

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

**МОДЕЛІ ВОЛОГООЩАДНИХ АГРОТЕХНОЛОГІЙ:
НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

Вінниця

2025

УДК 631.51:631.42

М 74

*Рекомендовано до друку Вченою радою ННЦ «ІЗ НААН»
(протокол № 10 від 06 жовтня 2025 р.)*

Рецензенти:

Д. В. Літвінов – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва ім. О.І. Душечкіна НУБіП України;

І. В. Мартинюк – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник відділу сівозмін і землеробства на меліорованих землях ННЦ «ІЗ НААН»

М 74 Моделі вологоощадних агротехнологій: наук.-практ. реком. /
М. М. Пташнік, Ф. Й. Брухаль, Ю. О. Ременюк, Л. М. Красюк,
П. С. Заяць, Н. Є. Борис, О. В. Дикун, В. В. Уста. – Вінниця : ТВОРИ,
2025. – 44 с.

ISBN 978-617-8835-78-1

Рекомендації розроблені на основі узагальнення результатів фундаментальних наукових досліджень, отриманих в довгострокових стаціонарних дослідях ННЦ «ІЗ НААН».

Науково-практичні рекомендації по застосуванню сучасних моделей вологоощадних технологій обробітку ґрунту призначені для широкого кола осіб, які займаються аграрною діяльністю, зокрема для керівників і фахівців агропромислових підприємств, науковців, викладачів вищих навчальних закладів, аспірантів, студентів агрономічних спеціальностей, а також усіх, хто цікавиться питаннями сталого розвитку сільського господарства.

УДК 631.51:631.42

ISBN 978-617-8835-78-1

© ННЦ «ІЗ НААН», 2025
© ТОВ «ТВОРИ», 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ТА СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ВОЛОГООЩАДНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ.....	9
2. АГРОБІОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМНОГО ОБРОБІТКУ ТА УДОБРЕННЯ В КОРОТКОРОТАЦІЙНІЙ ЗЕРНОВІЙ СІВОЗМІНІ	22
3. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ВОЛОГООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ.....	35
Список літератури.....	40

ВСТУП

В умовах сучасного землеробства системи обробітку ґрунту є однією з ключових складових технологій вирощування польових культур – від традиційних до високоточних (*Precision agriculture*), що передбачають застосування геоінформаційних систем, GNSS-позиціонування, бортових комп'ютерів і виконавчих модулів керування. Такі технології забезпечують диференційоване виконання технологічних операцій (обробіток ґрунту, внесення добрив і засобів захисту рослин) з урахуванням дрібноконтурної просторової неоднорідності ґрунтової родючості, даних дистанційного зондування (зокрема індексу NDVI), спектрометрії тощо.

Водночас обробіток ґрунту не є єдиним і визначальним чинником реалізації потенційної родючості, а виконує переважно роль регулятора умов росту й розвитку рослин та елемента оптимізації рівня врожайності. Підвищення фітопродуктивності агроценозів у більшості випадків забезпечується насамперед збалансованою системою удобрення, заходами хімічної та водної меліорації, використанням сучасних досягнень генетики й селекції, удосконаленням системи захисту рослин від бур'янів, шкідників і хвороб, а також застосуванням регуляторів росту та біологічно активних сполук.

У зв'язку з цим функції обробітку ґрунту трансформуються у напрямі підвищення екологічної, ресурсо- та енергоощадної компоненти за відновлювального (регенеративного) землеробства з урахуванням балансу органічного вуглецю в ґрунті. Відповідно, сучасні системи механічного ґрунтообробітку постійно вдосконалюються та вирізняються більшою функціональністю й технологічністю. Традиційні багатоопераційні агрозаходи поступово замінюються одноразовим проходом модульних комбінованих агрегатів із заданими оператором режимами виконання операцій: основного обробітку ґрунту, локального внесення добрив і засобів захисту рослин, сівби, прикочування, мульчування поверхні поля тощо.

Водночас, з урахуванням глобальних кліматичних, екологічних та соціально-економічних викликів, сучасні технології (системи) обробітку ґрунту спрямовані на вирішення комплексу пріоритетних виробничих завдань: накопичення й збереження запасів продуктивної вологи; запобігання деградаційним процесам в агроландшафтах (ерозії, переущільненню); підвищення ефективності використання побічної продукції рослинництва як органічного добрива; забезпечення зростання рівня врожайності за умови збереження та розширеного відтворення ґрунтової родючості.

Наразі на значній частині території України потенційний рівень урожайності обмежується дефіцитом запасів продуктивної вологи в ґрунті. У зв'язку з цим актуальною залишається розробка та впровадження ефективних, насамперед вологоощадних, технологічних рішень, спрямованих на зменшення негативного впливу деструктивних природних явищ і процесів. Визначальним трендом подальшого розвитку систем обробітку ґрунту є їх мінімізація та адаптація до конкретних ґрунтово-кліматичних умов, рівня інтенсивності технологій вирощування з урахуванням погодних чинників тощо.

Вологоощадні технології обробітку ґрунту – це система агротехнічних прийомів, спрямованих на накопичення, збереження та раціональне використання ґрунтової вологи, а також на зниження непродуктивних втрат вологи внаслідок випаровування, поверхневого стоку й ерозійних процесів. Застосування таких технологій є особливо актуальним за умов посушливого клімату та нестабільного режиму зволоження, коли вологозабезпечення є лімітуючим чинником реалізації продукційного потенціалу культур.

В Україні підходи вологоощадного ґрунтообробітку широкого поширення набувають в агрохолдингах і господарствах різних форм власності. Зокрема, у практичних рекомендаціях наголошується на доцільності поєднання вологоощадних технологій із добром адаптованих сортів та гібридів за оптимізації виробничих витрат і норм висіву [3], а також акцентується увага на їх ресурсоощадливому ефекті та потенціалі зниження

витрат на гектар сівозмінної площі [2]. Практичним прикладом реалізації вологоощадних технологій обробітку ґрунту є ПП «Західний Буг», де тривалий час застосовують безвідвальний обробіток і частково технологію strip-till, відмовившись від оранки [6].

Науковці відділу обробітку ґрунту і контролювання сегетальної рослинності ННЦ «ІЗ НААН» упродовж десятиріч формують і розвивають наукові основи застосування відновлювального (ресурсоощадного) землеробства в умовах Лісостепу і Полісся, спираючись на результати багаторічних досліджень проведених у тривалому моніторинговому стаціонарному досліді. Ключовим методологічним підходом є відмова від універсальних (стандартизованих) рішень і перехід до адаптивних (комбінованих) систем мінімізованого механічного обробітку, які поєднують полицеві й безполицеві прийоми за принципом мінімально достатньої інтенсивності механічного обробітку, науково обґрунтованої агроекологічними та виробничими умовами з урахуванням ґрунтових відмін, культури в сівозміні, рівня забур'яненості посівів, погодних ризиків і економічних можливостей господарств.

Наукова концепція адаптивних (диференційованих) та комбінованих мінімальних систем вологоощадних технологій передбачає раціональне комбінування різноглибинного обробітку (полицевого і безполицевого) з метою накопичення і збереження продуктивної вологи. особливо в умовах Лісостепу України з контрастним рівнем зволоження та Полісся. Це передбачає зменшення енергомісткості технологій, обмеження деградаційних процесів (переуцільнення, брилоутворення, руйнування структури, мінералізація гумусу, водна та вітрова ерозія). Активізація біологічних процесів у ґрунті як чинника родючості: мульчування, підвищення рівня органічної речовини та інтенсифікація діяльності ґрунтової мікробіоти й мезофауни.

У науково-практичних рекомендаціях висвітлено механізми забезпечення стабільно високої ефективності короткоротаційної зернової

сівозміни за рахунок інтеграції основних елементів вологоощадного обробітку ґрунту, які передбачають:

- осучаснені вологоощадні моделі різноглибинного полицево-безполицевого обробітку ґрунту. Поверхневий та мілкий обробіток (дискування, культивація, лушення) застосовують для зменшення непродуктивних втрат вологи, регулювання падалиці, часткового загортання післяжнивних решток і створення умов для «провокації» появи сходів бур'янів з подальшим їх знищенням. Глибокий безполицевий обробіток (розпушування, чизелювання) використовують для руйнування ущільненого прошарку (плужної підшови), поліпшення інфільтрації вологи та аерації ґрунту без інтенсивного перемішування орного шару. Полицевий обробіток доцільно розглядати як елемент періодичного окультурення ґрунтового профілю за виробничої необхідності (вирівнювання поверхні поля, загортання надмірної маси рослинних решток, зниження фітосанітарних ризиків і часткове зменшення насіннєвого банку бур'янів у верхньому шарі;

- помірні дози мінеральних добрив у поєднанні з побічною продукцією рослинництва. Обґрунтовано доцільність застосування помірних доз NPK у поєднанні з побічною продукцією культур, що підсилює повернення до ґрунту органічного вуглецю та елементів живлення, сприяє більш рівномірному забезпеченню рослин поживними речовинами протягом вегетації, підтримує структурно-агрегатний стан ґрунту. Окремо наголошено на технологічних перевагах попереднього компостування побічної продукції, що підвищує ефективність гуміфікації, зменшує ризик тимчасової іммобілізації азоту;

- сорт (гібрид) і заходи захисту рослин як інтегрована система. Сучасні високопродуктивні сорти та гібриди, що характеризуються високою реакцією на рівень мінерального живлення та вологозабезпечення, реалізують генетичний потенціал врожайності лише за умов мінімізації конкурентного тиску з боку бур'янів і загалом контрольованого фітосанітарного стану посівів. Екологічно виважений інтегрований захист рослин передбачає застосування

профілактичних заходів, систематичний моніторинг шкідливих організмів і прийняття технологічних рішень на основі економічних порогів шкодочинності;

- роль мульчуючого (грунтового-рослинного) шару та його пролонгований ефект. Окремим результатом є обґрунтування позитивної пролонгованої дії мульчуючого шару (післядії протягом усього періоду вегетації), сформованого з подрібнених і частково гуміфікованих рослинних решток у поєднанні зі структурованим верхнім шаром ґрунту. Такий шар одночасно виконує низку функцій: стабілізує водний режим через зменшення фізичного випаровування; підвищує інфільтрацію атмосферних опадів; знижує поверхневий стік, ризик кіркоутворення та вирівнює коливання вологості в кореневмісному шарі. Крім того, поліпшується агрофізичний стан ґрунту (зменшується ризик ущільнення, зростає водопроникність, формується стійка грудкувато-агрегатна структура), що створює сприятливі умови для розвитку кореневої системи. Біологічний ефект проявляється в активізації ґрунтової біоти: підвищенні чисельності й активності мікроорганізмів, інтенсифікації мінералізаційно-гуміфікаційних процесів, зростанні ферментативної активності та біологічної буферності ґрунту.

