021–2025 рр.)**

Системи обробітку ґрунту	Шар ґрунту, см	Пшениця озима	Просо	Овес	Соя
Різноглибинна полицева	0–10	20,0	18,1	22,2	15,1
	10–30	41,0	41,0	44,1	35,8
Різноглибинна плоскорізна	0–10	21,6	17,4	22,3	18,1
	10–30	44,4	38,9	44,9	36,5
Дискова одноглибинна	0–10	23,1	18,0	26,1	17,7
	10–30	43,5	40,1	48,5	41,2
Одноглибинна дискова з весняним безполицевим під ярі культури	0–10	22,2	18,0	24,6	16,8
	10–30	43,9	40,1	49,9	39,5
Комбінована	0–10	22,8	20,7	25,2	17,0
	10–30	44,5	42,4	46,4	43,3
Комбінована № 2	0–10	21,0	17,8	22,6	15,6
	10–30	42,1	36,8	44,7	36,8
Комбінована № 3	0–10	22,4	17,4	23,7	19,3
	10–30	43,4	40,1	47,1	42,2
Поверхнева дискова	0–10	20,1	13,4	20,3	16,8
	10–30	40,5	39,6	44,6	38,9

У шарі 10–30 см спостерігається зміна характеру розподілу запасів продуктивної вологи відносно 0–10 см шару, що свідчить про профільну диференціацію впливу систем обробітку на перерозподіл і акумуляцію вологи.

Зокрема, у посівах пшениці озимої найвищі запаси продуктивної вологи (44,4–44,5 мм) сформувалися за плоскорізної та комбінованої систем, що на 3,4 мм перевищувало контроль (полицева оранка). Це вказує на покращення водопроникності та зменшення непродуктивних втрат вологи внаслідок поліпшення агрофізичної структури підорного шару.

За вирощування вівса максимальні значення (49,9 мм) зафіксовано за одноглибинного дискового обробітку з весняним безполицевим розпушуванням під ярі культури, а також за мілкою дискування (48,5 мм), що на 4,4–5,8 мм більше порівняно з полицевою системою. Отримані результати свідчать про ефективність помірної мінімізації обробітку щодо формування оптимального водного режиму в підорному шарі.

У посівах проса найвищий рівень вологонакопичення (42,4 мм) забезпечила комбінована система з чизельним обробітком у сівозміні під просо, що підтверджує позитивний вплив глибокого розпушування на руйнування ущільнених горизонтів і посилення вертикальної міграції вологи. За застосування комбінованої системи № 2 (дискування 6–8 см + оранка під овес) відзначено мінімальні показники (36,8 мм), що може бути наслідком неоднорідності обробітку та локального ущільнення профілю.

За вирощування сої найбільші запаси продуктивної вологи (43,3 мм) сформувалися за комбінованої системи з чизелюванням, а також за комбінованої (№ 3) з оранкою на 22–24 см під овес – 42,2 мм, що перевищувало контроль на 7,5–6,4 мм відповідно. Поверхневий обробіток забезпечив середній рівень вологонакопичення (38,9 мм), однак поступався диференційованим (комбіновани) варіантам.

Загалом отримані дані засвідчують, що комбіновані системи обробітку ґрунту забезпечують ефективніше накопичення продуктивної вологи, особливо в 10–30 см шарі, який відіграє ключову роль у водозабезпеченні рослин у критичні фази розвитку за умов нестійкого зволоження Лісостепу. Надмірна мінімізація обробітку (суцільне поверхнєве дискування на 6–8 см під усі культури сівозміни) супроводжується зниженням вологонакопичення, ймовірно через формування ущільненого підорного горизонту та обмеження інфільтрації. Натомість поєднання дискового обробітку з глибоким

чизелюванням або диференційованою оранкою сприяє покращенню водопроникності ґрунтового профілю, оптимізації перерозподілу вологи та формуванню більш збалансованого водного режиму ґрунту в короткоротаційній сівозміні.

У метровому шарі ґрунту сумарні запаси продуктивної вологи залежно від системи обробітку та культури сівозміни варіювали в межах 132,6–169,8 мм (рисунок), що свідчить про суттєву профільну диференціацію вологонакопичення.

Загалом комбіновані системи забезпечували найвищий рівень акумуляції вологи, тоді як надмірна мінімізація обробітку супроводжувалася зниженням водоутримуючої здатності ґрунту. У посівах пшениці озимої максимальні запаси сформувалися за комбінованої системи (159,7 мм), що на 9,5 % перевищувало показник поверхневої дискової системи (138,0 мм) та на 6,3 % – різноглибинної полицевої (150,2 мм).

Подібна закономірність відмічена у посівах вівса (169,8 мм) і проса (164,3 мм), де диференційовані прийоми з елементами глибокого розпушування сприяли ефективнішому перерозподілу та накопиченню вологи в метровому шарі. У посівах сої найвищі показники отримано за одноглибинної дискової системи (150,0 мм) та комбінованої з чизельним обробітком під просо (149,1 мм), що на 12,4–13,1 % перевищувало полицевий контроль (132,6 мм), що свідчить про чутливість культури до агрофізичного стану ґрунту та ефективність помірно мінімізованих і диференційованих систем обробітку в оптимізації водного режиму профілю.



Рис. Запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту

За умов природної родючості середньозважений збір зерна з гектара сівозмінної площі варіював у межах 2,20–2,98 т/га залежно від системи обробітку. Мінімальний показник зафіксовано за поверхневої дискової системи (2,20 т/га), тоді як максимальний – за комбінованої з чизельним обробітком під просо (2,98 т/га), що забезпечило приріст 0,78 т/га, або 35 % (табл. 2). Високий рівень продуктивності сівозміни також сформовано за різноглибинної полицевої оранки (2,83 т/га). Натомість мінімізація обробітку супроводжувалася зниженням збору зерна на 0,63–0,78 т/га порівняно з найефективнішими варіантами, що вказує на обмеження реалізації біологічного потенціалу культур сівозміни за спрощених технологій в умовах недостатнього живлення.

За внесення побічної продукції попередника врожайність культур сівозміни незалежно від системи обробітку ґрунту зростає на 0,39–0,58 т/га або на 14–21 % відносно контролю без добрив, що підтверджує позитивну роль органічної речовини у поліпшенні поживного режиму та агрофізичних властивостей ґрунту. Найвищий показник отримано за комбінованої з чизельним обробітком під

просо (3,48 т/га), що на 0,89 т/га перевищувало поверхневу дискову (2,59 т/га). Отримані результати свідчать про синергійний ефект поєднання диференційованого обробітку з поверненням рослинних решток у формуванні продуктивності польових агроценозів.

Таблиця 2

**Збір зерна з 1 га сівозмінної площі за різних систем обробітку ґрунту та удобрення, т/га (середнє за 2021–2025 рр.)**

Системи обробітку ґрунту	Система удобрення		
	без добрив (природна родючість)	внесення побічної продукції попередника 6,5–7,0 т/га	внесення побічної продукції попередника 6,5–7,0 т/га + N <sub>65</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>
Різноглибинна полицева	2,83 ± 0,34	3,41 ± 0,45	4,02 ± 0,47
Різноглибинна плоскорізна	2,71 ± 0,35	3,20 ± 0,42	3,69 ± 0,48
Дискова одноглибинна	2,69 ± 0,35	3,18 ± 0,46	3,74 ± 0,52
Одноглибинна дискова з весняним безполицевим під ярі культури	2,64 ± 0,33	3,08 ± 0,40	3,58 ± 0,51
Комбінована	2,98 ± 0,37	3,48 ± 0,42	4,23 ± 0,46
Комбінована № 2	2,56 ± 0,28	3,04 ± 0,41	3,50 ± 0,52
Комбінована № 3	2,47 ± 0,33	3,01 ± 0,39	3,55 ± 0,51
Поверхнева дискова	2,20 ± 0,29	2,59 ± 0,35	3,27 ± 0,49

Максимальний рівень продуктивності сформувався за поєднання внесення побічної продукції з мінеральним удобренням N<sub>65</sub>P<sub>60</sub>K<sub>70</sub> збір зерна коливався від 3,27 до 4,23 т/га, що підтверджує істотний вплив саме системи обробітку на ефективність застосування добрив. Найвищу продуктивність забезпечила комбінована система обробітку 4,23 т/га, де під сою, пшеницю озиму та овес застосовували мілкий дисковий на 10–12 см обробіток, а під просо глибокий чизельний обробіток на 40–42 см. Перевага цього варіанта над поверхневим дискуванням 6–8 см під усі культури становила +0,96 т/га, що вказує на ключову роль періодичного глибокого розпушення для поліпшення умов вологонакопичення, аерації та використання елементів живлення на фоні підвищеного надходження органічної речовини і мінеральних добрив.