Тому, запропонований підхід засвідчує, що моделі вологоощадних технологій обробітку ґрунту в короткоротаційній зерновій сівозміні слід розглядати не як окремий агроприйом, а як комплексну систему технологічних рішень, у межах якої узгоджуються механічні операції, система живлення, використання побічної продукції як добрива, сортовий (гібридний) склад та інтегрований захист рослин. Її реалізація забезпечує вологоощадний і енергоощадний ефекти, посилення біологічної активності ґрунту, стабілізацію продуктивності культур і підвищення екологічної збалансованості землеробства в умовах Лісостепу та Полісся.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ТА СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ВОЛОГОЩАДНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Сучасна практика землеробства у світі базується на кількох стратегічних підходах до систем обробітку ґрунту, кожен з яких має власну філософію використання енергії, збереження ресурсів, управління родючістю та адаптації до кліматичних змін. Ці концепції різняться рівнем механічного втручання у ґрунтовий профіль, способом поводження з рослинними рештками та методами регулювання ерозійних процесів.

Обробіток ґрунту є одним із базових агротехнічних прийомів у землеробстві, що застосовується для підготовки посівного ложа, регулювання сегетальної рослинності, загортання пожнивних решток і добрив та оптимізації агрофізичних властивостей орного шару. У сучасних світових концепціях сталого землеробства зазначається, що тривале домінування інтенсивного полицевого обробітку (зокрема різноглибинної оранки відвальними плугами) може зумовлювати деградаційні зміни ґрунту: погіршення структурно-агрегатного стану, формування ущільнених прошарків, зниження вмісту органічної речовини та біологічної активності, що супроводжується зменшенням інфільтрації й водоутримувальної здатності ґрунту. Такі зміни підвищують ризики ерозійних процесів і непродуктивних втрат вологи та, відповідно, викликають обґрунтовані занепокоєння щодо довгострокової стійкості й продуктивності агроecosистем у системах інтенсивного землекористування. Критичним обмеженням традиційних систем обробітку, орієнтованих на регулярну оранку, є тенденція до поступового зниження показників ґрунтової родючості та загальної продуктивності в разі тривалого застосування без належної компенсації надходження органічних добрив і раціоналізації механічного навантаження. Зниження стійкості ґрунту пов'язують насамперед із втратами органічної речовини, деградацією ґрунтової біоти та руйнуванням агрофізичної (структурної) організації ґрунтового профілю, що проявляється у зменшенні

інфільтрації, посиленні поверхневого стоку й ерозії, а також зростанні випаровування ґрунтової вологи. Сукупність цих процесів у підсумку призводить до прогресування деградації земель і зниження ефективності землеробства [5, 7, 22, 26, 30].

З іншого боку, підходи безполіцевого обробітку почали широко впроваджуватися у 1980–1990-х роках. Надалі системи плоскорізного та безполіцевого обробітку ґрунту утвердилися як відносно стійкі альтернативи традиційній оранці, орієнтовані на мінімізацію механічного порушення ґрунту, підтримання структурно-агрегатного стану та збереження (накопичення) органічної речовини. Перспективність таких систем насамперед пов'язують зі зменшенням ерозійних втрат ґрунту [13, 14].

Нині у світовій практиці широко застосовують системи комбінованого (консерваційного) обробітку ґрунту (Conservation tillage), які передбачають зменшення частоти та інтенсивності механічного впливу порівняно з традиційними технологіями. Як правило, використовують ґрунтообробні знаряддя, що забезпечують обмежене перемішування та мінімізують оборот (інверсію) пласта ґрунту (чизельні агрегати, глибокорозпушувачі, системи вертикального обробітку), завдяки чому на поверхні залишається більша частка пожнивних решток. Наявність рослинних решток на поверхні сприяє протиерозійному захисту, стабілізації структурного стану ґрунту та підтриманню вмісту органічної речовини, що є важливими передумовами збереження родючості й підвищення потенціалу секвестрації (накопичення) вуглецю в ґрунті [9, 25].

Ідея комбінованого (консерваційного) обробітку ґрунту полягає у збереженні рослинних решток на поверхні ґрунту шляхом мінімізації інтенсивності його механічного порушення, що зазвичай досягається застосуванням сучасних комбінованих ґрунтообробних знарядь та агрегатів. Наявність покривного шару рослинних решток зменшує руйнівний вплив прямих сонячних променів і крапель дощу на поверхню ґрунту, тоді як обмеження механічного втручання сприяє збереженню його біологічних

властивостей, поліпшенню пористості та оптимізації водного й повітряного режимів [29, 30].

У практиці США комбінований (консерваційний) обробіток ґрунту останніми десятиліттями широко впроваджується і, як правило, визначається як форма обробітку, що мінімізує руйнування ґрунтових агрегатів завдяки зменшенню кількості проходів техніки та забезпечує покриття поверхні ґрунту рослинними рештками щонайменше на 30 % з метою зниження ерозійних втрат. За таких умов цей підхід може розглядатися як технологічно доцільний варіант для нарощування або щонайменше збереження запасів органічної речовини ґрунту, підвищення його родючості та забезпечення сталості виробництва продовольства [16, 17, 28].

Дослідженнями встановлено, що комбінований (консерваційний) обробіток ґрунту здатний підвищувати вміст (запаси) органічного вуглецю в ґрунті, що, своєю чергою, може сприяти зростанню врожайності сільськогосподарських культур і підвищенню ефективності використання вологи порівняно з традиційним обробітком, особливо за поєднання з практиками повернення рослинних решток (зокрема соломи) [15, 33]. Водночас мінімізація обробітку часто зумовлює перерозподіл органічного вуглецю за профілем ґрунту: збільшення його концентрації у поверхневому шарі та відносне зниження у підорних горизонтах. Така вертикальна диференціація може формувати різноспрямовані тенденції «накопичення–вивільнення» вуглецю, чутливі до кліматичних умов і режиму зволоження, що підкреслює складність ґрунтового вуглецевого циклу та необхідність детального аналізу впливу систем обробітку на секвестрацію вуглецю [15, 33].

Зокрема, зменшення інтенсивності обробітку підвищує запаси органічного вуглецю у верхньому шарі ґрунту (0–5 або 0–10 см), однак може супроводжуватися частковим зниженням його запасів у 0–30 см шарі або нижче порівняно з традиційною оранкою. Зміни просторового розподілу органічної речовини в профілі ґрунту пов'язують із обмеженням перемішування органічної речовини з глибшими шарами ґрунту за умов

мінімального обробітку, тоді як оранка забезпечує інтенсивніше змішування (інкорпорацію) органічних решток у профіль [21].

Інтенсивне механічне порушення ґрунту, характерне для традиційного обробітку, істотно впливає на його структурно-агрегатний стан і просторовий розподіл органічної речовини в профілі. Глибока полицева оранка сприяє руйнуванню ґрунтових агрегатів, підвищує ризики ерозійних процесів і може знижувати інфільтрацію та водоутримуючу здатність ґрунту. Порушення структури також пов'язують із переущільненням і формуванням ущільненого прошарку (плужної підшови), що обмежує проникнення кореневої системи та погіршує аераційний режим.

Крім того, інтенсивне розпушення й перемішування ґрунту збільшує контакт органічної речовини з киснем і активізує мікробіологічні процеси мінералізації, унаслідок чого зростає емісія CO_2 . За даними досліджень, традиційний обробіток може супроводжуватися викидами CO_2 на рівні близько $6,1 \text{ т } \text{CO}_2/\text{га}/\text{рік}$ внаслідок посилення мікробної активності та окиснення органічної речовини (табл. 1). Прискорена мінералізація не лише підвищує викиди парникових газів, а й зумовлює виснаження запасів органічного вуглецю, що в довгостроковій перспективі може призводити до зниження родючості та погіршення родючості ґрунту.

Крім того, звичайний обробіток також впливає на кругообіг поживних речовин у ґрунтах. Внесення рослинних решток у ґрунт може тимчасово збільшити доступність поживних речовин, однак довгострокова деградація органічної речовини може призвести до зниження вмісту поживних речовин у ґрунті, що вимагатиме більших витрат синтетичних добрив для підтримки врожайності сільськогосподарських культур. У той час як традиційні методи обробітку ґрунту можуть забезпечити короткострокові переваги з точки зору контролю бур'янів та підготовки насіннєвого ложа, їх довгостроковий вплив на структуру ґрунту, органічну речовину та викиди парникових газів створює значні проблеми для сталого сільського господарства. Перехід до природоохоронних (комбінованих) способів обробітку ґрунту, які мінімізують

порушення ґрунту, може допомогти пом'якшити ці негативні наслідки та сприяти здоров'ю ґрунту та поглинанню вуглецю [11, 34].

Таблиця 1. Порівняльний аналіз сучасних світових практик (систем) обробітку ґрунту

Системи обробітку ґрунту	Опис	Викиди CO ₂ , кг/га/рік	Викиди N ₂ O, кг/га/рік	Затримка вологи, мм/га	Органічна речовина
Традиційний обробіток ґрунту	Глибока оранка та інтенсивне порушення ґрунту призводить до деградації структури ґрунту та підвищення ризику ерозії	6100	4–6	Зменшує затримку вологи, збільшує стік, затримка вологи зменшується на 10–30 мм/га	Прискорює розкладання, з часом зменшує вміст органічної речовини (зниження на 10–30%)
Комбінований обробітку ґрунту	Більш мілкий обробіток ґрунту зі зменшенням порушення ґрунту, спрямований на збереження структури ґрунту та зменшення ерозії	3100	3–5	Покращує утримання води, зменшує стік порівняно зі звичайним, збільшує утримання вологи на 10–20 мм/га	Помірно розкладається, зберігає поверхневі рештки, зберігаючи або незначно покращуючи органічну речовину ґрунту (зниження на 5–15%)
<i>No-till</i> (нульовий обробіток ґрунту)	Мінімальне порушення ґрунту, збереження структури ґрунту та сприяння здоров'ю ґрунту та біорізноманіттю	2900	2–4	Посилює інфільтрацію води, зберігає вологість ґрунту, збільшує утримання вологи на 20–40 мм/га	Зберігає органічну речовину, посилює поглинання вуглецю, що призводить до покращення вмісту органічної речовини в ґрунті з часом (збільшення на 5–20%)

В основу комбінованого (консерваційного) обробітку ґрунту покладено принцип мінімізації інтенсивності механічного впливу на ґрунт із одночасним збереженням його продуктивного стану та поліпшенням показників родючості ґрунту. Такий підхід передбачає зменшення частоти та глибини проведення обробітку порівняно з традиційними технологіями. Зокрема, глибоке безпліцеве розпушування дає змогу послабити ущільнення в підорних

горизонтах без інверсії пласта й без винесення менш родючого матеріалу на поверхню.

Завдяки збереженню більшої частки рослинних решток на поверхні та обмеженню інтенсивності перемішування ґрунтової маси підтримуються структурно-агрегатний стан і вміст органічної речовини, що є ключовими передумовами ґрунтової родючості та секвестрації (накопичення) вуглецю. За даними досліджень, скорочення інтенсивності обробітку може зменшувати емісію CO₂ приблизно на 3,1 т CO₂·га/рік порівняно з традиційним обробітком, водночас забезпечуючи ефективну підготовку насінневого ложа та контроль сегетальної рослинності [10, 32].