Різноглибинна полицева система, що передбачає оранку на 28–30 см під сою, на 16–18 см під пшеницю озиму, на 22–24 см під просо та мілку оранку на 10–12 см під овес забезпечила збір зерна на рівні 4,02 т/га. Порівняно з поверхневою системою приріст становив +0,75 т/га, або 23 %. Комбінована система обробітку №3 забезпечила 3,55 т/га, тобто була близькою до одноглибинної дискової з весняним безполицевим обробітком під ярі культури – 3,58 т/га. Отже, глибока оранка лише під овес у цій конфігурації не дала суттєвого додаткового ефекту порівняно з мілкою дисковою системою (на 10–12 см), що може вказувати на необхідність глибшого розпушення саме під інші культури. Різноглибинна плоскорізна система сформувала 3,69 т/га зерна, що було вище поверхневої на +0,42 т/га, але нижче полицевої різноглибинної на 0,33 т/га і комбінованої на 0,54 т/га.

За результатами економічної та енергетичної оцінки встановлено виразну залежність показників ефективності від поєднання системи обробітку ґрунту та рівня удобрення. За відсутності удобрення найнижчу собівартість сформувала комбінована система – 4,74 тис. грн/т, що на 5,8 % менше порівняно з контролем (полицева різноглибинна), забезпечила найвищий умовно чистий прибуток – 18,72 тис. грн/га за рентабельності 138 %, що перевищує контроль на 15 %. *Кее* у цьому варіанті був максимальним – 4,2 (табл. 3).

Поллицева різноглибинна система забезпечила 17,07 тис. грн/га умовно чистого прибутку за рентабельності 123 % та *Кее* – 4,0. Плоскорізна і мілка дискова системи демонстрували близькі показники рентабельності (118–120 %) і *Кее* – 4,0, проте поступалися комбінованій за рівнем умовно чистого прибутку. Найменш ефективною виявилась поверхнева дискова система (на 6–8 см): собівартість зросла до 6,26 тис. грн/т, умовно чистий прибуток знизився до 10,52 тис. грн/га, рентабельність – до 81 %, *Кее* становив – 3,2.

Додавання побічної продукції попередника в більшості варіантів суттєво покращило економічні показники. Собівартість продукції знизилася до 4,53–5,87 тис. грн/т, а умовно чистий прибуток зріс до 13,37–22,47 тис. грн/га. Найвищі показники продемонструвала комбінована система обробітку: собівартість – 4,53 тис. грн/т, умовно чистий прибуток – 22,47 тис. грн/га, рентабельність – 149 %, коефіцієнт енергетичної ефективності (*Кее*) – 3,9. Порівняно з контролем умовно чистий прибуток

збільшився на 1,72 тис. грн/га, рентабельність – на 19 %. Мілка дискова система забезпечила отримання 19,19 тис. грн/га умовно чистого прибутку за рівня рентабельності 131 %, що перевищує показники контролю (130 %). Найменш прибутковим залишався варіант поверхневого дискування – 13,37 тис. грн/га умовно чистого прибутку за рентабельності 92 %, хоча ці показники були кращими від фону без добрив.

Таблиця 3

**Показники економічної та енергетичної ефективності вирощування культур короткоротаційної зернової сівозміни залежно від системи обробітку ґрунту та удобрення (середнє за 2021–2025 рр.)**

Обробіток ґрунту	Удобрення	Собівартість зерна, грн/т	Умовно чистий прибуток, грн/га	Рівень рентабельності, %	<i>K<sub>ee</sub></i>
Різноглибинна полицева	а	5,03	17,07	123	4,0
	в	4,86	20,75	130	3,7
	с	5,35	22,87	110	3,2
Різноглибинна плоскорізна	а	5,20	15,74	118	4,0
	в	5,01	19,25	126	3,7
	с	5,62	19,61	99	3,0
Дискова одноглибинна	а	5,13	15,69	120	4,0
	в	4,88	19,19	131	3,7
	с	5,69	19,56	97	3,1
Одноглибинна дискова з весняним безполіцевим	а	5,20	15,36	117	3,8
	в	4,97	18,53	126	3,5
	с	5,89	18,25	90	2,9
Комбінована	а	4,74	18,72	138	4,2
	в	4,53	22,47	149	3,9
	с	4,97	25,43	125	3,4
Комбінована № 2	а	5,58	13,73	104	3,7
	в	5,29	16,99	113	3,5
	с	5,93	17,29	90	2,8
Комбінована № 3	а	5,56	13,56	101	3,5
	в	5,19	17,46	115	3,4
	с	5,99	17,69	87	2,9
Поверхнева дискова	а	6,26	10,52	81	3,2
	в	5,87	13,37	92	3,1
	с	6,29	15,04	78	2,7