Практика нульового обробітку ґрунту (*no-till*-технологія) передбачає сівбу культур у ґрунт без попереднього механічного обробітку з мінімальним порушенням його структури. Для цього застосовують сівалки прямого висіву, які формують вузькі щілини (борозенки) або лунки, у які безпосередньо розміщують насіння, тоді як рослинні рештки переважно залишаються на поверхні ґрунту. Технологія *no-till* сприяє збереженню структурно-агрегатного стану, зменшенню ерозійних втрат і поліпшенню інфільтрації та водоутримуючої здатності ґрунту. За рахунок мінімізації механічного порушення та збереження органічної речовини *no-till*-технологія також асоціюється зі зниженням емісії CO₂ (до 2,9 т CO₂·га/рік порівняно з традиційним обробітком).

Водночас упровадження *no-till*-технології в умовах України істотно обмежує можливості механічного контролювання бур'янів і, як правило, підвищує залежність технології від застосування гербіцидів. У короткочасних сівозмінах за поєднання мінімального обробітку та *no-till* технології інтенсифікація хімічного захисту може спричинити зрушення у видовому складі сегетальної рослинності, зокрема зростання частки та домінування видів із підвищеною толерантністю або резистентністю до гербіцидів (як дводольних, так і злакових).

В умовах України, з огляду на кліматичні зміни та зростання частоти посушливих періодів, системи обробітку ґрунту істотно впливають на здатність ґрунту поглинати й утримувати вологу, причому визначальним є рівень механічного порушення ґрунтової поверхні. Мінімальний обробіток, окрім зменшення ерозійних втрат, сприяє підвищенню вмісту органічної речовини та формує умови, що знижують ризики переущільнення й кіркоутворення на ґрунтах, схильних до цих процесів. Це пов'язано зі збереженням рослинних решток на поверхні, які формують мульчуючий шар. Мульча зменшує нагрівання поверхні ґрунту та уповільнює випаровування води, а також, у поєднанні з меншою руйнацією структури, поліпшує інфільтрацію атмосферних опадів: знижується швидкість поверхневого стоку та підвищується частка води, що поглинається ґрунтом.

За мінімізованого обробітку, як правило, відмічають підвищення вологозабезпечення у верхньому 0–15 см шарі ґрунту, особливо в умовах дефіциту опадів. Водночас тривале застосування таких систем може супроводжуватися накопиченням ущільнення нижче глибини обробітку, що зумовлює потребу в періодичному глибокому розпушуванні [18, 19, 23]. Консерваційний (комбінований) обробіток на глибину 25–40 см виконують агрегатами з чизельними робочими органами або важкими культиваторами. Така технологія сприяє накопиченню і збереженню ґрунтової води та вирізняється енергоощадністю в розрахунку на одиницю продукції (зокрема за рахунок підвищення врожайності), забезпечує розпушення ґрунту по всій глибині обробітку та збереження на поверхні до 90 % рослинних решток, що підсилює протиерозійний захист ґрунту [1, 8, 20, 27].

Упровадження сталих систем обробітку ґрунту в межах відновлювального (регенеративного) землеробства поєднує значний потенціал із низкою практичних обмежень. Перехід до мінімізованого або нульового обробітку потребує початкових витрат, зокрема інвестицій у спеціалізовану техніку, а також адаптації технологічних рішень щодо системи удобрення та контролю сегетальної рослинності. Критично важливим є управління

можливою мінливістю врожайності в перехідний період, коли ґрунт поступово адаптується до зменшення механічного впливу, а система контролю бур'янів перебудовується відповідно до нових умов.

Зокрема, технологія *no-till* зазвичай характеризується тривалішим перехідним етапом і підвищеною залежністю від гербіцидного контролю бур'янів, а також потребує спеціальної організації внесення органічних добрив (особливо твердих форм), що не завжди технологічно сумісне з вимогами прямої сівби. Важливою умовою є збереження принципу «нульового» механічного втручання: на полях із *no-till* не допускається виконання додаткових операцій розпушування іншими ґрунтообробними знаряддями.

Сучасні системи обробітку ґрунту в Україні формуються під впливом поєднання господарських, екологічних та кліматичних викликів. Технології малоінтенсивного ґрунтообробітку поряд із задоволенням виробничих потреб аграрного сектору – підвищення продуктивності, скорочення енерговитрат, економії викопних ресурсів, здешевлення продукції та зростання конкурентоспроможності рослинництва орієнтовані на екологізацію аграрного виробництва. Їх впровадження спрямоване на запобігання деградації ґрунтів, обмеження забруднення довкілля токсичними речовинами, підвищення керованості водного режиму агроєкосистем в умовах кліматичного потепління та зростання частоти екстремальних погодних явищ.

На сьогодні у господарствах всіх форм власності набувають поширення такі технології обробітку ґрунту (рис. 1):

Mini-tillage – передбачає мінімальне втручання порівняно з традиційними полицевими обробітками. Основна мета зменшення ерозії ґрунту, збереження його структури та вологості, одночасно з контролем за сегетальною рослинністю. Зазвичай передбачає поверхневий обробіток ґрунту, на глибину близько 8–15 см. Застосовують як у щорічному режимі, так і в складі диференційованих систем обробітку під окремі культури сівозміни з використанням наявного парку ґрунтообробних знарядь важких культиваторів, дискових агрегатів тощо. Періодичність проведення глибокого безполицевого,

а в окремих випадках і полицевого обробітку (раз на 3–5 років) визначається фітосанітарним станом посівів, системою удобрення, біологічними особливостями культур, ступенем ущільнення ґрунту та необхідністю розуцільнення активного кореневмісного шару.

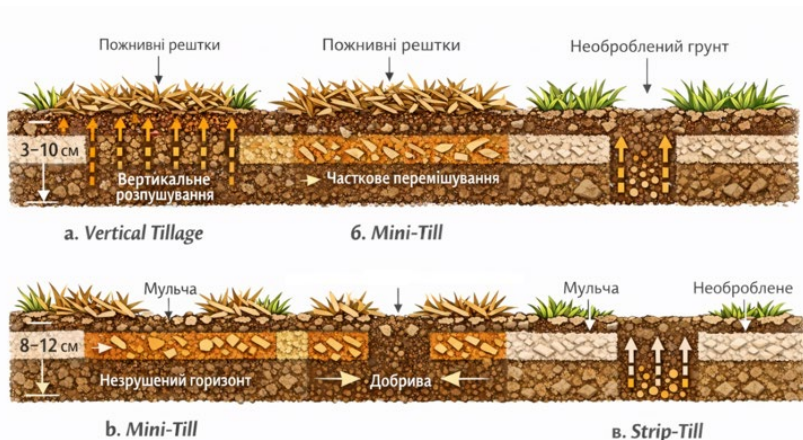


Рис. 1. Схематичне зображення сучасних технологій обробітку ґрунту

No-tillage різних модифікацій передбачає поетапне впровадження технологій, за яких обробіток ґрунту здійснюють одночасно із сівбою та внесенням добрив або засобів захисту рослин за допомогою спеціальних сівалок оригінальної конструкції. Обов'язковою умовою є формування на поверхні поля достатньо потужного шару рослинної мульчі. Запровадження таких систем супроводжується істотними технологічними трансформаціями, зокрема відмовою від низки традиційних операцій основного, передпосівного обробітку та догляду за посівами. Фактично виконується єдина комплексна технологічна операція – локальний (інколи суцільний) обробіток попередньо необробленої ділянки, поєднаний із висівом насіння, рядковим удобренням і коткуванням. Формування посівного ложа, висів, розподіл і загортання насіння, рядкове коткування, вирівнювання та мульчування поверхні поля здійснюються конструктивно складним багатофункціональним сошниковим

модулем. За таких умов класичний передпосівний обробіток стає надлишковим. Суміщення кількох технологічних операцій в одному агрегаті дозволяє не лише скоротити строки виконання польових робіт, а й зменшити витрати паливно-мастильних матеріалів у середньому на 20–30 л/га.

Strip-tillage (strip-till) – технологія смугового (локального) обробітку ґрунту, орієнтована переважно на вирощування просапних (широкорядних) культур. У зоні майбутнього рядка формується вузька (15–30 см) розпушена смужка ґрунту до глибини 30–35 см із одночасним внесенням заданої дози добрив. У досконаліших агрегатах удобрення може здійснюватися одночасно з сівбою. Основними перевагами цієї агротехнології є скорочення кількості операцій у циклі (підготовка ґрунту – посів) до 1–2, зменшення витрат паливно-мастильних матеріалів на 50–70 % та економія добрив до 30 %. Разом із тим недоліком *strip-till* залишається висока залежність від сучасних систем навігації та елементів точного землеробства.

Vertical tillage – вертикальний обробіток ґрунту є різновидом малоінтенсивного поверхневого обробітку, за якого ґрунт розпушується у вертикальній площині без інверсії пласта та без горизонтального зсуву шарів. Технологія спрямована на збереження структури орного шару, мінімальне порушення ґрунтового профілю та раціональне управління післяжнивними рештками. Здійснюють спеціалізованими агрегатами з вертикально орієнтованими робочими органами (хвилясті або прямі диски малого кута атаки, вузькі лапи, ножі), які працюють на малій глибині (3–10, до 12 см) розрізаючи пожнивні рештки, рівномірно розподіляючи їх у верхньому шарі, не формують плужної підшови і не спричиняють горизонтального ущільнення, забезпечуючи вертикальну пористість, покращуючи інфільтрацію опадів і газообмін. На відміну від традиційного дискування, вертикальний обробіток не створює ущільнених прошарків і не інтенсифікує мінералізацію органічної речовини, що дає змогу зберігати мульчувальний ґрунтово-рослинний прошарок, зменшуючи випаровування вологи, покращувати водопроникність і рівномірність зволоження орного шару.

Вертикальний обробіток не є самодостатньою системою, а найчастіше використовується як елемент комбінованих адаптивних систем обробітку, зокрема: *mini-till* як основний або проміжний поверхневий обробіток; у *strip-till* для підготовки міжрядь і управління рештками чи у *no-till* як перехідний або коригувальний захід на полях із надлишком рослинних решток чи локальним ущільненням верхнього шару.

Попри численні переваги, вертикальний обробіток має певні обмеження не усуває глибокого ущільнення ґрунту (за наявності плужної підшви потребує періодичного чизелювання), має обмежену ефективність контролю бур'янів, тому потребує поєднання з іншими агрозаходами, потребує якісного підбору агрегатів і дотримання оптимальних строків виконання робіт (надмірна вологість знижує ефект). Водночас на сьогодні вертикальний обробіток ґрунту є сучасним екологічно орієнтованим прийомом, що забезпечує баланс між продуктивністю та збереженням ґрунтової родючості. Найбільшої ефективності він набуває у складі комбінованих адаптивних систем обробітку, де інтенсивність механічного втручання регулюється відповідно до стану ґрунту, культури сівозміни та кліматичних умов.

У зоні Лісостепу і частково Полісся, сформувалися диференційовані (адаптивні) системи обробітку, де поряд з традиційними оранкою й дискуванням широко впроваджують чизельний обробіток, який забезпечує якісне розпушування без ущільнення у місцях контакту робочого органу з ґрунтом з руйнацією плужної підшви, точніше переущільненого прошарку, сформованого однотипними обробітками впродовж багатьох десятиріч.

Глибоке розпушування чизельними знаряддями замість традиційної оранки допомагає зменшити ущільнення ґрунту та зберегти його структуру. Чизельний обробіток ґрунту передбачає розпушування без перевертання шару ґрунту. Він виконується за допомогою чизельних плугів, які проникають на глибину від 20 до 40 см, покращуючи інфільтрацію води та повітрообмін. Крім того, значна частина рослинних залишків залишається на поверхні, що допомагає утримувати вологу та запобігати водній та вітровій ерозії. Однею з

головних переваг чизельного обробітку є його здатність покращувати структуру ґрунту, не порушуючи його природного профілю. Цей метод допомагає зберегти гумусовий шар, уповільнити мінералізацію органічної речовини та створити сприятливі умови для розвитку кореневої системи та життєдіяльності ґрунтових мікробів. Крім того, чизельний обробіток сприяє економії палива, оскільки потребує менше енергії, ніж традиційна оранка.

Чизельний обробіток ґрунту належить до групи глибоких безполицевих технологій, ключовою особливістю яких є розпушення орного шару без інверсії ґрунтового профілю. На відміну від полицевої оранки, чизельні робочі органи виконують вертикальне та діагональне перемішування ґрунтової маси, формуючи систему макро- та мезопор, не руйнуючи за цього природної агрегатної структури ґрунту. Теоретична значущість чизелювання полягає в його здатності усувати ущільнені горизонти, такі як плужна підшва, зберігаючи рослинні рештки на поверхні поля 70–80 %, що є критично важливим для сучасних вологоощадних технологій. У межах відновлювального землеробства чизельний обробіток розглядається як компромісна стратегія між класичним глибоким розпушенням і мінімальним втручанням у ґрунтовий профіль, забезпечуючи як структурне розвантаження орного шару, так і збереження функціональної діяльності ґрунтової біоти. Чизелювання посилює здатність ґрунту до накопичення та збереження вологи

Поряд із ґрунтово-кліматичними, агробіологічними, технологічними та економічними факторами, зональний вектор розвитку технологій ґрунтообробітку істотно визначається демографічною складовою – щільністю сільського населення та рівнем землезабезпеченості. За високої ролі парцелярного агросектору зростає частка високоінтенсивних культур із використанням традиційних технологій. Натомість на малозаселених територіях, де домінують великі агроформування, перевага надається сучасним системам землеробства з розвиненим ресурсним, технічним і інформаційним забезпеченням.

Зона Лісостепу залишається своєрідною базою комбінованих (адаптивних) систем полицевого і безполицевого обробітку ґрунту. Полицевий обробіток тут зберігає актуальність, особливо в спрощених короткоротаційних сівозмінах із високою насиченістю зерновими колосовими культурами. Погіршення фітосанітарного стану обґрунтовує доцільність періодичного застосування оранки, зокрема в системах органічного землеробства. Водночас класичні системи плоскорізного розпушування ґрунту, запозичені з умов Канади та Казахстану, поступово втрачають значення. Використання знарядь із надмірно широкими робочими органами (90–150 см) за високого питомого опору ґрунтів Лісостепу супроводжувалося підвищеними енерговитратами та потребою додаткових операцій. Це зумовило об'єктивне заміщення громіздких плоскорізів прогресивними типами важких культиваторів і чизелів-глибокорозпушувачів.

Запровадження модифікованих і сучасних систем ґрунтообробітку безпосередньо залежить від площі сільськогосподарських угідь у господарствах і рівня їх матеріально-технічного забезпечення, що корелює з обсягами щорічних інвестицій. Найшвидше інноваційні агротехнології з максимальною мінімізацією обробітку та впровадженням інструментів «розумного» землеробства поширюються в агроформуваннях із площею ріллі понад 5 тис. га, зокрема в агрохолдингах. Дрібніші товаровиробники оновлюють технічну базу поступово, а перспективним шляхом для них залишається кооперація у придбанні та спільному використанні сучасних ґрунтообробних, посівних і збиральних комплексів.

Узагальнюючи, слід зазначити, що оновлення систем ґрунтообробітку в Україні відбувається еволюційно, шляхом поступової заміни умовно застарілої техніки на сучасні рішення. Впровадження інноваційних агротехнологій залишається вибором економічно спроможних господарств і відбувається нерівномірно в просторі та часі. За таких умов зберігається логіка поміркованого оптимізму: економічний ефект відтермінований, вартість помилок висока, а наслідки прийнятих рішень потребують тривалого наукового та виробничого осмислення.

2. АГРОБІОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМНОГО ОБРОБІТКУ ТА УДОБРЕННЯ В КОРОТКОРОТАЦІЙНІЙ ЗЕРНОВІЙ СІВОЗМІНІ

За результатами досліджень теоретично обґрунтовано концептуальні засади розвитку агротехнологій за відновлюваного землеробства Лісостепу та розроблено ефективні вологоощадні технології обробітку ґрунту для сучасних сівозмін, спрямовані на істотне підвищення врожайності польових культур, продуктивності праці, повноцінне відтворення елементів родючості ґратопів за вірогідного зменшення ресурсних, енергетичних витрат та оздоровлення екології агроландшафтів, які стали основою за розробки стратегії сталого розвитку систем обробітку ґрунту за відновлюваного землеробства.

Встановлено, що енергетичний баланс та спрямованість культурного ґрунтогенезу значною мірою залежать від регулярного надходження нетоварної частини врожаю та поповнення орного шару біомасою, зокрема рослинними залишками зернових культур. У свою чергу задіяна система обробітку ґрунту виступає визначальним чинником формування обсягів післязбиральних рослинних решток у зерновій сівозміні, забезпечуючи істотну диференціацію надходження побічної продукції на одиницю сівозмінної площі.

Також, покриття поверхні ґрунту шаром подрібнених рослинних залишків є одним із найефективніших методів регулювання водного балансу ґрунту. Це створює природний захисний бар'єр, який значно зменшує випаровування вологи за високих температур та впливу вітру. Ця технологія не тільки допомагає зберегти запаси продуктивної вологи, але й запобігає водній та вітровій ерозії, оскільки шар мульчі запобігає ущільненню ґрунту, спричиненому опадами, та сприяє накопиченню опадів у глибших горизонтах ґрунту. За мульчування ґрунту значно покращується водопроникність, що особливо важливо в умовах нерівномірного розподілу опадів. Волога не тільки

накопичується ефективніше, але й зберігається протягом тривалішого періоду, що дозволяє рослинам ефективніше використовувати її протягом усього вегетаційного періоду. Крім того, шар мульчі стимулює біологічні процеси в ґрунті, посилює мікробну активність та покращує структуру ґрунту, що позитивно впливає на його родючість [21, 34].

Стовідсоткове проективне покриття з післяжнивних та рослинних решток на поверхні з відповідною товщиною цього шару можна досягти за no-till технологій з використанням сівби в необроблений ґрунт. Прихильники таких технологій посиляються на вирішальну роль мульчі у збереженні ґрунтової вологи протягом вегетації та більш ефективному використанні опадів. Однак, подібний екран можна створити лише повністю відмовившись від будь-якого обробітку, окрім безпосередньої сівби за період не менше 6–8 років з використанням спеціальних посівів для залишення решток в полі. Як правило, цей період супроводжується істотним зниженням врожайності культур та необхідністю більш ретельно підтримувати фітосанітарний стан полів. Саме тому сьогодні більшість виробників виявились неготовими до таких технологій.

У цьому контексті саме система обробітку ґрунту набуває ключового значення як регулятор надходження рослинної біомаси в орний шар і, відповідно, як інструмент управління інтенсивністю ґрунтотворних процесів у зерновій сівозміні. Адаптивна та комбінована системи обробітку ґрунту за результатами досліджень забезпечили найвищі обсяги акумуляції післязбиральних рослинних решток, істотно підвищуючи надходження побічної продукції на одиницю площі. Найбільш виражений ефект від застосування даних систем обробітку відмічено за вирощування пшениці озимої на фоні органо-мінерального удобрення, де кількість післязбиральних решток у 2025 р. досягала 8,33–8,55 т/га, що на 2,5–5,2 % перевищувало традиційну полицеву різноглибинну систему (контроль). У посівах вівса максимальні показники сформувалися за адаптивної системи обробітку –

5,70 т/га, тоді як за комбінованої аналогічний рівень забезпечувався лише за поєднання з органо-мінеральною системою удобрення.

У середньому за 2021–2025 рр. адаптивна та комбінована системи обробітку ґрунту переважали полицеву та мінімізовані мілку та поверхневу дискові системи за показниками формування побічної продукції. Зокрема, за полицевої різноглибинної маса рослинних решток становила 5,56 т/га, тоді як за адаптивної та комбінованої систем – 5,91 і 5,84 т/га відповідно, що на 24,1–31,9 % перевищувало мілкий та поверхневий дисковий обробіток.

Встановлено закономірність різнорівневого розподілу післяжнивних решток у 0–30 см шарі залежно від способу й глибини проведення обробітку ґрунту. Відносно рівномірний пошаровий розподіл сухої фітомаси забезпечується лише за умови систематичного проведення полицевої оранки в сівозміні, тоді як чизельний обробіток у складі адаптивної та комбінованої систем формував проміжний характер розподілу рослинних решток. Натомість тривале застосування дискового обробітку на глибину 6–8 і 10–12 см обумовлює концентрацію 75–80 % органічної маси у шарі 0–10 см та відповідне збіднення 10–30 см шару ґрунту органічною речовиною.

Знаковим є те, що модель оптимального посівного шару ґрунту повинна створюватися для кожної культури окремо, залежно від вимог та розміру її насіння і має містити наступні параметри: щільність піднасінневого прошарку від 1,1 до 1,3 г/см³, переважний розмір структурних агрегатів у наднасінневому прошарку ґрунту для рослин із дрібним розміром насіння повинен коливатися у межах від 0,5 до 7 мм, для рослин із середнім і великим розміром насіння – від 1 до 10 мм. Застосування моделі оптимального за агрофізичними параметрами посівного шару ґрунту сприяє підвищенню схожості рослин, розвитку їхньої кореневої системи та збільшує врожай сільськогосподарських культур [4].

Встановлено достовірне зменшення щільності складення 0–10 см шару ґрунту у період повних сходів культур до 1,30–1,31 г/см³ за полицевої різноглибинної, до 1,29–1,30 г/см³ за адаптивної та комбінованої систем, із

найнижчими значеннями ($1,24\text{--}1,26\text{ г/см}^3$) після щорічних поверхнево-мілких дискування в сівозміні.