**Примітка.** а – без добрив (природна родючість); в – внесення побічної продукції попередника 6,5–7,0 т/га; с – внесення побічної продукції попередника 6,5–7,0 т/га + N<sub>65</sub>P<sub>60</sub>K<sub>70</sub>.

Інтенсифікація виробництва за рахунок внесення мінеральних добрив супроводжувалася підвищенням рівня собівартості до 4,97–6,29 тис. грн/т та зниженням рентабельності до 78–125 % за рахунок збільшення виробничих витрат. Водночас саме за цього фону комбінована система обробітку ґрунту забезпечила максимальний умовно чистий прибуток – 25,43 тис. грн/га, що на 2,56 тис. грн/га або на 11 % більше порівняно з контролем (22,87 тис. грн/га), рентабельність склала 125 % за *K<sub>ee</sub>* – 3,4. За плоскорізної різноглибинної та мілкої дискової систем обробітку ґрунту рентабельність знизилася до 97–99 %. Найнижчі показники економічної ефективності відмічено за поверхневої дискової системи: рентабельність – 78 %, *K<sub>ee</sub>* – 2,7, що свідчить про недостатню окупність мінеральних добрив за обмеженого продуктивного потенціалу ґрунту.

### Висновки

Результати стаціонарних досліджень у північній частині Правобережного Лісостепу України засвідчили, що в умовах кліматичної мінливості система основного обробітку ґрунту є визначальним чинником регулювання водного режиму та продуктивності короткоротаційної зернової сівозміни. Установлено, що комбіновані системи обробітку забезпечують більш ефективне накопичення продуктивної вологи в орному та підорному шарах порівняно з традиційною полицевою оранкою та надмірно мінімізованими моделями.

У 10–30 см шарі приріст запасів продуктивної вологи за комбінованих систем становив до 8–13 % під зерновими культурами та до 21 % під соєю порівняно з оранкою. У метровому шарі ґрунту (0–100 см) максимальні запаси продуктивної вологи (159,7–169,8 мм) формувалися за поєднання дискового обробітку з періодичним глибоким чизелюванням (40–42 см), що підтверджує доцільність проведення глибокого розпушення для кращої акумуляції та збереження вологи в ґрунті. Суцільне поверхнєве дискування на 6–8 см без періодичного глибокого обробітку призводить до зниження рівня вологонакопичення на 8–15 % і погіршення водоутримуючої здатності ґрунту.

Найвищий збір зерна з 1 га сівозмінної площі ( $4,23 \pm 0,46$  т/га) забезпечила комбінована система обробітку ґрунту у поєднанні з внесенням побічної продукції попередника та мінеральних добрив ( $N_{65}P_{60}K_{70}$ ). Порівняно з поверхневою системою приріст становив 0,96 т/га, що підкреслює ключову роль проведення періодичного глибокого розпушення у підвищенні ефективності використання орґано-мінерального удобрення та реалізації продуктивного потенціалу культур сівозміни.

Комбінована система обробітку на фоні орґано-мінерального удобрення забезпечує максимальний умовно чистий прибуток – 25,43 тис. грн/га за рентабельності 125 %. У міру інтенсифікації (від природної родючості до орґано-мінерального фону) умовно чистий прибуток зростає, однак рівень рентабельності та коефіцієнт енергетичної ефективності знижується через підвищення виробничих витрат та енергоємності технологій. Поверхнєва мінімізована система обробітку забезпечує найнижчі показники економічної та енергетичної ефективності, що свідчить про обмежену ефективність надмірної мінімізації обробітку в умовах нестійкого зволоження.