Тобто, вочевидь спрацьовує «декомпресійний» ефект приповерхневого розміщення побічної продукції попередників. До умовної середини вегетації зазначена закономірність помітно нівелюється. Нижня частина кореневмісного $10\text{--}30\text{ см}$ шару ґрунту у варіантах беззмінних безполицевих мінімізованих за глибиною (від $6\text{--}8$ до $10\text{--}12\text{ см}$) обробітків залишається щільнішою ($1,33\text{--}1,44\text{ г/см}^3$) у перші два терміни обліку порівняно з оранкою ($1,29\text{--}1,36\text{ г/см}^3$), а у передзбиральний період – переуцільненою ($1,52\text{--}1,56\text{ г/см}^3$), що пояснює причину гіршої акумуляції вологи атмосферних опадів на монотипних безполицевих фонах. Використання адаптивної і комбінованої систем обробітку ґрунту забезпечує щільність складання кореневмісного $10\text{--}30\text{ см}$ шару на рівні полицевої оранки $1,38\text{--}1,39\text{ г/см}^3$, в межах оптимальних значень.

Запаси продуктивної вологи в кореневій зоні формуються під впливом комплексу фізичних і біологічних процесів, які визначають здатність ґрунту накопичувати, утримувати та передавати воду рослинам. Насамперед вони залежать від того, як кожна система основного обробітку ґрунту модифікує його структурний стан, інфільтраційну здатність, випаровування, ступінь укриття рослинними рештками та об'ємну щільність орного шару. Кожна система основного обробітку по своєму змінює співвідношення між агрегатною структурою, шпаруватістю, ступенем аерації ґрунту і стабільністю водотривких агрегатів, що безпосередньо визначає швидкість проникнення атмосферних опадів у профіль і глибину їх утримання. Водночас поверхневий мікрорельєф, збереження стерні та пожнивних залишків рослин, інтенсивність перемішування і руйнування структурних агрегатів формують різну інтенсивність випаровування, поверхневого стоку і капілярного підйому вологи з глибших горизонтів.

Наразі запаси вологи в ґрунті виступають основним лімітуючим фактором формування врожаю не лише в традиційно посушливих регіонах

(зонах недостатнього чи нестійкого зволоження), але й для північної частини Правобережного Лісостепу України, яка раніше вважалася зоною сприятливого агрокліматичного потенціалу [12]. Традиційний обробіток ґрунту (полицеві плуги) за рахунок глибокого розпушування сприяють інтенсивному нагромадженню вологи у холодний період року, але водночас активізують процеси мінералізації органічної речовини та втрати вологи через випаровування та деградацію структури ґрунту [7]. Із зменшенням кількості атмосферних опадів застосування полицевого обробітку ґрунту не завжди себе виправдовує.

В умовах відновлювального землеробства дедалі актуальними залишаються ґрунтозахисні безполицеві системи обробітку ґрунту, які забезпечують краще збереження вологи за рахунок шару рослинних решток (мульчі), який зменшує випаровування, захищає ґрунт від перегрівання і пересихання, а також сприяє покращенню інфільтраційних властивостей і загальної структури ґрунту [10, 33]. Ці позитивні ефекти ще більш виражені при довгостроковому впровадженні та в поєднанні з іншими сталими практиками, такими як сівозміна, оптимізоване утримання пожнивних залишків системи орґано-мінерального удобрення. Загалом багатьма дослідниками встановлено, що застосування безполицевих мілких способів обробітку ґрунту сприяє накопиченню більшої кількості вологи в зимовий період за рахунок мульчування післяжнивних решток. Водночас це супроводжується збільшенням коефіцієнта водоспоживання, через зменшення урожайності польових культур внаслідок ряду факторів збільшення забур'яненості, погіршення фітосанітарного стану, ущільнення та інше [34].

Отже, ключова відмінність між системами обробітку полягає у їх здатності забезпечити оптимальний баланс між швидкою інфільтрацією води, щоб максимально використати опади й мінімізувати втрати на стік і збереженням вологи в орному та її накопичення в глибших шарах. Залежно від того, в який бік зміщено цей баланс – у бік накопичення чи збереження – система формує різний рівень запасів продуктивної вологи, що в подальшому

визначає урожайність культур, стійкість рослин до посухи та ефективність використання добрив.

За нашими дослідженнями враховували наступні оціночні критерії – оптимальні параметри гідрології сірого лісового легкосуглинкового ґрунту дослідного поля: водопроникність >60 мм/год; НВ – 23 %; запаси продуктивної вологи в межах 0,6–1,0 НВ в 0–40 см шарі – 47–70 мм; 170–220 мм у метровому; коефіцієнт засвоєння атмосферних опадів $> 0,7$; вологість зони аерації 15–23 %, фізичної стиглості – 14–15 %, кришіння з мінімальним тяговим зусиллям – 16–18 см.

Зокрема, за рівнем формування запасів продуктивної вологи у посівах пшениці озимої та вівса найбільш ефективними виявилися адаптивна та комбінована системи основного обробітку ґрунту. За вирощування пшениці озимої запаси продуктивної вологи за цих систем становили у шарі 0–20 см – 34,3–34,5 мм, 0–40 см – 66,8–67,1, у 0–100 см шарі – 114,0–118,9 мм, що перевищувало різноглибинну полицеву систему відповідно на 30,3 %, 16,5 та 6,4–11,0 %. У посівах вівса запаси продуктивної вологи перевищували показники полицевої різноглибинної системи на 4,6–7,6 %, 4,0–4,3 % та 6,4–9,7 % відповідно.

Отже встановлено, що ефективному формуванню запасів продуктивної вологи істотно сприяють системи основного обробітку ґрунту – адаптивна та комбінована, а також позиційне розміщення органічної маси побічної продукції попередника в оброблюваному шарі. Поєднання цих факторів забезпечує виражений вологонакопичувальний ефект і зумовлює додаткове накопичення продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту на 11,2–14,8 %, навіть за умов дефіциту атмосферних опадів у міжсезонний період.

У середньому за 2021–2025 рр. у посівах культур зернової сівозміни найнижчі запаси продуктивної вологи в ґрунту 0–100 см шарі формуються за поверхневої дискової системи основного обробітку на глибину 6–8 см. За цих умов у посівах проса вони становили 133 мм, сої – 139, пшениці озимої – 138 та вівса – 150 мм, що обумовлено обмеженою водопроникністю у глибшій

горизонти та підвищенням випаровуванням вологи з приповерхневих шарів ґрунту за умов дефіциту атмосферних опадів упродовж вегетаційного періоду (рис. 2).

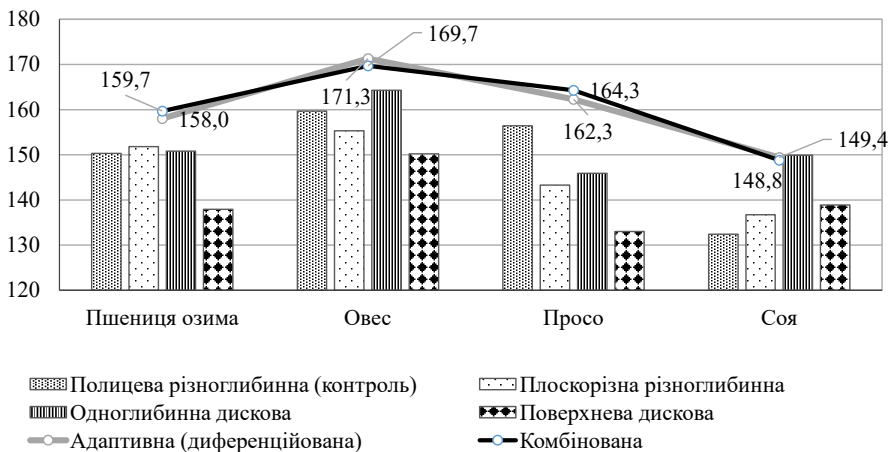


Рис. 2. Запаси продуктивної вологи у 0–100 см шарі ґрунту на час появи повних сходів культур зернової сівозміни залежно від системи обробітку ґрунту, 2021–2025 рр.

Натомість адаптивна та комбінована системи обробітку ґрунту забезпечили формування найвищих запасів продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту в посівах усіх культур зернової сівозміни. Зокрема, у посівах пшениці озимої – 158–160 мм, вівса – 170–171, проса – 162–164 та сої – 148–149 мм, що підтверджує їхню перевагу щодо підвищення рівня акумуляції ґрунтової вологи та стабілізації водного режиму в агроценозах.

Встановлено, що полицева різноглибинна система (контроль), на фоні без застосування добрив та використання побічної продукції забезпечує формування найвищих запасів гумусу у 0–40 см шарі ґрунту – 60,5–67,0 т/га, тоді як за органо-мінеральної системи удобрення застосування адаптивної та комбінованої систем ґрунтообробітку (76,4–76,8 т/га) сприяло збільшенню на 2,3–2,8 % порівняно з полицевою різноглибинною та на 15,6–25,9 % порівняно з беззмінними безполицевими обробітками.

На п'ятий рік досліджень, за результатами аналізу поживного режиму встановлено чітку залежність вмісту основних елементів живлення від системи обробітку та фону удобрення. Найвищий вміст сполук легкогідролізного азоту у 0–10 см шарі сформувався за мілкою дисковою обробітку на глибину 10–12 см і становив 58,5 мг/кг ґрунту на фоні без добрив, 71,4 мг/кг – за використання побічної продукції попередника та 104,5 мг/кг – за органо-мінеральної системи удобрення (побічна продукція + $N_{90}P_{70}K_{80}$). Водночас у 0–40 см шарі найвищий і більш рівномірний розподіл сполук легкогідролізного азоту забезпечували адаптивна, комбінована та різноглибинна полицева системи обробітку – відповідно 82,7; 77,3 і 76,1 мг/кг ґрунту. За беззмінних безполицевих мінімізованих обробітків нижня частина гумусового горизонту збіднювалася на сполуки азоту на 12,2–15,2 мг/кг порівняно з полицевою різноглибинною системою (контроль).

Максимальний вміст рухомих сполук фосфору (P_2O_5) за всіх систем основного обробітку зосереджувався у верхньому 0–10 см шарі ґрунту – 212,8–256,9 мг/кг, з найвищими значеннями за органо-мінеральної системи удобрення, що відповідало оптимальному рівню для вирощування сільськогосподарських культур. У нижчих горизонтах простежувалася закономірна тенденція до зниження вмісту сполук рухомого фосфору з мінімальними значеннями у шарі 30–40 см – 112,1–189,4 мг/кг ґрунту незалежно від системи обробітку. На неудобрюваних фонах вміст рухомих сполук P_2O_5 зменшувався до 117,7–158,8 мг/кг у шарі 0–10 см і до 75,6–119,1 мг/кг у шарі 30–40 см, особливо за мілкою та поверхневою дисковими системами обробітку.

Аналіз вмісту рухомих сполук калію підтвердив аналогічну закономірність: за всіх систем обробітку відмічалася зниження його концентрації у 10–40 см шарі, найбільш виражене за поверхневою дисковою системою. Водночас сумарні запаси K_2O у шарі 0–40 см за всіх досліджуваних систем обробітку залишалися достатніми для повноцінного росту й розвитку культур зернової сівозміни.

За результатами аналізу фізико-хімічних показників, оброблюваний шар ґрунту характеризується слабокислою реакцією ґрунтового розчину, $\text{pH}_{\text{сол.}}$ за усередненими даними в межах 5,2–5,4. Однак є і виняток, за умови використання побічної продукції попередника на добриво, спостерігається підвищення значень $\text{pH}_{\text{сол.}}$ за різноглибинної полицевої системи обробітку ґрунту у 0–40 см шарі до 5,6–5,8, тобто близької до нейтральної.

Встановлено чітку тенденцію до підвищення показника суми обмінних катіонів Ca^{2+} та Mg^{2+} в глиб ґрунтового профілю на фоні без внесення добрив з 7,8 до 12 мг-екв./100 г ґрунту, а за використання побічної продукції на добриво – від 9,4 до 16,2 мг-екв./100 г ґрунту. Більш вирівняні значення даного показника відмічено за орґано-мінеральної системи удобрення.

Зниження чисельності та конкурентоспроможності бур'янів у посівах є однією з ключових передумов підвищення врожайності й поліпшення якісних показників насіння. Попри істотний розвиток хімічних методів контролю, агротехнічні заходи залишаються базовим компонентом інтегрованої системи захисту рослин. У цьому контексті особливого значення набуває раціональний вибір системи основного обробітку ґрунту як інструменту регулювання фітосанітарного стану агроценозів, зокрема шляхом впливу на насіннєвий банк бур'янів, умови проростання та конкурентні взаємодії в посівах.

З огляду на поширення різних технологічних підходів – від традиційної оранки до мінімізованого й нульового обробітку – актуальним є поглиблене вивчення їхнього впливу на динаміку бур'янового компонента в посівах зернових і круп'яних культур. Важливим чинником слід також вважати агрофон, насамперед систему удобрення, яка істотно визначає як рівень біопродуктивності культур, так і інтенсивність розвитку сегетальної рослинності. Оптимізація поєднання систем живлення та обробітку ґрунту дає змогу формувати конкурентоспроможні посіви, здатні ефективно пригнічувати небажану сегетальну рослинність.

Зокрема, найменший рівень забур'яненості посівів пшениці озимої та вівса відмічено на фоні проведення оранки, де залежно від рівня удобрення

загальна чисельність сегетальної рослинності сягала 57–78 шт./м², з яких 98,2–98,7 % займали однорічні види. За проведення безполіцевих обробітків ґрунту кількість бур'янової рослинності збільшувалася порівняно з оранкою на фоні без добрив у 1,7–3,8 раза, в 1,2–2,6 раза – за застосування побічної продукції та у 1,6–2,4 раза – за сумісного використання побічної продукції та NPK мінеральних добрив.

Подібна закономірність встановлена за вирощування проса та сої, відповідно найменший забур'яненість посівів забезпечує поліцева різноглибинна система обробітку ґрунту – 55–114 шт./м². За безполіцевих обробітків ґрунту кількість бур'янової рослинності збільшувалася у порівнянні з оранкою на фоні без добрив у 1,7–3,8 раза, в 1,2–2,6 раза – за застосування побічної продукції та у 1,6–2,4 раза – за сумісного використання побічної продукції та NPK мінеральних добрив.

У результаті проведених досліджень встановлено, що варіативність рівня урожайності зернових культур обумовлена різноякісною пошаровою диференціацією ґрунтового профілю (0–45 см) за фізичними, хімічними та біологічними показниками родючості на багаторічних поліцевих, безполіцевих та комбінованих фонах основного обробітку за консолідованої взаємодії з системним удобренням, інтегрованим захистом рослин та почасти несприятливими метеорологами.

Зокрема, в умовах 2025 р. найвищу врожайність пшениці озимої – 6,11 т/га забезпечила адаптивна система обробітку ґрунту на фоні органо-мінерального удобрення (табл. 2). Ця система передбачала мілкий дисковий обробіток на глибину 10–12 см під пшеницю озиму та овес, глибоке чизельне розпушування на 40–42 см під сою і поліцеву оранку на 22–24 см під просо. За таких умов урожайність пшениці озимої перевищувала показники різноглибинної поліцевої системи на 5,2 %, мілкої дискової – на 12,9 %, різноглибинної плоскорізної – на 11,1 %, а поверхневої дискової системи – на 32,5 %. Найнижчі показники врожаю зерна пшениці озимої (3,00–4,61 т/га) отримано за щорічного застосування поверхневого дискового обробітку на

глибину 6–8 см, причому врожайність зменшувалася обернено пропорційно рівню фонового удобрення.

Таблиця 2. Урожайність культур зернової сівозміни за різних систем основного обробітку ґрунту та удобрення, 2021–2025 рр.

Система обробітку ґрунту	Удобреньня*	Пшениця озима		Овес		Просо		Соя	
		2025	2021-2025	2025	2021-2025	2024	2021-2024	2024	2021-2024
Полицева різноглибинна (контроль)	а	3,98	3,79	2,85	2,79	2,45	2,50	2,12	2,24
	в	4,65	4,62	3,50	3,54	2,65	2,75	2,57	2,71
	с	5,81	5,36	4,28	3,94	3,54	3,50	3,09	3,26
Плоскорізна різноглибинна	а	3,81	3,55	3,01	2,99	2,48	2,29	1,71	2,01
	в	4,80	4,30	3,45	3,40	2,69	2,51	2,43	2,61
	с	5,50	4,92	4,01	3,96	3,03	2,89	2,68	2,99
Адаптивна (диференційована)	а	4,21	3,96	3,48	3,23	3,06	2,70	2,25	2,38
	в	4,98	4,71	3,98	3,84	3,34	3,02	2,66	2,81
	с	6,11	5,58	4,75	4,52	4,04	3,64	3,19	3,37
Одноглибинна дискова	а	3,65	3,48	3,12	3,07	2,54	2,20	1,89	2,00
	в	4,71	4,32	3,65	3,55	2,75	2,47	2,30	2,38
	с	5,41	5,01	4,41	4,14	3,33	2,99	2,71	2,81
Комбінована	а	4,15	3,89	3,37	3,11	3,13	2,79	2,01	2,12
	в	4,94	4,52	3,85	3,72	3,46	3,12	2,42	2,55
	с	5,95	5,39	4,64	4,50	4,16	3,75	3,11	3,27
Поверхнева дискова	а	3,00	2,86	2,64	2,51	1,87	1,66	1,67	1,76
	в	3,83	3,50	2,84	2,77	2,23	2,04	1,95	2,06
	с	4,61	4,30	3,85	3,90	2,52	2,43	2,31	2,44
НІР₀₅		0,35	0,27	0,28	0,25	0,23	0,27	0,35	0,39

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 + N₆₅P₆₀K₇₀.

Овес, на відміну від пшениці озимої, позитивно реагував на локалізоване розміщення агрофізичних, агрохімічних і біологічних компонентів родючості ґрунту у верхньому (0–12 см) оброблюваному шарі. У зв'язку з цим найвищі показники його врожайності сформувалися за мілкого безполицевого обробітку, з абсолютним максимумом 4,75 і 4,64 т/га зерна після разового дискування на 10–12 см у післядії глибокого чизельного розпушування в системі адаптивного та комбінованого обробітку. Виняток становила система поверхневого дискування в сівозміні, де врожайність вівса була найнижчою (2,64–3,85 т/га), що пов'язано з ускладненням якісної сівби звичайними

дисковими сівалками за значної кількості рослинних решток у приповерхневому шарі ґрунту.

У середньому за 2021–2025 рр. найвищу врожайність культур короткоротаційної сівозміни забезпечили адаптивна та комбінована системи обробітку ґрунту на фоні органо-мінерального удобрення. За цих систем урожайність пшениці озимої становила 5,95–6,11 т/га, вівса – 4,64–4,75 т/га, сої – 3,11–3,19 т/га та проса – 4,04–4,16 т/га, що підтверджує їхню перевагу як з позицій продуктивності культур, так і з погляду адаптації технологій до ґрунтово-кліматичних умов.

Узагальнюючи результати досліджень, встановлено, що саме система основного обробітку ґрунту визначає рівень реалізації продуктивного потенціалу культур короткоротаційної зернової сівозміни. Найбільш ефективними виявилися адаптивна та комбінована системи обробітку, за яких середня продуктивність зернової сівозміни становила відповідно 5,30 і 5,23 т/га з. од., що на 5,6 та 4,2 % перевищувало показники різноглибинної полицевої системи (контроль) (табл. 3).

Натомість щорічне застосування безполицевих обробітків – плоскорізного, мілкого дискового (10–12 см) і особливо поверхневого дискового (6–8 см) – зумовлювало істотне зниження середньої продуктивності сівозміни до 4,59 та 3,99 т/га з. од. Таким чином, використання адаптивних і комбінованих систем обробітку ґрунту забезпечує комплементарну взаємодію агрофізичних, агрохімічних, біологічних і фітосанітарних чинників родючості, що, залежно від агрофону, сприяє зростанню природного біопотенціалу гектара ріллі у 1,26–1,54 раза та підвищенню здатності ґрунту до накопичення продуктивної вологи за вологоощадних моделей обробітку.

Адаптивна (диференційована) та комбінована системи обробітку у поєднанні з органо-мінеральною системою удобрення та інтегрованим захистом посівів, в середньому по короткоротаційній зерновій сівозміні за 2021–2025 рр., забезпечили найвищі показники економічної та енергетичної ефективності. За цих умов собівартість товарного зерна становила 4,9–5,0 тис.

грн/т, умовно чистий прибуток – 25,4–25,8 тис. грн/га, рівень рентабельності – 125–128 %, а коефіцієнт енергетичної ефективності (К_{еє}) досягав 3,4.

Таблиця 3. Продуктивність зернової сівозміни за різних систем обробітку ґрунту та удобрення, середня 2021–2025 рр.