### Використана література

1. Teng J., Hou R., Dungait J. A. J. et al. Conservation agriculture improves soil health and sustains crop yields after long-term warming. *Nature Communications*. 2024. Vol. 15. Article 8785. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-53169-6>
2. Sun J., Niu W., Mu F. et al. Optimized tillage systems enhance crop productivity and resilience to extreme weather conditions: Evidence from field experiments and meta-analysis. *Soil and Tillage Research*. 2024. Vol. 238. Article 106003. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106003>
3. Demydenko O., Bulygin S., Velychko V. et al. Soil moisture potential of agrocenoses in the Forest-Steppe of Ukraine. *Agricultural Science and Practice*. 2021. Vol. 8, No. 2. P. 49–61. <https://doi.org/10.15407/agrisp8.02.049>
4. Цілюрик О. І. Сучасні системи мульчування обробітку ґрунту в Північному Степу. Одеса : Олді Плюс+, 2023. 344 с. URL: <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/8460>
5. Кирилюк В. П., Кричківський В. М. Сучасні адаптивні системи основного обробітку ґрунту під пшеницю озиму. *Аграрні інновації*. 2022. № 13. С. 72–77. <https://doi.org/10.32848/agrarinnov.2022.13.11>
6. Войтовик М. В. Продуктивність короткоротаційних сівозмін на чорноземі типовому. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2023. № 40. С. 15–20. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-3.2>
7. Kaminskyi V., Bulgakov V., Tkachenko M. et al. Research into comparative performance of different tillage and fertilization systems applied to grey forest soil of Forest Steppe in grain crop rotation. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23, Iss. 12. P. 163–178. <https://doi.org/10.12911/22998993/155057>
8. Польовий В. М., Фурманець М. Г., Сніжок О. В. Вплив обробітку ґрунту та побічної продукції на врожайність пшениці озимої в умовах Західного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 3. С. 28–34. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202303-04>
9. Ляшенко В. В., Карасенко В. М., Кракотець С. І. Вплив системи обробітку ґрунту та попередників на урожайність і якість зерна пшениці озимої. *Scientific Progress & Innovations*. 2021. № 4. С. 64–70. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.07>
10. Хахула В. С., Михайлюк Д. В. Вплив різних систем удобрення і обробітку ґрунту на урожайність пшениці озимої в умовах Правобережного Лісостепу України. *Аграрна освіта і наука: досягнення та перспективи розвитку* : матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції (м. Біла Церква, 28 березня 2024 р.). Біла Церква : БНАУ, 2024. С. 241–244.
11. Новохацький М., Степченко С. Продуктивність сої в умовах зміни клімату за різних систем основного обробітку ґрунту в Лісостепу України. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2025. Т. 36, № 50. С. 133–144. [https://doi.org/10.31473/2305-5987-2025-1-36\(50\)-11](https://doi.org/10.31473/2305-5987-2025-1-36(50)-11)

### References

1. Teng J., Hou R., Dungait J. A. J., Zhou G., Kuzyakov Y., Zhang J., Tian J., Cui Z., Zhang F., & Delgado-Baquerizo M. (2024). Conservation agriculture improves soil health and sustains crop yields after long-term warming. *Nature Communications*, 15, Article 8785. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-53169-6>
2. Sun J., Niu W., Mu F., Li R., Du Y., Ma L., Zhang Q., Li G., Zhu J., & Siddique, K. H. M. (2024). Optimized tillage systems enhance crop productivity and resilience to extreme weather conditions: Evidence from field experiments and meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 238, Article 106003. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106003>