Система обробітку ґрунту (фактор А)**	Удобрення (фактор В)*	Зернових одиниць, т/га	Кормових одиниць, т/га	Перетравного протеїну, т/га
Полицева різноглибинна (контроль)	а	3,52±0,51	4,25±0,50	0,45±0,10
	в	4,24±0,64	5,12±0,64	0,54±0,13
	с	5,02±0,76	6,04±0,69	0,64±0,15
Плоскорізна різноглибинна	а	3,80±0,49	4,60±0,47	0,48±0,10
	в	3,59±0,60	5,39±0,60	0,57±0,13
	с	5,30±0,72	6,41±0,69	0,68±0,15
Адаптивна (диференційована)	а	3,29±0,40	4,02±0,47	0,42±0,08
	в	3,90±0,54	4,75±0,64	0,50±0,11
	с	4,59±0,62	5,59±0,71	0,58±0,12
Одноглибинна дискова	а	3,65±0,41	4,46±0,51	0,46±0,08
	в	4,27±0,50	5,21±0,57	0,54±0,10
	с	5,23±0,65	6,34±0,62	0,67±0,14
Комбінована	а	2,72±0,39	3,29±0,40	0,35±0,08
	в	3,22±0,48	3,89±0,49	0,41±0,09
	с	3,99±0,53	4,88±0,65	0,51±0,11
Поверхнева дискова	а	3,52±0,51	4,25±0,50	0,45±0,10
	в	4,24±0,64	5,12±0,64	0,54±0,13
	с	5,02±0,76	6,04±0,69	0,64±0,15

Примітка. * а – без добрив (природна родючість); в – внесення побічної продукції попередника 3,5–4,5 т/га; с – внесення побічної продукції попередника 5,0–6,0 т/га + N₆₅P₆₀K₇₀.

Натомість застосування мінімізованих систем обробітку ґрунту, зокрема щорічного поверхневого дискового обробітку на глибину 6–8 см, порівняно з адаптивною та комбінованою системами, зумовлювало погіршення економічних і енергетичних показників. Собівартість рослинницької продукції зростала на 26,4–28,3 %, умовно чистий прибуток зменшувався на 69,1–71,8 %, рівень рентабельності знижувався до 78 %, а коефіцієнт енергетичної ефективності – до 2,7, що свідчить про обмежену доцільність використання таких технологій у короткоротаційній зерновій сівозміні.

3. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ВОЛОГООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Розроблені моделі вологоощадних агротехнології базуються на принципах мінімізації механічного впливу, збереження поверхневого покриття у вигляді ґрунтової мульчі та формування оптимальної структурної (просторово-функціональної) організації ґрунту. Це забезпечує стабілізацію водного режиму, підвищення ефективності живлення рослин і підтримання біологічної активності ґрунту. Основою таких технологій є кумулятивний (накопичувальний) ефект, який формується поступово та, як правило, проявляється протягом кількох років систематичного застосування.

Запропонована схематична модель відображає системну взаємодію фізичних, хімічних і біологічних процесів ґрунтової ремедіації, які реалізуються за умов вологоощадного обробітку та забезпечують довготривалу стабілізацію функціонування агроєкосистеми. Базовим елементом моделі є зниження інтенсивності механічного впливу на ґрунт, що поєднується зі збереженням післяжнивних решток на поверхні поля та формуванням мульчуючого шару. Унаслідок цього зменшується руйнування ґрунтових агрегатів, обмежується мінералізація органічної речовини та скорочуються непродуктивні втрати вологи.

Фізичний вектор ремедіації проявляється у поступовому відновленні структурно-агрегатного стану з підвищенням частки водотривких агрегатів фракції 0,25–10 мм. Завдяки зменшенню механічного втручання та активізації ґрунтової біоти зростає частка макро- і мезопор, формується безперервна система водопровідних шляхів у ґрунті (ходи дощових черв'яків, кореневі канали), поліпшується інфільтрація атмосферних опадів і зменшується поверхневий стік. У сукупності це сприяє підвищенню водоутримуючої здатності ґрунту та зростанню його стійкості до переущільнення і водної ерозії.

Хімічний вектор ремедіації пов'язаний із накопиченням і стабілізацією органічної речовини в орному шарі. За умов мульчування та мінімізації обробітку підвищується вміст гумусу, оптимізується співвідношення C:N у рослинних рештках, а елементи живлення поступово переходять у доступніші для рослин форми внаслідок керованих процесів біохімічної мінералізації.

Домінування процесів гуміфікації над мінералізацією сприяє стабілізації азотного живлення, зменшенню втрат елементів живлення та формуванню довготривалого поживного резерву ґрунту. Біологічний вектор ремедіації реалізується через активізацію ґрунтової біоти, насамперед мікроорганізмів ризосфери, мікроміцетів, актиноміцетів і ґрунтової мезофауни. Унаслідок цього посилюються мікробіологічні процеси трансформації органічної речовини, інтенсифікується біогенна агрегація ґрунту та формуються стійкі екосистемні взаємозв'язки. За умов мінімального механічного втручання саме біологічна активність виступає ключовим чинником підтримання оптимального структурно-агрегатного стану ґрунту.

Кумулятивний ефект фізико-хімічно-біологічної ремедіації проявляється поетапно. У перший рік можливі тимчасове зниження розпушувальної здатності та короткочасна нестабільність продуктивності культур. На 2–3-му роках відмічають відновлення агрегатної структури, зростання біологічної активності та стабілізацію режимів живлення і вологозабезпечення. На 4–6-му роках ґрунтова структура набуває більш саморегулюючого характеру, зростають запаси гумусу та формується стійкіший рівень родючості.

Узгоджена дія фізичного, хімічного та біологічного векторів ремедіації за вологоощадного обробітку ґрунту забезпечує: зменшення проявів водної ерозії та непродуктивних втрат вологи через випаровування; підвищення ефективності використання атмосферних опадів; зростання стійкості агроекосистеми до посухи й кліматичних змін; стабільніше та прогнозованіше формування врожаю за різних умов вирощування (рис. 3).

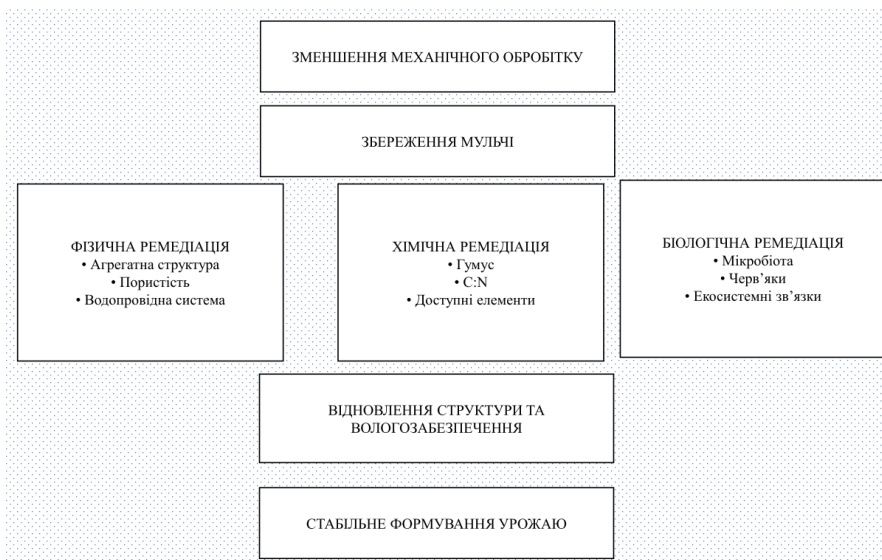


Рис. 3. Схематична модель фізико-хімічно-біологічної ремедіації ґрунту та її кумулятивний ефект за вологоощадного обробітку ґрунту

Упродовж 2020–2025 рр. проведено аналіз, узагальнення та форматування комплексу польових і камеральних досліджень у 2-факторному стаціонарному досліді (6 полярних систем обробітку х 3 системи удобрення) на сірому лісовому крупнопилувато-легкосуглинковому ґрунті у типовій зерновій короткоротаційній сівозміні (пшениця озима – просо – овес – соя). Сумарно оцінювалося понад 50 моделей агротехнологій (систем основного обробітку ґрунту), кращі з яких відібрані і проаналізовані для розробки моделей вологоощадних технологій обробітку ґрунту в системах відновлюваного землеробства Лісостепу в умовах змін клімату.

На основі даних довготривалого стаціонарного дослідження розроблено дві моделі вологоощадного обробітку ґрунту, що передбачають комбінування чизельного розпушування з полицевою оранкою та дискуванням.

У короткоротаційній зерновій сівозміні передбачено проведення мілкового дискового обробітку на глибину 10–12 см під пшеницю озиму та овес. Такий вибір обґрунтовано тим, що за результатами досліджень, для цих культур

вплив системи обробітку ґрунту на формування врожайності був меншим, ніж вплив системи удобрення. Під просо – дрібнонасінну пізню яру культуру, яка потребує якісного основного обробітку для регулювання забур'яненості та збереження ґрунтової вологи, – доцільно застосовувати полицеву оранку на глибину 22–24 см.

Під сою, яку висівають у пізніші строки, передбачено глибоке чизелювання на 40–42 см. За такої моделі вологоощадного обробітку ґрунту на фоні органо-мінеральної системи удобрення поліпшуються показники водно-фізичних властивостей ґрунту: запаси продуктивної вологи в метровому шарі протягом вегетаційного періоду зростають до 27 %, забезпечується економніше її використання рослинами, а щільність орного шару зменшується на 3% порівняно з традиційним полицевим обробітком. Крім того, підвищується протиерозійна стійкість ґрунту завдяки формуванню захисного ґрунтово-рослинного шару на поверхні.

Наступна модель комбінованого вологоощадного обробітку ґрунту передбачає поєднання агротехнічних прийомів, спрямованих на збереження ґрунтової вологи, зменшення непродуктивних втрат води та формування оптимальних умов для росту й розвитку рослин. Обов'язковою складовою моделі є використання побічної продукції культур у поєднанні з мінеральними добривами.

Зокрема, під просо – пізню яру дрібнонасінну культуру, відносно жаро- та посухостійку, доцільно застосовувати глибоке чизельне розпушування на 40–42 см, тоді як під пшеницю озиму, овес і сою – мілкий дисковий обробіток на глибину 10–12 см. За цієї моделі в системі відновлювального землеробства формується пролонгована післядія глибокого чизелювання та забезпечується збереження й накопичення запасів продуктивної вологи. Це зумовлено, зокрема, концентрацією рослинних решток і внесених агроресурсів у верхньому шарі ґрунту (приблизно 8–12 см), що сприяє мульчуванню поверхні, поліпшенню інфільтрації опадів і зменшенню випаровування.

Запропоновані моделі вологоощадних технологій обробітку ґрунту в системах відновлювального землеробства Лісостепу, з урахуванням кліматичної мінливості, можуть бути рекомендовані до впровадження в агроформуваннях різних форм власності, насамперед на територіях із підвищеним ризиком ерозійних процесів, деградації родючості та дефіциту ґрунтової вологи.

Моделі орієнтовані на адаптацію до змін клімату шляхом інтеграції комплексу взаємопов'язаних агротехнологічних рішень. Зокрема, передбачається використання побічної продукції культур у поєднанні з мінеральними добривами та її залишення (розміщення) у верхньому шарі ґрунту для формування мульчуючого покриву, який знижує ерозійні втрати й непродуктивне випаровування та підтримує мікробіологічну активність ґрунту. Важливим елементом є запровадження короткоротаційних зернових сівозмін із залученням більш посухостійких сортів і гібридів, що сприяє оптимізації водоспоживання та підвищенню стійкості посівів до ґрунтової й атмосферної посухи.