3. Demydenko, O., Bulygin, S., Velychko, V., Kaminsky, V., & Tkachenko, M. (2021). Soil moisture potential of agrocenoses in the Forest-Steppe of Ukraine. *Agricultural Science and Practice*, 8(2), 49–61. <https://doi.org/10.15407/agrisp8.02.049>
4. Tsiliuryk, O. I. (2023). *Modern systems of mulching soil cultivation in the Northern Steppe*. Oldi Plus+. <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/8460> [In Ukrainian]
5. Kyryliuk, V. P., & Krychivskiy, V. M. (2022). Modern adaptive systems of basic soil tillage for winter wheat. *Agrarian Innovations*, 13, 72–77. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.11> [In Ukrainian]
6. Voitovyk, M. V. (2023). Productivity of short-rotation crop rotations on typical chernozem. *Podilskyi Herald: Agriculture, Engineering, Economics*, 40, 15–20. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-3.2> [In Ukrainian]
7. Kaminskyi, V., Bulgakov, V., Tkachenko, M., Kolomiets, M., Kaminska, V., Ptashnik, M., Ivanovs, S., & Kiernicki, Z. (2022). Research into comparative performance of different tillage and fertilization systems applied to grey forest soil of forest steppe in grain crop rotation. *Journal of Ecological Engineering*, 23(12), 163–178. <https://doi.org/10.12911/22998993/155057>
8. Polovyi, V. M., Furmanets, M. H., & Snizhok, O. V. (2023). Influence of tillage and crop residues on winter wheat yield in the Western Forest-Steppe. *Bulletin of Agricultural Science*, 101(3), 28–34. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202303-04>
9. Liashenko, V. V., Karasenko, V. M., & Krakotets, S. I. (2021). Influence of soil tillage system and predecessors on yield and grain quality of winter wheat. *Scientific Progress & Innovations*, 4, 64–70. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.07>
10. Khakhula, V. S., & Mykhailiuk, D. V. (2024). Influence of different fertilizer and tillage systems on winter wheat yield under conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. In *Agricultural education and science: achievements and development prospects* (pp. 241–244). BNAU. [In Ukrainian]
11. Novokhatskyi, M., & Stepchenko, S. (2025). Productivity of soybean under climate change under different primary tillage systems in the Forest-Steppe of Ukraine. *Technical and Technological Aspects of Development and Testing of New Machinery and Technologies for Agriculture of Ukraine*, 36(50), 133–144. [https://doi.org/10.31473/2305-5987-2025-1-36\(50\)-11](https://doi.org/10.31473/2305-5987-2025-1-36(50)-11) [In Ukrainian]

UDC 631.51:631.554:631.559

**Ptashnik, M. M., Remeniuk, Yu. O., Brukhal, F. Y., Dykun, O. V., & Ostapiuk, B. V.** (2026). Efficiency of adaptive soil tillage technologies in short crop rotations of the Forest Steppe under climate change. *Advanced Agritechnologies*, 14(1). <https://doi.org/10.47414/na.14.1.2026.361909> [In Ukrainian]

National Scientific Center "Institute of Agriculture NAAS", 2-B Mashynobudivnykiv St., Chabany Village, 08162, \*e-mail: [obrobitok@ukr.net](mailto:obrobitok@ukr.net)

**Aim.** To determine the influence of adaptive soil tillage technologies on the formation of productive moisture reserves and the productivity of short grain crop rotations, and to assess economic and energy efficiency indicators of their application. **Methods.** The study was conducted in 2021–2025 in a long-term field experiment at the NSC "Institute of Agriculture of NAAS" comparing the following soil tillage systems: shallow discing (6–8 cm for all crops), medium discing (10–12 cm), variable-depth ploughing (28–30 cm for soybean, 16–18 cm for winter wheat, 22–24 cm for proso millet, and 10–12 cm for oat), variable-depth chisel ploughing, and combined disc tillage (10–12 cm for soybean, winter wheat, and oat) with periodic deep chisel ploughing (40–42 cm for proso millet). Yield, economic efficiency (net profit, profitability), and energy efficiency were evaluated. **Results.** The impact of variable-depth ploughing, chisel ploughing, discing, combined, and shallow tillage systems on productive moisture reserves in the 0–100 cm layer, crop yields, and economic and energy indicators was investigated. Combined systems with periodic deep chisel ploughing ensured the highest reserves of productive moisture in the arable and sub-arable layers (up to 159.7–169.8 mm in the 0–100 cm soil layer), as well as the highest grain yield ( $4.23 \pm 0.46$  t/ha) under organic-mineral fertilisation. Excessive minimisation of the tillage (continuous shallow discing at 6–8 cm) reduced soil water-holding capacity and limited the realisation of fertilisation potential. Economic evaluation showed that the combined system under organic-mineral fertilisation provided the maximum net profit (25.43 UAH/ha) and an acceptable profitability level (125%). It was established that the key factor of energy efficiency is agrocenosis productivity, while the share of mechanical tillage in the structure of energy costs is relatively small. **Conclusions.** The feasibility of introducing adaptive (differentiated) soil tillage systems as a tool for climate adaptation of agriculture under unstable moisture conditions has been confirmed. These systems ensure the realisation of the biological productivity potential of crop rotations and improve the efficiency of mineral fertiliser use.

**Keywords:** adaptive soil tillage; short crop rotation; productive moisture; yield; economic efficiency; energy efficiency.

Надійшла / Received 09.03.2026

Погоджено до друку / Accepted 05.04.2026

Опубліковано онлайн / Published online 28.05.2026