Адаптація моделей до специфіки ґрунтово-кліматичних умов Лісостепу передбачає одночасне забезпечення збереження запасів продуктивної вологи та підвищення стійкості агроєкосистем до коливань погодних умов, зокрема змін сезонного режиму опадів і температурного фону. Реалізація таких підходів сприятиме підвищенню сталості сільськогосподарського виробництва та збереженню екологічної рівноваги в регіоні.

Інтеграція розроблених моделей вологоощадних агротехнологій в управлінський цикл технологічних рішень забезпечує підвищення ефективності управління ґрунтовим та водним режимами, зменшення непродуктивних втрат вологи та зростання стабільності агровиробництва. Зокрема, вологоощадні технології обробітку можуть бути адаптовані до типу ґрунту, ґрунтово-кліматичних умов і біологічних особливостей культур, що створює передумови для гнучкого коригування технологічних операцій і оптимізації ресурсного забезпечення.

Список літератури

1. Булигін С.Ю., Грицишин М.І., Насонов В.А., Перепелиця Н.М. (2022). Техніко-технологічні основи обробітку ґрунту в умовах зміни клімату. *Механіка та автоматика агропромислового виробництва*, 15(114), 173–180. <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2022-15-23>.
2. Всеукраїнський практичний форум «ДЕНЬ АГРОНОМА», м.Київ, 4-5 лютого 2025 року. Agrotimes.ua (офіційний сайт).URL: <https://agrotimes.ua/foto/den-agronoma-2025-foto/>.
3. Генеральний директор компанії ТАС Агро Олег Заплетнюк дав інтерв'ю forbes.ua/ Tasagro (офіційний сайт) URL: <https://tasagro.com/media-about-us/generalnyj-dyrektor-kompaniyi-tas-agro-oleg-zapletnyuk-dav-interv-yu-forbes-ua/>.
4. Криlach С. (2022). Модель оптимального за агрофізичними параметрами посівного шару ґрунту. *Bulletin of Agricultural Science*, 3, 13–19. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202203-02>.
5. Медведєв В.В., Булигін С.Ю., Булигіна М.Е. (2017). Сучасні системи землеробства і проблема обробітку ґрунту. *Агроекологічний журнал*, 2, 127–134. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220168>.
6. Переваги вологоощадних технологій ґрунтообробітку назвали у ПП «Західний Буг». Agrotimes.ua (офіційний сайт). URL: <https://agrotimes.ua/tehnika/perevagy-vologooshhadnyh-tehnologij-gruntoobrobitku-nazvaly-u-pp-zahidnyj-bug/>.
7. Циліорик О.І. (2023.) Сучасні системи мульчувального обробітку ґрунту в Північному Степу: монографія; Дніпровський держ. аграр.-екон. ун-т. –Одеса: Олді Плюс, 344. URL: <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/8460>.
8. Bekele D. (2020). The Effect of Tillage on Soil Moisture Conservation: A Review. *International Journal of Research Studies in Computing*, 6(10), 30–41. <https://doi.org/10.20431/2454-6224.0610004>.
9. Cakpo S.S., Aostăcioaei T.G., Miha G.D., Molocca C.C., Ghelbere C., Ursu A., Țopa D.C. (2025). Long-Term Effect of Tillage Practices on Soil Physical Properties and Winter Wheat Yield in North-East Romania. *Agriculture*, 15(9), 989. <https://doi.org/10.3390/agriculture15090989>.

10. Cantero-Martínez C., Nascimento Gonçalo., Fernández-Ortega J. (2025). An evaluation of conservation tillage based on long-term experiments in winter crop rotations in NE Spain. *International Soil and Water Conservation Research*. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2025.08.003>.
11. Degrun F., Theodorakopoulos N., Colinet G., Hiel M-P., Bodson B. et al. (2017). Temporal dynamics of soil microbial communities below the seedbed under two contrasting tillage regimes. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1127. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01127>.
12. 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>.
13. Derkach O., Ohiienko M., Rogovskii I., Ohiienko A., Skomorovskyi A., Derkach I., Nadochiiy O. (2024). Management of evolution of tillage tools in Eastern Europe. Monograph. Opole: Academy of Applied Sciences Academy of Management and Administration in Opole, pp. 341, illus., tabs., bibls.
14. Derpsch R., Kassam A.H., Reicosky D., Friedrich T., Calegari A., Basch G., Gonzalez-Sanchez E., dos Santos D.R. (2024). Nature's laws of declining soil productivity and Conservation Agriculture. *Soil Security*, 14, 100127. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2024.100127>.
15. Ding W., Sun L., Qi Z., Li S., Filipović V. et al. (2025). Conservation tillage enhances both organic and inorganic carbon in dryland: Insights from a 20-year field experiment and meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 393, 109845. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.109845>.
16. Dugan I., Pereira P., Kisic I., Maticic M., Bogunovic I. (2024). Analyzing the Influence of Conservation Tillage and Manure on Soil Parameter Modulations in Croplands. *Plants*, 13(5), 607. <https://doi.org/10.3390/plants13050607>.
17. Gautam A., Anuo C.O., Kladviko E., Vyn T.J., Armstrong S. (2025). Does 46 years of conservation tillage and crop rotations change soil carbon and nitrogen distribution and storage? *Soil and Tillage Research*, 254, 106–702 <https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106702>.

18. Farmaha B.S., Sekaran U., Franzluebbers A.J. (2022). Cover cropping and conservation tillage improve soil health in the southeastern United States. *Agronomy Journal*, 114, 296–316. <https://doi.org/10.1002/agi2.20865>.
19. Jug D., Ju I., Brozovi B., Šeremeši S., Dolijanovi Ž., et al. (2025). Conservation Soil Tillage: Bridging Science and Farmer Expectations – An Overview from Southern to Northern Europe. *Agriculture*, 15(3), 260. <https://doi.org/10.3390/agriculture15030260>.
20. Kende Z, Egri N, Birkás M, Jolánkai M, Kunos V, Bozóki B, Tarnawa Á. (2025). Assessing different stubble tillage technologies on covered and uncovered surfaces. *Soil Systems*, 9(1), 13. <https://doi.org/10.3390/soilsystems9010013>.
21. Krauss M., Wiesmeier M., Don A., Cuperus F., Gattinger A., et. al. (2022). Reduced tillage in organic farming affects soil organic carbon stocks in temperate Europe. *Soil and Tillage Research*, 216, 105262. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105262>.
22. Lakhena K.K., Pooniya V., Biswakarma N., Zhiipao R.R., Singh A. et. al. (2025) Impact of nine years of conservation tillage and precise nutrient management on equivalent yields, soil microbial dynamics, and water-energy footprints of the maize–mustard rotation. *Front. Sustain. Food Syst*, 9, 1359281. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1359281>.
23. Li J., Wang Yk., Guo, Z. et al. (2020). Effects of Conservation tillage on soil physicochemical properties and crop yield in an arid loess plateau, China. *Scientific Reports*, 10, 4716. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61650-7>.
24. Li Y., Wang Y., Qiu G., Yu H., Liu F., Wang G., Duan Y. (2024). Conservation tillage facilitates the accumulation of soil organic carbon fractions by affecting the microbial community in an eolian sandy soil. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1394179. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1394179>.
25. Liang K., Zhang X., McCarty G.W. et al. (2025). From basin to gulf: Conservation tillage improves soil health but exacerbates hypoxia. *npj Sustainable Agriculture*, 3, 47. <https://doi.org/10.1038/s44264-025-00090-0>.
26. Ligang L., Zhoubing G., Kaihua L., Qing Z., Junjun Z. (2023) Impact of conservation tillage on the distribution of soil nutrients with depth. *Soil and Tillage Research*, 225. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105527>.

27. Mihelič R., Pintarič S., Eler K., Suhadolc M. (2024). Effects of transitioning from conventional to organic farming on soil organic carbon and microbial community: a comparison of long-term non-inversion minimum tillage and conventional tillage. *Biology and Fertility of Soils*, 60, 341–355. <https://doi.org/10.1007/s00374-024-01796-y>.
28. Modiba M.M., Ocansey C.M., Ibrahim H.T.M., Birkás M., Dekemati I., Simon B. (2024). Assessing the Impact of Tillage Methods on Soil Moisture Content and Crop Yield in Hungary. *Agronomy*, 14(8), 1606. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081606>.
29. Najan V., Jadhav K.K., Mohite M. J. (2025). Conservation tillage and soil health restoration. In book: Farming with Robotics Published By: Golden Leaf Publishers, pp. 318–330. <https://www.researchgate.net/publication/391857895>.
30. Nogueira de Sousa R. (Ed.). (2024). Strategic Tillage and Soil Management – New Perspectives. IntechOpen. doi:10.5772/intechopen.111208.
31. Ogieriakhi M.O. & Woodward R.T. (2022). Understanding why farmers adopt soil conservation tillage: A systematic review. *Soil Security*, 9, 10077. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100077>.
32. Shen Y., Zhang R., Yang Q., Liu Z., Li G. et al. (2024). Long-term subsoiling and tillage rotation increase carbon storage in soil aggregates and the abundance of autotrophs. *Applied Soil Ecology*, 200, 105444. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105444>.
33. Srivastava R. K. (2025). Conservation Tillage Practices on GHG Emissions, Soil Health and Overall Agricultural Sustainability Soil Use and Management, 41, e70096 <https://doi.org/10.1111/sum.70096>.
34. Tsyliuryk O.I., Tkalich Y.I., Kolesnykova K.V., Rudakov Y.M., Tkalich Y.Y. (2025). Modern trends and development directions of soil tillage systems in the world and Ukraine. *Agrology*, 8(1), 48–54. <https://doi.org/10.32819/202507>.

Наукове видання

ПТАШНИК Михайло Михайлович

БРУХАЛЬ Фелікс Йосипович

РЕМЕНЮК Юрій Олександрович

КРАСЮК Людмила Михайлівна

ЗАЯЦЬ Павло Степанович

БОРИС Наталія Євгеніївна

ДИКУН Олексій Васильович

УСТА Вячеслав Васильович

**МОДЕЛІ ВОЛОГООЩАДНИХ
АГРОТЕХНОЛОГІЙ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

Підписано до друку 06.10.2025.

Формат 60х84/16. Папір офсетний.

Друк цифровий. Друк. арк. 2,75.

Умов. друк. арк. 2,56. Обл.-вид. арк. 2,07.

Наклад 100 прим. Зам. № 1161/3.

Видавець та виготовлювач ТОВ «ТВОРИ».

Свідцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції серія ДК № 6188 від 18.05.2018 р.

21034, м. Вінниця, вул. Немирівське шосе, 62а.

Тел.: 0 (800) 33-00-90, (096) 97-30-934, (093) 89-13-852.

e-mail: info@tvoru.com.ua

<http://www.tvoru.com.ua>